

**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA.**



**TRABAJO DE TESIS.
EN OPCION AL TITULO DE MASTER EN GESTIÓN AMBIENTAL.**

TÍTULO:

**EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LOS
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN
LA CUENCA HIDROGRÁFICA SAGUA LA
GRANDE.**

Aspirante: *Ing. René del Toro Sánchez*

Tutor: *Dra. Elena Rosa Domínguez*

Consultante: *Msc. Rodolfo Sánchez Morales*

2009

“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución”

AGRADECIMIENTOS



➤ la tutora Dra. Elena Rosa Domínguez y Msc. Rodolfo Sánchez Morales, quienes prestaron atención a una investigación como la presente y se empeñaron en la misma suministrando todos sus esfuerzos y conocimientos.

➤ todos los compañeros que de una forma u otra aportaron su granito de arena a la presente investigación y dedicaron parte de sus energías e ideas para la mejor confección de la misma.

➤ mi familia que ha sido eje impulsor de mis propósitos de superación.

➤ la Revolución Cubana por hacer posible una superación constante y segura.

RESUMEN

La cuenca hidrográfica constituye la unidad natural, básica y lógica para el uso y aprovechamiento integral y racional del recurso agua, en función 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 de un territorio. En el trabajo se realiza la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande de la provincia de Villa Clara, partiendo de las informaciones del INRH y otros organismos. Para ello se describen las condiciones geológicas e hidrogeológicas del área seleccionada, se hizo la regionalización hidrogeológica en la cuenca y se calculó por el método de balance de las aguas subterráneas, en sus tres principales variantes, los recursos naturales y explotables de las aguas subterráneas en cada tramo hidrogeológico, delimitados en la regionalización hidrogeológica de la cuenca. A partir de esta información, se realizó un análisis integral del uso de los recursos hídricos subterráneos, que permitió evaluar las condiciones de explotación a que los mismos han sido sometidos, posibilitando la toma de medidas correctoras para su explotación más sostenible.

ABSTRACT

The water shed is the logic, basic and natural unit for the rational use as well as for the management of the water resource aiming cope the production and service demands in a sustainable way, minimizing the environmental deterioration for the agricultural, industrial and socio-economic development of any territory.

In this work the quantitative evaluation of the groundwater resources the Sagua la Grande water shed in Villa Clara province was done, by using the information available from the National Institute of water resources (INRH) as well for others organisms. The geologic and hydro-geologic conditions from the selected area are described. It was done the hydro-geologic regionalization in the water basin; it was computed, by means of the groundwater balance method, in it's the three main variants, the natural, exploitable resources from the groundwater, in each hydro-geologic section, limited in the hydro-geologic regionalization of the water basin. By using this information, an integral analysis on the use of the groundwater resources was done, which allowed assessing the level exploitation conditions they were subjected; facilitating to take de corrective measurements for a more sustainable exploitation.

NOMENCLATURA.

DEFINICION DE PARAMETROS Y TERMINOS UTILIZADOS EN LOS CALCULOS

T	Transmisibilidad	(m ³ /día)
Q	Gasto de pozo aforado	((m ³ /día)
R	Radio de influencia del aforo	(m)
S	Abatimiento estabilizado del nivel	(m)
μ	Coefficiente de almacenamiento	(Adimensional)
B	Ancho de la corriente del flujo subterráneo (sección del flujo evaluado)	(m)
I	Gradiente hidráulico	(Adimensional)
F	Área del bloque o sector que se evalúa	(km ²)
ΔH	Recarga media en altura de agua	(m)
Δh	Recarga neta	(m)
ΔZh	Descarga total correspondiente al periodo húmedo (Drenaje natural más extracciones)	(m)
N	Número de años de la serie analizada	
2739	Constante de conversión matemática	
W	Alimentación promedio del acuífero	(mm)
α	Coefficiente de infiltración de las precipitaciones atmosféricas	(%)
P	Lluvia histórica promedio	(mm)
Qd	Recursos dinámicos	hm ³ /a)
M	Potencia media del acuífero	(m)
Qexp	Recursos explotables	(hm ³ /a)
Qn	Recursos naturales	(hm ³ /a)
E	Porosidad efectiva	(Adimensional)
Ac	Área de la zona de captación del campo de pozos	(km ²)
Vn	Reservas permanentes	(hm ³)
V _o	Volumen del acuífero evaluado.	(hm ³)
t	Tiempo de explotación de la reservas, en años	(años)
LL	Lluvia efectiva media anual	(mm)

INDICE

INTRODUCCIÓN.	8
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	13
1.1. LA CUENCA HIDROGRÁFICA	13
1.1.1. Definiciones de cuenca hidrográfica.	13
1.2. GESTIÓN INTEGRADA A LOS RECURSOS HÍDRICOS.	14
1.3. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS.	16
1.3.1. El agua subterránea en Cuba.	17
1.3.2. Diferencias entre reservas y recursos de agua subterránea.	18
1.3.3. Métodos de evaluación cuantitativa de recursos hídricos subterráneos.	21
a. Método Hidrodinámico.	22
b. Método Hidráulico.	22
c. Método de Balance de las Aguas Subterráneas.	23
1.4. Explotación de las aguas subterráneas.	29
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	33
2.1. SELECCIÓN DE LA CUENCA.	33
2.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.	33
2.2.1. Búsqueda y procesamiento de la información para la aplicación del procedimiento metodológico desarrollado en la cuenca seleccionada.	35
2.2.2. Elaboración de los mapas temáticos de hidrogeología para la cuenca.	35
a. Mapa de profundidad de yacencia.	36
b. Mapa de hidroisohipsas.	37
c. Trazado del sentido de flujo subterráneo.	37
d. Mapa de gasto.	37
e. Tabla de permeabilidad de las rocas.	38
2.2.3. Determinación de la regionalización para la delimitación de tramos, subtramos y sectores hidrogeológicos en la cuenca.	38
a. Aplicación de los principios de regionalización hidrogeológica.	38
b. Mapa de regionalización hidrogeológica de la cuenca.	39
2.2.4. Cálculo de los parámetros hidrogeológicos por tramos, subtramos y sectores hidrogeológicos en la cuenca.	39
a. La transmisividad.	39
b. El coeficiente de almacenamiento.	40
c. Alimentación total del acuífero.	41
d. Alimentación promedio del acuífero.	41
e. Coeficiente de infiltración.	42
2.2.5. Aplicación de las variantes seleccionadas del Método de Balance para la evaluación de los recursos hídricos subterráneos.	42
a. Método del análisis de las fluctuaciones del nivel de las aguas subterráneas.	42
b. Método de la corriente natural.	42
c. Método de la infiltración de las precipitaciones atmosférica.	43
d. Evaluación de los recursos exportables.	43

2.2.6. Análisis del uso de las aguas subterráneas en la cuenca.	43
a. Mapa de uso del agua en la cuenca.	44
CAPITULO III. CARACTERISTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.	45
3.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA, LÍMITES Y EXTENSIÓN DE LA CUENCA.	45
3.2. CARACTERIZACIÓN SOCIO- CULTURAL Y ESTADO AMBIENTAL DE LA CUENCA.	46
3.3. HIDROGRAFÍA.	47
3.4. GEOMORFOLOGÍA.	48
3.5. GEOLOGÍA.	50
3.6. HIDROGEOLOGÍA.	55
3.6.1. Condiciones de difusión, yacencia y alimentación de las aguas subterráneas.	55
a. Complejo acuífero del Cuaternario.	55
b. Complejo acuífero del Neógeno.	56
c. Complejo acuífero del Paleógeno.	57
d. Complejo acuífero del Cretácico.	57
e. Complejo acuífero asociados a las rocas carbonatadas.	58
f. Complejo acuífero asociados a las rocas vulcanógenas.	58
g. Complejo acuífero asociados a las serpentinitas.	58
h. Complejo acuífero del Jurásico.	59
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	60
4.1. MAPAS TEMÁTICOS.	60
4.1.1. Mapa hidrogeológico.	60
4.1.2. Mapa de acuosidad o gasto.	60
4.1.3. Mapa de regionalización de la cuenca.	61
4.2. REGIONALIZACIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA.	61
4.3. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA SAGUA LA GRANDE.	63
4.3.1. El coeficiente de almacenamiento.	63
4.3.2. La alimentación total del acuífero.	63
4.4. CÁLCULOS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA SAGUA LA GRANDE.	64
4.4.1. Tramo VC-V-5 “Punta Felipe- Guayabo Nuevo.”	64
4.4.2. Tramo VC-VII-1 “Norte.”	65
4.4.3. Tramo VC-VII-2 “Manacas- Cascajal.”	68
4.4.4. Tramo VC-VII-3 “Santo Domingo.”	69
4.4.5. Tramo VC-VII-4	70
4.4.6. Tramo VC-III-4 “Costero.”	70
4.5. ANÁLISIS DEL USO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA SAGUA LA GRANDE.	72
4.5.1. Determinación de los volúmenes medios de aguas demandadas y extracciones medias en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.	72
4.5.2. Disponibilidad de los recursos explotables de las aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.	73

a. Anexo No 9. Mapa del uso de las aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.	74
4.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.	74
CONCLUSIONES.	77
RECOMENDACIONES.	78
BIBLIOGRAFÍA.	79

ANEXOS.

Anexo textual.

Medidas preventivas, correctoras y de mitigación.

Tablas.

Tabla A. Datos de los pozos aforados en la cuenca. (A1-A5).

Tabla B. Pozos de explotación cuenca Sagua la Grande. (B1-B3)

Gráficos.

Gráfico N° 1. Mapa de las cuencas hidrográficas de Villa Clara.

Gráfico N° 2. Mapa de ubicación de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Gráfico N° 3. Mapa de división político administrativa de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Gráfico N° 4. Mapa de la red hidrográfica en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Gráfico N° 5. Mapa geológico de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Gráfico N° 6. Mapa hidrogeológico de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Gráfico N° 7. Mapa de acuosidad de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Gráfico N° 8. Mapa de regionalización hidrogeológica en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Gráfico N° 9. Mapa del uso del agua subterránea en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

INTRODUCCIÓN.

Teniendo en cuenta el importante desarrollo hidráulico alcanzado por nuestro país y que continúa en proceso ascendente, aún persisten problemas de aseguramiento de la cantidad y calidad de las aguas, y otros relacionados con la disponibilidad de agua se han agudizado debido a la compleja variabilidad climática, la cual está determinando la ocurrencia más frecuente de fenómenos extremos (sequías prolongadas y huracanes).

Por ello sigue siendo un objetivo estratégico y táctico de relevancia nacional, el impulsar una mejor administración del agua y fomentar el uso racional y eficiente de la infraestructura hidráulica creada, su mantenimiento y control, ampliando los conocimientos sobre el comportamiento de las variables del ciclo hidrológico, las relaciones entre los recursos superficiales y subterráneos, así como su aprovechamiento y protección, en función de satisfacer las necesidades de su uso sostenible.

Para cumplir eficazmente con las expectativas en los momentos actuales, es necesario transitar por la gestión integrada del agua y el manejo de cuencas hidrográficas, teniendo en cuenta las particularidades cubanas.

Como es conocido en las cuencas hidrográficas ocurren de forma sistemáticas dos tipos de impactos ambientales según su origen: unos naturales causados por fenómenos que ocurren en la Naturaleza, sin que intervenga directamente la mano del hombre y otros provocados diariamente por la actividad humana, ambos tipos de impactos no siempre son beneficiosos para la cuenca, desde el punto de vista de sostenibilidad.

Para evitar, contrarrestar y tomar medidas correctoras tenemos que llevar a cabo un eficiente uso de los recursos hídricos subterráneos en las cuencas hidrográficas, haciendo un manejo y gestión integrado señala (García, 2007) la cuenca hidrográfica es la base para el manejo integrado de los recursos hídricos y a su vez, base para la aplicación del enfoque ecosistémico. Son unidades territoriales de planificación y ordenamiento en el sentido más amplio.

En el presente trabajo titulado **Evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande**, se aplica una

metodología como herramienta de trabajo, la cual tiene los principios básicos fundamentales del procedimiento metodológico creado y utilizado por (del Toro, 1988) para realizar la “**División de cuencas hidrogeológicas o subterráneas de Villa Clara**” actualmente se analiza a la cuenca hidrográfica Sagua la Grande en toda su superficie. Esto implica que nuestra área de estudio este limitada totalmente por el parteagua o divisoria superficial de la referida cuenca y dentro de la misma, se evalúa cuantitativamente el recurso agua subterránea, primeramente se ajustan y delimitan los acuíferos y para ello se lleva a cabo una regionalización hidrogeológica, sin hacer cambios en la nomenclatura de los tramos, subtramos y boques hidrogeológicos de las cuencas hidrogeológicas o subterráneas, que caen dentro del territorio de la cuenca hidrográfica o superficial Sagua la Grande. Todo el ordenamiento hidrogeológico en los acuíferos de la cuenca es imprescindible para llevar a cabo eficientemente el control del manejo integrado de los recursos hídricos subterráneos, teniendo en cuenta que esta cuenca es de interés provincial y además por su gran importancia socioeconómica, ya que ella es la mayor en extensión territorial que drena para la vertiente norte de Cuba. La cuenca del río Sagua la Grande ocupa un área de 2 130 Km² lo que corresponde al 21.3 % de la superficie total de la provincia de Villa Clara incluyendo total o parcialmente los municipios de Santa Clara, Sagua la Grande, Santo Domingo, Manicaragua, Quemado de Güines, Cifuentes y Ranchuelo.

El río Sagua la Grande es la corriente principal de la red hidrográfica de la cuenca estudiada y tiene una longitud total de 153 Km con una pendiente natural media 1.9 % por mil.

El origen o justificación técnica de nuestro trabajo, es la necesidad de contar en la provincia con una evaluación actualizada de los recursos hídricos subterráneos por cuencas hidrográficas, para poder cumplir con los lineamientos del INRH de organizar la gestión del recurso agua por dichas cuencas, por tal razón La Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de Villa Clara (DPRH-VC) y La Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas aprueban la ejecución de la investigación. Debido a que la ejecución de esta tesis es muy importante para las entidades del INRH-VC y para especialistas de otras esferas que tengan que ver con la Hidrogeología.

Situación Problemática

Necesidad de cuantificar los recursos hídricos subterráneos disponibles en los diferentes acuíferos de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande, para el manejo integrado de estos.

Hipótesis de la investigación

Si se realiza la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande, entonces se podrá conocer con mayor precisión la disponibilidad de agua subterránea y proceder a un manejo más sostenible de la misma .

Novedad de la investigación.

Evaluar los recursos hídricos subterráneos desde el punto de vista cuantitativo en una cuenca hidrográfica que cubra toda su superficie, por primera vez en Villa Clara. Anteriormente los estudios hidrogeológicos fueron realizados a nivel de cuencas subterráneas, donde la división respondía a un enfoque netamente hidrogeológico. La evaluación referida se realiza en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande, objeto de estudio, con el fin de organizar la gestión integrada del recurso agua subterránea en la misma, los resultados tienen gran importancia porque permite determinar el valor de los recursos hídricos subterráneos por tramos y total de la cuenca, para saber con más comprensión cuanto se tiene y controlar de forma más eficiente dicho recurso.

Objetivos de la investigación.

Objetivo general.

- 1) Evaluar cuantitativamente los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande, contribuyendo así al manejo sostenible de los mismos.

Objetivos específicos.

- 1) Definir el procedimiento metodológico para la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en una cuenca hidrográfica Sagua.
- 2) Aplicar el procedimiento desarrollado en un caso de estudio a la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Tareas principales.

- 1) Búsqueda bibliográfica del tema tratado y recopilación de los materiales de archivos de la cuenca estudiada.
- 2) Recorridos de campo por el área de estudio para valorar las características físicas, geográficas, el aprovechamiento de las aguas subterráneas y las condiciones higiénicas sanitarias de las estaciones de bombeo de las poblaciones existentes.
- 3) Depuración y procesamientos de los bancos de datos de aforos y niveles de los pozos en la cuenca.
- 4) Determinación de los parámetros hidrogeológicos.
- 5) Confección de los mapas temáticos.
- 6) Cálculo de los recursos explotables de las aguas subterráneas de la cuenca.
- 7) Evaluación de la disponibilidad del agua subterránea a través a través del análisis del uso del recurso de este recurso en la cuenca.
- 8) Informe final de la memoria descriptiva de la tesis.

El trabajo consta de cuatro capítulos, con anexos gráficos (mapa, planos y tablas) que facilita un mejor desarrollo y comprensión del mismo y para realizarlos nos auxiliaremos de los software de Sistema de Información Geográfica (SIG-ArcView), estadísticos (MICROSTA) e hidrogeológico (APUMTE), además de los tradicionales de Microsoft Office.

En el Capítulo I “Revisión Bibliográfica” se hace una búsqueda y recopilación de la bibliografía que tienen que ver de una forma directa o indirecta del tema estudiado, con la literatura más actualizadas nacional e internacionalmente y de los trabajos hidrológicos, hidrogeológicos y medioambientales más recientes realizados en la cuenca.

En el Capítulo II “Materiales y métodos” se selecciona el área de estudio, su ubicación geográfica, límites y extensión y como parte principal del capítulo, se describe de forma sintetizada los materiales empleados y el procedimiento metodológico para el desarrollado de la investigación.

En el Capítulo III “Características generales del área de estudio” Se describen las características hidrográficas y las condiciones geomorfológicos, geológicas e

hidrogeológicas de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande (en las informaciones de basados estudios anteriores, los mapas geológicos e hidrogeológicos de la provincia y trabajos realizados en la cuenca)

En el Capítulo IV “Resultados y discusión” se realiza la regionalización hidrogeológica en la cuenca y se hace la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande, para cada tramo hidrogeológico delimitados en la regionalización hidrogeológica de la cuenca, también se hace un análisis integral del uso de estos recursos para conocer el estado actual en que se encuentran los volúmenes de extracción autorizados a explotar y proponemos un plan de acción para que se efectuó desde el punto de vista técnico y práctico un manejo eficiente del agua subterránea en la cuenca.

Por último las “Conclusiones y recomendaciones” donde se exponen las conclusiones a que se llegó con este trabajo y se recomiendan indicaciones para mejorar en el futuro el uso de las aguas subterráneas en la cuenca, teniendo siempre presente que este recurso es vital para las nuevas generaciones.

CAPITULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

1.1 La cuenca hidrográfica.

1.1.1 Definiciones de cuenca hidrográfica.

Cuenca hidrográfica, es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conduce sus aguas a un río principal, lago, mar o zona costera. Es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre las coberturas (CARE, 2005).

La cuenca hidrográfica es un sistema dinámico con componentes físicos tales como el agua, el aire, el suelo, subsuelo, el clima y los minerales; biológicos como la flora y la fauna; antropogénicos como los socioeconómicos, culturales e institucionales. Todos estos componentes están interrelacionados y en un determinado equilibrio, de manera que al afectar uno de ellos, se produce un desbalance en el sistema que de acuerdo a la capacidad de carga del mismo, tiende a recuperar nuevamente o a producir una nueva condición pero deteriorada (Dardón, et al, 2002) . Además, siendo la cuenca un

sistema dinámico presenta innumerables cambios en el tiempo, donde los de origen antropogénico reflejan la cultura de la sociedad que la habita. Partiendo de una definición básica, una cuenca es el territorio que aporta agua al río que contiene, o sea, es el área total que desagua en forma directa o indirecta en un arroyo o en un río la define como unidades territoriales de planificación y ordenamiento, en su sentido más amplio. Cuba ha venido desarrollando una aproximación integral para contribuir a la mitigación, solución y satisfacción paulatina de sus necesidades, mediante la aplicación de un enfoque integrado que tiene a la cuenca hidrográfica como unidad básica para materializar la gestión y eje articulador de la política hídrica. (García, 2006)

Después del análisis del criterio de varios autores sobre la definición de cuenca hidrográfica, se puede entender que la misma es un área territorial delimitada por una línea natural denominada divisoria superficial, compuesta por un río y una superficie colectora de las aguas, comprende, además, de recursos naturales, los socioeconómicos que ejercen una interrelación dinámica entre sí, constituyendo un núcleo integrador y una unidad por excelencia, para la gestión integrada.

Como es conocido en las cuencas hidrográficas ocurren de forma sistemáticas dos tipos de impactos ambientales según su origen: unos naturales causados por fenómenos que ocurren en la Naturaleza, sin que intervenga directamente la mano del hombre y otros provocados diariamente por la actividad humana, ambos tipos de impactos no siempre son beneficiosos para la cuenca, desde el punto de vista de sostenibilidad.

En la cuenca hidrográfica se dan simultáneamente todos los impactos y fenómenos negativos recogidos documentados en la literatura nacional e internacional y en ellas ocurren múltiples factores desequilibrantes que generan complicaciones causa-efecto y además se desarrollan de maneras simultáneas acumulativas y sinérgica. (Andrade, 2004)

Los impactos que afectan de un modo directo a las aguas subterráneas son:

- La sobreexplotación de los acuíferos.
- Excesivo uso del agua en el riego agrícola.
- El agotamiento de los acuíferos.

- Contaminación de las aguas subterráneas.

1.2. Gestión integrada de los recursos hídricos

La gestión integrada del recurso hídrico: comprende el conjunto de principios y métodos para su uso y aprovechamiento integral y racional, en función de lograr una satisfacción de las demandas de la producción y los servicios de manera sostenida, con el mínimo deterioro ambiental. (García, 2007)

Otra visión de **gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)** la ofrece UNESCO 2005, como “el proceso cuyo objetivo es asegurar el desarrollo y manejo coordinado del agua en interacción con otros sistemas naturales, sociales y culturales, maximizando el bienestar económico, sin comprometer a los ecosistemas vitales” y brinda un marco propicio para el logro de un aprovechamiento sustentable del agua.

La implementación de este proceso así definido, trasciende los aspectos de orden técnico y pasa a constituir un desafío político, social, económico y cultural que compromete a la sociedad en su conjunto. Promueve a su vez, la aplicación de estrategias adecuadas de gestión que permitan satisfacer las crecientes demandas frente a la evidencia de un recurso cada vez más en conflicto.

La gestión integrada del agua, la conforma todo un sistema de gestión, investigación y desarrollo tecnológico, o lo que es lo mismo, un paquete integral compatible con las necesidades y condiciones actuales y futuras del país, orientado a proporcionar soluciones a problemas tradicionales y generar conocimiento para mejorar el uso del agua, preservar el recurso en cantidad y calidad, mitigar los posibles efectos negativos sobre el medio ambiente y anticiparse a los problemas, contribuyendo a su vez, al desarrollo económico y al incremento de la calidad de vida.

En Cuba están creadas las condiciones legales y jurídicas (Ley 81 del medio ambiente y la 138 de las aguas terrestres, así como decretos y varias normas cubanas) para llevar a cabo un uso sostenible del agua, pero se requiere implementar a escala nacional, regional y local, la gestión integrada del recurso hídrico, teniendo presente la tradición y trayectoria del desarrollo hidráulico cubano, existen las condiciones objetivas y subjetivas para ello y la unidad básica para su materialización es la cuenca

hidrográfica, donde se manifiestan todas las interacciones entre componentes ambientales y sus relaciones con el desarrollo económico y social. Para el caso cubano, la experiencia de 10 años de trabajo del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas y de los Consejos de Cuencas Territoriales y Específicos, así lo indica.

Por tal motivo, se hace necesario contar con evaluaciones más precisas de los recursos hídricos subterráneo para abordar los complejos asuntos de la gestión y el manejo de las cuencas hidrográficas

“El **manejo** es la administración específica del recurso, esto es, la aplicación concreta de los instrumentos de gestión en una cuenca hidrográfica u otro ecosistema y por **integración**, las sinergias entre los recursos y componentes”.

El desafío es elevar la aplicación de criterios integrales con elementos científicos, técnicos, jurídicos, económicos, de planeación y comunicación social, entre otros, para lograr el mejor ordenamiento y aprovechamiento de los recursos hídricos, su saneamiento y su conservación y con ello, continuar logrando avances sustantivos en la gestión sostenible del medio ambiente y contribuir así a elevar la calidad de vida de la población. Para cumplir eficazmente con las expectativas en los momentos actuales, es necesario transitar por la gestión integrada del agua y el manejo de cuencas hidrográficas, teniendo en cuenta las particularidades cubanas.

En consecuencia con todo lo anterior, por manejo integrado de las cuencas hidrográficas se entiende “la aplicación o desarrollo de la gestión integrada del agua en la cuenca, con enfoque ecosistémico”

1.3. Recursos hídricos subterráneos

El agua subterránea según (Antigua, 1997) ocupa, en mayor o menor medida, los huecos existentes en el suelo y las rocas, ya sean poros, fisuras o conductos de mayor tamaño hasta una cierta profundidad los huecos del material están normalmente ocupados por agua y aire: es lo que se denomina zona no saturada. (Guzmán et al, 1982). Esta zona tiene un sentido fundamentalmente vertical. A partir de una cierta profundidad que fluctúa en función del tiempo todos los huecos interconectados del suelo o roca están llenos de agua formando el medio o zona saturada, a la cual se

refiere (González, 2001) cuando habla de agua subterránea propiamente dicha. La superficie superior de esta zona se conoce como nivel freático. La zona saturada se extiende en profundidad, hasta donde el material geológico colector ya no presenta huecos interconectados capaces de posibilitar la continuidad del flujo del agua.

A nivel global, el agua subterránea 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; un 79 % e hielo y el 1% representa el agua presente en ríos, lagos y arroyos.

El movimiento del agua subterránea depende del tipo de rocas o litología presentes en cada lugar. Las capas permeables saturadas capaces de aportar un suministro útil de agua son conocidas como acuíferos.

1.3.1. El agua subterránea en Cuba.

Conociendo que Cuba es una isla de pequeña extensión, rodeada de agua y con pocos ríos caudalosos, con las precipitaciones como única fuente de alimentación al manto, y por su característica de ser un país netamente agrícola, el agua subterránea tiene vital importancia.

El agua subterránea en Cuba se caracteriza por manifestarse en volúmenes considerables; por la facilidad de captación de la misma debido a su poca profundidad y por la calidad, lo que la hace aptas para múltiples usos y exigencias.

El volumen medio explotable en Cuba o lo que es lo mismo el **Recurso medio** o **Escorrentamiento medio anual Subterráneo** es aproximadamente 4,5 km³ /año lo que representa un 30 % de la disponibilidad hídrica total del país, distribuido aproximadamente en un 67 % del territorio y en esta área predomina una secuencia carbonatada de calizas y dolomitas las cuales están afectadas por los procesos cárnicos (Barros, 1998). Por lo que, se comprende que es habitual la búsqueda y uso del agua subterránea teniendo en cuenta que existen 167 acuíferos importantes, con grandes recursos y un área acuífera efectiva de aproximadamente 37 000 km² que equivale al 32 % del territorio nacional, casi todos ellos son cárnicos y en su mayoría

abiertos al mar, estimándose que el volumen aprovechable subterráneo es más del 50 % del volumen total, lo que reafirma la importancia del agua subterránea.

El costo relativamente bajo y la buena calidad natural del agua subterránea son factores más que suficientes que justifican la preferencia que se le da en el suministro de agua potable.

El fenómeno conocido como intrusión salina o marina, ha sido y es uno de los principales problemas hidrogeológicos en Cuba debido a que la mayoría de los acuíferos cubanos (75 %) son cuencas cársicas costeras con relación hidráulica con el mar.

Estas áreas están distribuidas en prácticamente la totalidad de la Isla, pero con el potencial hídrico mayor hacia occidente y centro del territorio (González, 1992). En ellas se han extraído históricamente los recursos aprovechables a tal punto que, la intensidad de esta explotación, ha provocado un avance paulatino de las aguas saladas hacia el interior de estos acuíferos; este proceso de la intrusión es irreversible, debido a que los perjuicios que esto ocasiona significan años para sólo disminuir los efectos negativos mencionados anteriormente. En Cuba en las últimas cuatro décadas, existen muchos ejemplos de intrusión marina, como por ejemplo: Cuenca Sur de Pinar; cuencas Jaimanitas y Sur, Habana; cuencas del sur y norte de Matanzas; Juraguá, en Cienfuegos; costera norte de Villa Clara; cuencas Trinidad y Sur del Jíbaro, S. Espíritu; sur y norte de Ciego de Ávila, costera sur de Camagüey; costera sur de Las Tunas; Banes, en Holguín; Manzanillo Niquero, en Granma; San Juan - Paradas, en Santiago, por sólo citar las más importantes. Una de las principales zonas con mayor incidencia de este fenómeno, en las últimas décadas, ha sido la Costera Sur de La Habana, que ha experimentado esta intrusión en varios de sus tramos.

1.3.2. Diferencias entre reservas y recursos de agua subterránea

Señala (Pérez, 1982) que uno de los problemas que más controversia origina dentro de la Hidrogeología contemporánea, es la evaluación de los recursos disponibles para la explotación. En Cuba la influencia que existen entre las dos escuelas hidrogeológicas la europea y la norteamericana, provoca entre los especialistas de la materia, incertidumbre para entender estos conceptos. La primera usa los conceptos de reserva

y recursos de las aguas subterráneas y la segunda el concepto del caudal seguro, para definir la disponibilidad de agua subterránea; sin embargo, tanto en uno como en el otro caso, surgen imprecisiones causadas por las variadas definiciones que se han atribuido a dichos conceptos. No solamente eso, sino que en muchas ocasiones los hidrogeólogos que siguen la escuela europea emplean indistintamente los conceptos de reservas y de recursos, construyendo adicionalmente a la confusión. A pesar de estas dificultades para realizar una explotación racional del agua subterránea resulta imprescindible poder evaluar, aunque sea de modo aproximado, la cantidad de agua disponible a ser explotada en un acuífero. Es por eso, que se analizan las definiciones de un grupo fundamental de conceptos que servirán, para determinar del modo más claro posible la forma de evaluar la cantidad de agua que se puede y debe extraer de un acuífero.

En el caso de los recursos, se distinguirán las nociones de los recursos disponibles y recursos explotables, correspondiendo este último al concepto de caudal seguro de la escuela norteamericana. Como se ha señalado, existe una gran heterogeneidad en la definición y utilización de los términos anteriores, por lo que resulta necesario hacer un examen de algunas de estas definiciones tal como las utilizan diferentes autores.

Castany (1970) inicialmente no distingue entre reservas y recursos y utiliza los términos de reservas totales y reservas permanentes. A la variación media de la reserva la denomina reserva reguladora y define como reserva de explotación la cantidad máxima de agua que se puede obtener del acuífero, señalando que resultan equivalentes al concepto de caudal seguro. Posteriormente el mismo (Castany, 1975) amplía sus concepciones y elimina el término reserva de explotación e introduce los términos recursos regulados. Según señala (Bindeman, 1976) a finales de los años cuarenta el término recurso fue desechado sin razón alguna y sustituido por el de reservas dinámicas lo que introdujo confusión al desaparecer la diferencia entre reservas y recursos. Como la palabra reserva significa tener algo recogido para su utilización futura, él considera el término reserva dinámica, que expresa una alimentación de agua subterránea que ha sido acumulada anteriormente, no es satisfactorio por no construir realmente una reserva y que los términos reservas y recursos son totalmente distintos según analiza exhaustivamente. Como consecuencia de sus concepciones señala que

las reservas y recursos de aguas subterráneas se pueden subdividir de acuerdo con su origen en:

- 1) Reservas y recursos naturales.
- 2) Reservas y recursos artificiales.
- 3) Recursos atraídos.

Las reservas naturales representan un concepto equivalente al de reserva permanente. Los recursos naturales corresponden a la alimentación del acuífero en condiciones naturales a causa de la precipitación atmosférica, a los aportes de los acuíferos y a la afluencia natural desde los ríos y lagos. Los recursos naturales encuentran su expresión en el caudal del escurrimiento subterráneo.

(Bindeman N.N, 1976) define las reservas artificiales como el volumen formado en el acuífero a consecuencia de la irrigación, estanques de agua y anegación artificial de la capa y los recursos artificiales como la alimentación causada por la filtración desde canales, estanques, áreas de irrigación o bien a consecuencias dirigidas a reforzar la alimentación. Como se ve no hay diferencia clara entre otros conceptos y los dos se pudieren reunir en uno solo (alimentación artificial como consecuencia del trabajo del hombre hecho a propósito o no). Los recursos atraídos son aquellos que se añaden a consecuencia de la explotación del acuífero como el aumento del aporte de los ríos por efecto de la extensión del cono de abatimiento de las obras de captación y el aumento del aporte.

A finales del Siglo XX (Pérez, 1995) establece nuevos conceptos para dejar clara la diferencia entre recursos y reserva y explica porque el término reservas explotables debe eliminarse del lenguaje hidrogeológico y utilizar el término correcto de recursos explotables. Además, se han definido con precisión los conceptos de recursos explotables. Los recursos disponibles dependen fundamentalmente de la alimentación neta del acuífero y representan el volumen total de agua, expulsado en forma de caudal que podrían extraerse permanentemente a largo plazo del acuífero sin que se experimente una reducción en la reserva permanente.

El diseño y construcción de la obra de captación influye notablemente sobre el valor de los recursos explotables así como el propio efecto de la explotación, en general los

recursos explotables no deben exceder la alimentación asegurado del acuífero, o sea, los recursos disponibles aunque existen ocasiones que pueden admitirse una sobreexplotación a expensas de los recursos explotables por causas técnico económicas tienden a ser menores que los disponibilidades.

El estudio de la hidráulica de las captaciones de aguas subterráneas (pozos, galerías y trincheras) permite definir que abatimiento se producirá en la obra de captación para un caudal determinado conocidas las propiedades del acuífero y también que caudal se puede extraer para ciertas condiciones de abatimiento, permitiendo prever durante cuanto tiempo se puede extraer dicho caudal de ese pozo o de otros que actúan simultáneamente.

1.3.3. Métodos de evaluación cuantitativa de recursos hídricos subterráneos.

Existen varios métodos clasificados por (Meinzer, 1931). para la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos, internacionalmente los más empleados son el método hidrodinámico, el hidráulico, y el de balance en sus distintas variantes.

Estos responden a características del flujo de las aguas subterráneas que pueden ser:

- Flujo lineal o laminar
- Flujo no lineal
- Flujo turbulento

A continuación, se hace un resumen de las características de estos métodos, con énfasis en el de Balance de la Aguas Subterráneas por ser el de mayor aplicación en Cuba para la evaluación de los recursos explotables en los acuíferos.

a. Método Hidrodinámico

Tiene como objetivo principal definir el abatimiento permisible en una zona acuífera para el que se satisface la extracción de un determinado caudal. También, es frecuente usarlo para deducir los recursos disponibles conocidos de antemano las condiciones hidrogeológicas del acuífero y como consecuencia el abatimiento admisible del mismo.

El método se basa en la utilización directa de las ecuaciones que se obtienen para calcular el abatimiento en distintas situaciones, o sea, a partir de las ecuaciones

resultantes del modelo analítico del flujo de agua subterránea hacia las diferentes estructuras de captación con las condiciones de contorno que le correspondan.

b. Método Hidráulico.

Se fundamenta en predecir el abatimiento para un caudal de explotación determinado a partir de los resultados de abatimientos obtenidos con otro caudal o caudales bajo condiciones de casi equilibrio.

Si se trata de un acuífero confinado y sin estructura del pozo principal, en régimen lineal de flujo, la curva característica resulta una recta horizontal ($\beta = 0$).

Entonces: (S/Q) prueba de aforo = (S/Q) pronóstico.

Se pueden presentar dos situaciones:

$$S_E = (S/Q) \text{ aforo. } Q \text{ demandado} \quad (1.1)$$

$$Q_E = (Q/S) \text{ aforo. } S \text{ admisible.} \quad (1.2)$$

Se obtiene una recta inclinada ($\beta \neq 0$) en cualquiera de los siguientes casos:

- a) Flujo lineal o no lineal en acuífero libre, con o sin estructura de pozo principal.
- b) Flujo lineal en acuífero confinado con estructura de pozo.
- c) Flujo no lineal en acuífero confinado con o sin estructura de pozo principal.

Solución de Jacob (1947) para el caso (b):

$$S_p = S_{pp} + CQ^2 = B \cdot Q + CQ^2 \quad (1.3)$$

Donde:

B, caracteriza la resistencia de la formación acuífera en función del tiempo en régimen lineal de flujo impermanente. Dupuit Thiem da su valor en régimen impermanente.

C, es la resistencia de la estructura del pozo.

Entonces, $S_p/Q = B + C.Q$, donde $C = \text{tg}B$ y B es el intercepto de la recta en la gráfica de la curva característica del pozo.

c. Método de Balance de las Aguas Subterráneas.

En los múltiples estudios hidrogeológicos realizados en nuestro país donde se ha aplicado el método de balance para evaluar cuantitativamente y para distintas probabilidades los recursos de las aguas subterráneas, se demuestra las ventajas y posibilidades de utilización, en los acuíferos cubanos y la variante más usada en Cuba es la basada en las oscilaciones de los niveles de las aguas subterráneas, ya que las características geológicas e hidrogeológicas facilita la medición sistemática de varios elementos, al unísono para calcular los parámetros hidráulicos e hidrodinámicos por pruebas de bombeo o aforos de pozos.

La ecuación del Equilibrio Hidrológico de acuerdo con (Antigua, 1997) es fundamentalmente una forma de expresar la Ley de Conservación de la Materia aplicada al Ciclo Hidrológico, establece para el caso de una cuenca de agua subterránea que debe existir un balance entre la cantidad de agua suministrada y la que sale de ella a través del cambio en la cantidad de agua almacenada en la misma. Se considera como:

Elementos de entrada:

- 1) La precipitación que se infiltra y percola hasta la zona saturada.
- 2) La recarga anual desde corrientes superficiales.
- 3) La entrada de agua subterránea.
- 4) La recarga artificial debida al riego, los embalses y obras de inyección al acuífero.

Elementos de salida

- 1) La evaporación desde la zona capilar y en áreas de superficie y en áreas del nivel freático poco profundas, así como la transpiración de las plantas.
- 2) La recarga anual hacia manantiales y corrientes superficiales.
- 3) La salida del agua subterránea
- 4) La descarga artificial (la explotación) a través de bombas, pozos fluentes o drenes.

Según (Pérez,1995), el balance de las agua subterráneas es la relación entre las entradas (ingresos) y su gasto, (salidas), expresado cuantitativamente (en hm^3) durante

un período determinado (mensual, semestral, anual, hiperanual, pero más comúnmente, anual); vista como la suma algebraica de los Ingresos (Entradas) y los Egresos (Salidas) de los volúmenes de aguas para un período determinado, que en la mayoría de los casos equivale a la cantidad total de agua acumulada en la corriente subterránea.

Puede entonces definirse como:

$$V = \text{Ingresos} - \text{Egresos}$$

Ingresos:

(P) - precipitaciones (un % de estas), o sea, infiltración o alimentación, mm

(Rsup) - recarga por agua superficial (escurrimiento) de ríos, lagunas, etc, m

(Rart) - recarga artificial por pozos, aguas residuales, embalses, etc, m

(Rrec) - recarga por recirculación de riego, m

(Tac) - trasvase de aguas de acuíferos colindantes,

(Ajv) - aguas juveniles o vírgenes

Egresos:

(Ex) - Explotación o extracción de los pozos

(Evt) - Evapotranspiración, en mm

(Esm) - Escurrimiento natural al mar, en (m³ /año)

(Esr) - Escurrimiento natural a ríos, lagunas, etc, en (m³ /año)

(Tva) - Trasmvase a otros acuíferos, (m³ /año)

Ecuación general del balance hidrogeológico.

$$V = (P + R_{sup} + R_{art} + R_{rce} + T_{ac} + A_{jv}) - (E_X + E_{VT} + E_{SCMM} + E_{SCR} + T_{AOA}) \quad (1.4)$$

Debido a que es de esperar de esta ecuación, en condiciones normales, el término de entradas sea superior al de salidas (o iguales, al menos), quedaría un saldo positivo o volumen que sería el que quedaría en el acuífero

Así, también la fórmula se puede expresar como:

Ingresos = Egresos \pm Cambio de Almacenaje

Sin embargo, es indudable que en la ecuación general de Ingresos y Egresos, son muchas las variables o incógnitas a determinar, y, aunque una gran parte puede ser y de hecho comúnmente determinada, no es menos cierto que otras necesitan de cálculos y evaluaciones complejas.

Para determinar los distintos elementos de la ecuación de balance se necesitará un estudio detallado de las estructuras hidrogeológicas del acuífero y de los factores climáticos del área en cuestión.

Estas variantes plantean la determinación directamente del gasto o escurrimiento medio hiperanual (recursos naturales) y/o la evaluación de distintas variables y parámetros, para obtener un gasto o recurso de explotación, que es lo que se necesita.

Las ecuaciones fundamentales utilizadas son:

1) Fórmula de Darcy (Recursos Naturales o Escurrimiento Subterráneo)

$$Q_n = K \cdot I \cdot A \quad (1.5)$$

Donde:

K: coeficiente de permeabilidad o filtración, en m/día: gradiente hidráulico, entre dos puntos o pozos, ($I_1 = \frac{\Delta h}{L}$) adimensional

A: área del acuífero, perpendicular al flujo, por donde circula el escurrimiento subterráneo en km².

Q_n recursos naturales, en m³/día. Al multiplicar este valor por 365 días, se obtiene el escurrimiento medio anual subterráneo.

2) Fórmula de Darcy, Modificada

$$Q_n = 365 \cdot B.T.I \quad (1.6)$$

Donde:

T: coeficiente de Transmisividad del acuífero, en (m²/día)

B: ancho de la corriente subterránea o flujo que vamos a evaluar, en (m)

Q_n, ídem a la anterior fórmula., en (hm³/año)

3) **Método de la infiltración de las precipitaciones atmosféricas**, mediante el empleo de la Ecuación

$$Q_n = 10.\alpha.P.F \quad (1.7)$$

Donde:

α , coeficiente de infiltración, en %

P. lluvia efectiva media anual, en (mm)

F, área de la cuenca o zona de cálculo, en km²

10: factor de conversión.

4) **El Método de Bindeman (Método de las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas)**

$$Q = \mu \frac{\sum(\Delta h + \Delta z)}{\Delta t} \cdot F \quad (1.8)$$

Donde:

μ , coeficiente de almacenamiento, adimensional

Δh, recarga neta anual, en (m)

Δz, descarga anual, en (m)

F, área de la cuenca o zona de cálculo, en km²

Q, recursos anuales de las aguas subterráneas, en hm³

Δt, tiempo de evaluación de las observaciones, en años.

5) **Módulo de escurrimiento subterráneo.**

$$Q = 86,4 Mo F 365 \quad (1.9)$$

Donde:

M_o = módulo de escurrimiento subterráneo, en l/s/km²

$$W = \text{recarga o alimentación al acuífero, en mm} \quad W = \mu \Delta H \quad (1.10)$$

Esta ecuación se emplea cuando se van a calcular las reservas permanentes para incluir un por ciento de su volumen en los recursos explotables.

$$Q_e = Q_n + \alpha \frac{V_n}{t} \quad (1.11)$$

Donde:

$$V_n = \mu V_0 \quad (\text{reservas naturales totales}) \quad (1.12)$$

V_0 : Volumen de la capa o bloque a evaluar, en (m³ o hm³)

μ : Coeficiente de almacenamiento o porosidad efectiva, adimensional

α : Coeficiente de aprovechamiento de la reservas, e/ 0.2 - 0.5 (se sugiere el menor posible)

t: Tiempo de explotación de la toma, propuesto, en años; nunca menos de 20 años

Q_e : Recurso de explotación anual, en (hm³ /año)

Algunas consideraciones generales.

Los recursos de agua subterránea no deben ni pueden evaluarse sin tener en cuenta su relación estrecha con los recursos de agua superficial.

Los acuíferos cubanos formados por rocas carbonatadas afectados por el carzo en zonas relativamente llanas y prácticamente sin redes hidrográficas características de estas formaciones acuíferas el caudal del agua subterránea es de 90-100% del caudal global total (superficial mas subterránea).

Debe tenerse en cuenta determinadas condiciones hidrogeológicas que brindan las posibilidades de explotarse más intensamente los recursos de agua subterránea están limitados por condiciones técnicas, económicas y sanitarias.

Toda evaluación del recurso depende de la calidad de los datos de partida (datos base) y que estas en ocasiones no son fáciles de obtener, por los que el método de evaluación a utilizar en cada caso debe ser aquel que resulte mas favorable en función de las características del lugar y los datos disponibles, de la extensión de la alimentación del acuífero y del conocimiento de las necesidades de abastecimiento.

Consideramos que aunque los tres métodos se han aplicado en la provincia de Villa Clara con buenos resultados y en partes del área de estudio también, por parte de los autores referidos en la bibliografía. Seleccionamos para la evaluación de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande, al Método de Balance de las aguas subterráneas. Teniendo en cuenta las características acuíferas de la cuenca y al grado de estudios que van desde esquemas, para la zona de baja acuosidad, hasta detallados en la parte acuífera y en esta última existen las observaciones del régimen de las aguas subterráneas con series de más de 25 años de observación sistemática. Se aplica el referido método por la ventaja que tiene de estar compuesto por varias variantes que se ajustan a las condiciones de la cuenca.

1.4. Explotación de las aguas subterráneas.

La explotación de las aguas subterráneas es un proceso complejo, que no sólo debe tener en cuenta los elementos de la extracción como tal, sino también y muy detalladamente las características hidrogeológicas de los acuíferos, que unido a las formas técnicas económicas de aprovechamiento, hacen un gran sistema de uso del recurso hídrico subterráneo.

El manejo del recurso agua, concebido como un conjunto de acciones programadas para su conservación, control y aprovechamiento y considerándola parte del eco y sociosistema, es fundamental para lograr la sostenibilidad del hombre, sus actividades y la biodiversidad.

La planeación del uso social del agua debe ser un esfuerzo continuo, orientado a lograr un adecuado balance entre el desarrollo socio-económico regional y la protección del sistema hídrico, lo que conlleva a la conceptualización de la cuenca hidrográfica como unidad que requiere un sistema de administración integrado.

El aprovechamiento de las aguas subterráneas mediante pozos excavados o galerías de infiltración también es muy antiguo. La Biblia hace ya referencia a los litigios de los israelitas con sus vecinos de entonces por la posesión de determinados pozos. Ahora bien, este tipo de aprovechamientos fueron y son frecuentemente unifamiliares o individuales y su funcionamiento no requiere, por lo general, establecer compromisos o acuerdos con otros usuarios de aguas subterráneas de la misma zona. Por ello, no puede decirse que el uso de las aguas subterráneas en la antigüedad contribuyera especialmente a la construcción u organización de la sociedad urbana o civil.

Como antes se ha dicho, el aprovechamiento de las aguas subterráneas fue casi siempre relativamente modesto y realizado de modo inconexo e independiente por personas privadas o por pequeños municipios. Sin embargo, a partir del segundo tercio de este siglo, se produce un notable incremento del desarrollo de las aguas subterráneas. Este desarrollo se debe, fundamentalmente, a tres factores:

- 1) El avance de la Hidrogeología cuantitativa.
- 2) La mejora en las técnicas de perforación de pozos.
- 3) El invento de la bomba de pozos profundos que puede permitir obtener caudales de agua suficientes para regar decenas, o incluso centenas, de hectáreas mediante la perforación de un pozo de menos de medio metro de diámetro (Custodio, et al, 1983).

Este notable y reciente desarrollo de las aguas subterráneas, por lo general, ha sido realizado por miles y miles de agentes sociales independientes. Es decir, no ha exigido un acuerdo o compromiso previo entre un grupo importante de los futuros beneficiarios de esas aguas subterráneas, como casi siempre ha ocurrido en los grandes aprovechamientos de aguas superficiales. Ese desarrollo, en general, no ha sido ni diseñado, ni construido, ni controlado, por oficinas gubernamentales o servicios públicos. Han sido los propios usuarios del agua los que, a sus propias expensas, han perforado los pozos que luego ellos mismos operan y mantienen.

La contaminación del agua subterránea, aunque es menor que la del agua superficial, se debe especialmente a la agricultura, al arrastrar el agua infiltrada numerosos compuestos químicos utilizados como fertilizantes o abonos, o también productos

fitosanitarios (para la lucha contra las enfermedades y plagas), o incluso por regar con agua salada o salobre, y se ha convertido también en una preocupación en los países industrializados. (González, 2001)

Para planificar la explotación de las aguas subterráneas es necesario considerar cuatro aspectos fundamentales:

- 1) Evaluación de los recursos explotables de las aguas subterráneas.
- 2) Recomendaciones para la explotación de las aguas subterráneas
- 3) Control de la explotación.
- 4) Control del régimen de las aguas subterráneas.

El control de la extracción es uno de los puntos claves en el manejo y uso del agua subterránea en el acuífero que este en explotación a si sea en la cuenca, zona, o tramo y complejo a que pertenezca ya que de el depende posteriormente la evaluación y control sistemático del volumen y de la calidad de las aguas subterráneas que se explotan ; además que en base al control riguroso con se administre la explotación de la cuenca y de la forma en que se a presentado el año evaluado o periodo analizado esta en dependencia la entrega y restricción que se le debe tomar en un momento preciso de sequía o lluvioso.

Conclusiones parciales.

- 1) La cuenca hidrográfica es la unidad básica para realizar una gestión integrada de los recursos hídricos subterráneos, siempre que se conozcan las características geológicas e hidrogeológicas de la región.
- 2) Existen numerosos métodos de cuantificación para evaluar los recursos hídricos subterráneos, la mayoría de estos se basan en el método de balance hídrico, concentrando el análisis en una o dos variables hidrológicas, contenidas en su fórmulas de cálculos.
- 3) De todos los métodos de cálculos para cuantificar los recursos hídricos subterráneos analizados, el Método de Balance de las Aguas Subterráneas, por las ventajas y facilidad que ofrece, es más adecuado para su aplicación, porque

está implementado un sistema de observación a nivel nacional que tributa a la base de datos de las variables hidrogeológicas.

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. Selección de la cuenca.

Se partió de la división de cuencas hidrográficas del mapa nacional de Cuba (**Anexo Nº 1**) y se seleccionó para el estudio la cuenca superficial del río Sagua La Grande, por ser esta la más grande que drena para la vertiente norte y mayor en extensión territorial de la provincia Villa Clara. Es una cuenca de interés provincial, por su gran importancia socioeconómica, la cual basa su desarrollo en gran medida, haciendo un gran uso de

las aguas subterráneas, almacenada en los acuíferos de la cuenca. En las zonas de las rocas duras los acuíferos se caracterizan por tener una baja acuosidad capaces de solucionar fuentes de abasto a pequeños usuarios tales como: la actividad agropecuaria, principalmente a la ganadería mediante pozos equipados con molinos de vientos y a la población de los campesinos dispersos en la zona, a través, de captaciones someras conocidas como pozos criollos o aljibes y otros usuarios que cubren sus demandas con poca agua. En las zonas de las rocas carbonatas colectoras se desarrollan acuíferos potentes de grandes capacidades acuíferas, capaces de solucionar fuentes de abasto a usuarios que demandan y consumen grandes cantidades de agua tales como: el acueducto de Santo Domingo, la Cervecería A. Díaz de Manacas, la empresa de cultivos varios Manacas y la empresa azucarera Carlos Baliño. **(Anexo N° 2)**

2.2. Procedimiento metodológico desarrollado.

La selección de los materiales, su preparación y estandarización es vital en toda investigación, de ello depende la rapidez con que se trabaje, la mayor disponibilidad y calidad de la información referente a la zona de estudio, la que debe ser estudiada y analizada cuidadosamente para obtener la mayor información posible de ellos y que a su vez aporte los datos necesarios imprescindibles para el comienzo de la tarea propuesta (Milián, 2005).

Para el desarrollo de la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande, se confeccionó un procedimiento metodológico tomando como base los propuestos por los autores (del Toro, 1988) y (Milián, 2005), el cual aparece sintetizado en el diagrama de flujo del procedimiento que aparece en la Figura 1. Se fundamenta en la combinación de los trabajos de campo y gabinete, el uso indistinto de los materiales obtenidos por ambos autores y en general en materiales con información hidrogeológica existente, siendo un factor muy importante en la etapa preliminar para caracterizar, evaluar y reconocer el área de estudio, lo que facilita la investigación, los trabajos de campo aportan informaciones que complementan y ayudan a detallar las características físicas, socioeconómicas, ambientales y el estado del manejo del recurso de las aguas subterráneas en la cuenca.



Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento metodológico desarrollado.

La confección del procedimiento metodológico permite darle el seguimiento adecuado y lógico a la investigación propuesta, para cumplir satisfactoriamente con el objetivo general de la misma. En usos posteriores puede utilizarse como guía para evaluar desde el punto de vista cuantitativo a las demás cuencas hidrográficas de Villa Clara y puede generalizarse para las cuencas del territorio nacional.

2.2.1. Búsqueda y procesamiento de la información para la aplicación del procedimiento metodológico desarrollado en la cuenca seleccionada.

Se analizó y depuró el material recopilado que caracteriza la situación actual de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca hidrográfica estudiada.

Del análisis anterior se obtuvieron los datos siguientes:

- Datos de niveles mensuales y semestrales de las aguas subterráneas.
- Datos de gasto o caudal de los pozos aforados.
- Extracción mensual de los pozos de explotación.
- Datos de las precipitaciones ocurridas en la cuenca estudiada.

Con esta información de los datos básicos se confeccionan los diferentes Mapas Temáticos para aplicar el Procedimiento Metodológico para evaluar la cantidad disponible de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca en estudio.

2.2.2. Elaboración de los mapas temáticos de hidrogeología para la cuenca.

Confeccionar mapas temáticos de hidrogeología, que resuman el conocimiento del régimen de las aguas subterráneas difundidas en las distintas formaciones geológicas existentes en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande, con la información acumulada en los archivos de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara (EAH-VC), Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (EIPH) y la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH-VC) Recopilación, procesamiento, selección y síntesis de la información hidrogeológica (registros mensuales y semestrales del nivel de las aguas y de las pruebas de bombeo (aforos de pozos de abasto, riego y estudios).

Con la confección de los mapas se determinan:

- La profundidad a que yacen las aguas subterráneas o profundidad del nivel estático en las diferentes zonas de la cuenca.
- El movimiento y dirección del flujo de las aguas subterráneas.
- Determinar los rangos de acuosidad que caracterizan a los diferentes acuíferos desarrollados en las rocas colectoras del macizo hidrogeológico presente en la cuenca.

a. Mapa de profundidad de yacencia.

Se plotearon en el mapa los valores de la profundidad media de las aguas subterráneas, registrada entre el máximo y el mínimo de la series de cada pozo.

Se trazaron las isolíneas correspondientes a los cinco intervalos señalados, en el mapa.

En las zonas con insuficiencia (o carencia) de datos de observaciones sistemáticas con una serie superior a diez años, se tomaron los valores medios de los datos existentes y de estar en un rango aceptable (de acuerdo con los puntos más próximos, la formación geológica común y el propio rango analizado) se plotearon en el mapa.

En las zonas sin datos sobre los niveles de las aguas subterráneas se empleó el método de la analogía hidrogeológica, para lo cual se hace la interpretación de los mapas hidrogeológicos existentes. La información de estos mapas nos brinda la posibilidad de conocer las características hidrodinámicas de las zonas que tienen muy poca información y por similitud con zonas semejantes poder determinar los parámetros hidrogeológicos de dichas zonas.

b. Mapa de hidroisohipsas.

Se plotearon en el mapa los valores medios de los niveles de las aguas subterráneas referidas a la cota del pozo (denominada cota de agua media o nivel piezométrico medio), determinada por la fórmula siguiente:

$$CA = Cp - NE \quad (2.1)$$

Donde:

CA: Cota de agua media. (m)

Cp- Cota topográfica del pozo. (m)

NE- Valor de la profundidad media de las aguas subterráneas. (m)

Se trazaron las hidroisohipsas correspondientes a las cotas de agua media, con distintos intervalos, en dependencia de los valores ploteados y de la posición del punto en relación con la altitud de la cuenca.

En las zonas sin datos sobre los niveles de las aguas subterráneas las hidroisohipsas se trazaron sobre la base de la analogía hidrogeológica y de acuerdo con el criterio de que estas isolíneas presentan similar regularidad en su trazado que las curvas de nivel del relieve topográfico, sobre todo en las zonas montañosas.

c. Trazado del sentido del flujo subterráneo.

Se determinará de la forma convencional conocida: la dirección del flujo es la perpendicular a la hidroisohipsa, y el sentido o movimiento del flujo subterráneo, desde las zonas con mayor carga hidráulica hacia las zonas con menor carga.

d. Mapa de acuosidad o gasto.

Se utilizaron los datos obtenidos de los ensayos hidrogeológicos (aforos) en pozos y calas ejecutados durante los estudios hidrogeológicos realizados en Villa Clara, y los aforos realizados en pozos para abasto de diversos usuarios (poblaciones, industrias, riego, etcétera). Estos datos están registrados en la base de datos utilizados para la confección del mapa 1: 250 000 y se actualizaron con los datos obtenidos posteriormente de trabajos más recientes.

En aquellas zonas donde hay censados pozos no aforados o cuyos reportes de aforo se hayan extraviado, se asumió como caudal predominante el gasto de explotación recomendado o el gasto del equipo de bombeo.

Para aquellas zonas con insuficientes datos (o sin éstos) se empleó el método de la analogía hidrogeológica, tomando como base la interpretación de la actualización del Mapa Hidrogeológico Provincial de Villa Clara, escala 1:100 000

e. Tabla de permeabilidad de las rocas.

Se utilizaron los datos obtenidos en los ensayos hidrogeológicos (aforos) en pozos y calas ejecutadas durante los estudios hidrogeológicos realizados en Villa Clara y los aforos ejecutados en pozos para abasto de diversos usuarios (poblaciones, industrias, riego, etcétera).

En aquellas zonas donde hay censados pozos no aforados o cuyos reportes de aforo se hayan extraviado, se asumió como caudal predominante el gasto de explotación recomendado o el gasto del equipo de bombeo.

Se trazaron en el mapa los límites de los tramos, subtramos y sectores hidrogeológicos en que se dividió la cuenca.

2.2.3 Determinación de la regionalización para la delimitación de tramos, subtramos y sectores hidrogeológicos en la cuenca.

La regionalización hidrogeológica es fundamental para alcanzar los objetivos del trabajo, ya que a partir de los límites de esta división, se organiza el manejo y gestión integrada de los recursos hídricos subterráneos dentro del área de una cuenca hidrográfica.

a. Aplicación de los principio de regionalización hidrogeológica.

Los principios o criterios básicos para realizar la regionalización hidrogeológica en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande, fueron los siguientes:

- 1) Hidrológico “El parteagua o divisoria superficial de la cuenca hidrográfica.
- 2) Geológico “La litología del área de la cuenca hidrográfica.
- 3) Hidrogeológico “La permeabilidad de las rocas colectoras en la cuenca
- 4) Analogía Hidrogeológica.

b. Mapa de regionalización hidrogeológica de la cuenca.

El Mapa de la regionalización y recursos es el resumen cartográfico de gran parte de la información contenida en los mapas de gastos, profundidad de yacencia, hidroisohipsas, también en escala 1: 100 00, por lo cual su metodología es similar a la empleada en esos mapas temáticos.

2.2.4. Cálculo de los parámetros hidrogeológicos por tramos, subtramos y sectores hidrogeológicos de la cuenca.

El cálculo de los parámetros hidrogeológicos fundamentales que caracterizan las formaciones acuíferas de la cuenca se determinan a través del procesamiento de los aforos realizados en la cuenca durante los distintos estudios hidrogeológicos o de trabajo de búsqueda y exploración de agua subterránea.

Los parámetros hidrogeológicos fundamentales que se calculan son: trasmisividad, coeficiente de filtración y el coeficiente de alimentación.

a. La trasmisividad (T, m² /d)

La trasmisividad se define como la relación de flujo de agua a la temperatura prevaleciente de ésta, en m³/d, a través, de una faja vertical del acuífero de 1 m de

ancho que se extiende desde su límite inferior hasta el superior bajo un gradiente hidráulico unitario.

Los valores de la transmisividad fueron determinados a partir de los procesamientos de aforo (datos de las pruebas de bombeo a los pozos) de estudio y explotación realizados anteriormente en la cuenca, con fines de investigaciones y estudios hidrogeológicos. Se utilizaron los métodos de cálculo analíticos, grafoanalíticos y el programa de computación APUMTES.

b. El coeficiente de almacenamiento (μ , adimensional)

El coeficiente de almacenamiento (μ) adimensional de un manto acuífero se define como el volumen de agua que el mismo libera o almacena, por unidad de área superficial del manto, por cambio de unidad en el componente de carga normal a esa superficie.

El coeficiente de almacenamiento (μ) se calcula mediante el procesamiento de los datos de niveles de la aguas subterráneas en las zonas de la cuenca bajo las observaciones del régimen de las aguas subterráneas.

Para el cálculo se usa la ecuación siguiente:

$$\mu = \frac{B.T.I}{2739 .\Delta H .F} \quad (2.2)$$

Donde:

μ : Coeficiente de almacenamiento, (adimensional)

B: ancho de la sección de flujo evaluada (m)

T: transmisividad (m^2/d)

I: gradiente hidráulico (adimensional)

2739: factor de conversión

ΔH : alimentación total (m)

F: área del sector hidrogeológico (km²).

Para aquellas zonas con insuficientes datos (o sin ellos) se empleó el método de la analogía hidrogeológica con ayuda de los distintos mapas hidrogeológicos existente.

c. Alimentación total del acuífero (ΔH , m)

La alimentación total (o variación de altura de la alimentación del acuífero) ΔH , se determina mediante los datos de niveles de las aguas subterráneas, con los pozos de observación que son representativos de cada acuífero y para el calculo se emplea el (**gráfico GERAS**), el cual es un programa en Excel, construidos para evaluar el estado de los acuíferos mediante el análisis de sus limnograma de las oscilaciones de los niveles de las aguas subterráneas. Este parámetro solamente se pudo determinar en aquellos tramos hidrogeológicos que están bajo las observaciones del régimen hídrico subterráneo.

$$\Delta H = \frac{(\Delta h + \Delta Zh)}{N} \quad (2.3) \quad \text{y} \quad \Delta H = 2 \Delta h$$

Donde:

Δh : recarga neta (m)

ΔZh : descarga total correspondiente al periodo húmedo (drenaje natural+extracciones)

N: número de años de la serie analizada.

d. Alimentación promedio del acuífero (W, mm)

El método de balance será el utilizado para la reevaluación de este parámetro mediante el empleo de la fórmula:

$$W = 1000 \cdot \mu \cdot \Delta H \quad (2.4)$$

Donde:

1000: Factor de conversión

μ : Coeficiente de almacenamiento (adimensional)

ΔH : Variación de la altura de alimentación total del acuífero (m).

e. Coeficiente de infiltración (α , %)

El método de balance será el utilizado para la evaluación de este parámetro mediante el empleo de la fórmula:

$$\alpha = \frac{W \cdot 100\%}{P} \quad (2.5)$$

Donde:

W: alimentación promedio del acuífero (mm)

100: factor de conversión

P: lámina anual de la lluvia (mm)

2.2.5. Aplicación de las variantes seleccionadas del Método de Balance para la evaluación de los recursos hídricos subterráneos.

El cálculo de los Recursos Hídricos Subterráneos de la cuenca hidrográfica se realiza sobre la base del procesamiento de los datos (parámetros hidrogeológicos) obtenidos durante la ejecución de los estudios hidrogeológicos de diferentes escalas efectuados en años anteriores (aplicados o sistemáticos) se realiza para cada tramo hidrogeológico en que se dividió la cuenca y para ello se utiliza el Método de Balance de las Aguas Subterráneas en las tres (3) variantes siguientes:

Las variantes del Método de Balance de las Aguas Subterráneas utilizadas para el cálculo de los recursos hídricos explotables (Q_n , $\text{hm}^3/\text{año}$) son:

a. Método del análisis de las fluctuaciones del nivel de las aguas subterráneas:

Se realiza mediante el empleo de la ecuación siguiente:

$$Q_n = \mu \cdot \Delta H \cdot F \quad (2.6)$$

Donde las expresiones ya fueron explicadas anteriormente.

b. Método de la corriente natural:

Se emplea la fórmula siguiente:

$$Q_n = 365.B.T.I \quad (2.7)$$

Donde:

365: factor de conversión

Las restantes expresiones ya fueron explicadas anteriormente.

c. Método de la infiltración de las precipitaciones atmosféricas.

Mediante el empleo de la fórmula **Nº (2.8)**:

$$Q_n = 10.\alpha.P.F \quad (2.8)$$

Donde:

10: factor de conversión

Las restantes expresiones ya fueron explicadas anteriormente.

d. Evaluación de los Recursos Explotables (Q_e , hm³/año).

Teniendo en cuenta que la serie de observaciones hidrogeológicas sobre el régimen de las aguas subterráneas es relativamente larga, para la evaluación de **Los Recursos Explotables** se utiliza el método de balance, asumiendo como política de explotación el criterio de que los recursos explotables deben ser iguales o menores a los recursos naturales evaluados como recarga media hiperanual del acuífero.

Los Recursos Explotables (Q_e) de las aguas subterráneas se evalúan por la variante de la infiltración de las precipitaciones atmosféricas (**ecuación 2.8**), pero sustituyendo en cada sector los valores de la probabilidad de lluvia del 75 y 95 por ciento.

Se construye una tabla resumen de los recursos evaluados en los distintos tramos hidrogeológicos de la cuenca, para mejor información se anexa al mapa de regionalización y brinda la ventaja de tener en un solo plano la división de los tramos y sectores hidrogeológicos y los parámetros y recursos de la cuenca.

2.2.6. Análisis del uso de las aguas subterráneas en la cuenca.

El análisis del uso de las aguas subterráneas se realiza para un periodo no menor de cinco años procesando los datos de los consumos reales de las aguas subterráneas recopilados de la información del Balance de Agua Anual de la provincia, el cual es

una de las acciones que se realiza para el manejo integrado de los recursos hídricos del país, por resolución del INRH, dentro de un cronograma establecido por la dirección nacional del referido instituto y controlado su ejecución por las delegaciones provinciales y lo ejecutan las empresas de aprovechamiento hidráulicos de cada provincia.

a. Mapa de uso del agua en la cuenca.

Se parte de la base del mapa de regionalización y sobre este se plotean los pozos de explotación incluidos en el Censo de pozos de la cuenca que constituyen las fuentes subterráneas de abasto para los diferentes usuarios que radican en la misma.

CAPITULO III.

CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA D E ESTUDIO.

3.1. Situación geográfica, límites y extensión de la cuenca.

La cuenca del río Sagua la Grande tiene su mayor parte dentro de la provincia de Villa Clara. Pertenece a la macro cuenca hidrográfica septentrional del centro de Cuba, ocupando gran parte del centro, oeste y norte de este territorio. Tiene un área total de 2 130 km² lo que corresponde al 21.3 % de la superficie de la provincia de Villa Clara y está limitada al Este con la cuenca del Sagua la Chica, al Oeste con la cuenca de Río Cañas y al Sur con las del Hanábana, Damují, Caunao, Arimao y Agabama, Cifuentes y Ranchuelo coincidiendo los principales asentamientos urbanos con las cabeceras municipales y otros poblados como son: Esperanza, Rodrigo, Santo Domingo.

(Anexo Nº 1).

Sus límites geográficos quedan enmarcados en las siguientes coordenadas planas

Orientación	Coordenada X	Coordenada Y
Norte	598.000	348.000
Sur	610.000	267.000
Oeste	551.000	314.000
Este	612.000	314.000

La cuenca incluye los territorios de varios municipios, algunos de ellos completamente contenidos en la cuenca. Dentro de la cuenca está una parte importante del municipio de Santa Clara con 202,7 Km², gran parte de Ranchuelo y partes importantes de los municipios de Santo Domingo, Quemado de Güines, Cifuentes y Sagua la Grande.

En la parte alta de la cuenca también se incluye una porción del municipio de Manicaragua, en las inmediaciones de las alturas residuales como Loma Quintana, Parte de las Lomas de Rebacadero, Lomas de Curamaguey, Loma Bruja, Palmarito, Lomas de Castellano y Ranchuelito, para alcanzar un total de siete municipios en los que la cuenca tiene incidencia. **(Anexo Nº 3).**

Dentro de la cuenca se localizan numerosos asentamientos urbanos y dentro de ellos los principales parques industriales corresponden a las ciudades de Santa Clara y Sagua la Grande y existe un gran desarrollo agropecuario, incluyendo varias Empresas Azucareras, una estructura hidráulica bien definida y un planeamiento perspectivo amplio. Por consiguiente, las aguas subterráneas de la cuenca tienen un uso diverso que va desde el riego y la acuicultura hasta el consumo humano.

3.2. Caracterización socio-cultural y estado ambiental de la cuenca.

La cuenca del río Sagua la Grande es la principal de la provincia de Villa Clara, tanto por su extensión territorial (es la mayor de la vertiente Norte de Cuba) como por el nivel de significación que tiene en el contexto socioeconómico. En la Cuenca residen un total de 401 726 habitantes, gran parte de ellos radicados en las ciudades de Santa Clara, Sagua la Grande y poblados cabeceras de los demás municipios que forman parte de la cuenca.

Por la fertilidad de sus suelos y las características climatológicas y geomorfológicas, en el área de esta cuenca se desarrollan las principales actividades agropecuarias de la provincia, en primer lugar la agricultura cañera y la de producción de alimentos (cultivo de viandas, maíz, plátano, granos y hortalizas), que junto a la ganadería son renglones primordiales en la economía local.

La actividad industrial tiene en los sectores azucarero, elaboración de alimentos, la producción de ron y licores, las industrias mecánica, de producciones domésticas, de materiales para construcción y la electroquímica gran desarrollo, por la infraestructura instalada y las tradiciones y capacidad de las fuerzas productivas del territorio.

La pesca, el turismo y la recreación tienen en el sector costero y las obras hidráulicas una enorme potencialidad. Estas últimas constituyen el más importante potencial hidráulico, contando con uno de los mayores embalses del país (Alacranes) cuya función principal es el riego.

Estas actividades socioeconómicas generan impactos negativos en el medio, lo cual se traduce en áreas deforestadas por la tala y la quema, pérdida de suelos por arrastres en

zonas sin protección, erosión, afectaciones a la flora y la fauna y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

Existe una marcada incidencia de la carga contaminante que es arrojada a las aguas superficiales de la cuenca, con residuos orgánicos e inorgánicos (metales pesados entre estos últimos).

Entre las fuentes contaminantes de mayor aporte se destacan el alcantarillado de Santa Clara con 1 012 ton/año, la Cervecería de Manacas con 400 ton/año, ambas entre las mayores de la provincia, que juntas constituyen casi el 40% de la carga total vertida en la cuenca.

La ciudad de Sagua La Grande también aporta un volumen importante de contaminantes, en el curso bajo del río. Dado su posición, incide prácticamente sobre la zona costera. La carga aportada desde la misma asciende a 365 ton/año, incidiendo significativamente instalaciones como el Matadero "Lorenzo González". No puede dejar de considerarse el efecto de la Planta Cloro Sosa, con su aporte de metales pesados como el mercurio (unos 0.48 Kg/año).

3.3. Hidrografía

En la cuenca estudiada la red hidrográfica esta bien desarrollada, la cual se clasifica como dendrítica y la corriente principal de la cuenca es el río Sagua la Grande que nace en las lomas septentrionales del Escambray a una altura de 245 m sobre el nivel medio del mar siguiendo el curso del mismo cerca del poblado de Santo Domingo el cauce se orienta hacia el norte hasta su desembocadura en la costa, cerca de Isabela de Sagua, hasta este lugar la longitud total del río principal es de 153 Km con una pendiente natural media 1.9% por mil.

Los afluentes más significativos de la corriente principal son por la margen derecha los arroyos Ranchuelito, Grande y Yabú, mientras que por la margen izquierda son Trancas, Jiquiabo, Roble y Monasterio.

Una parte de la cuenca es atravesada por varios canales magistrales, entre los que se encuentran Alacranes- Calabazar, Armonía y Macún. **(Anexo N° 4)**

3.4. Geomorfología.

La amplitud de los movimientos neotetónicos en el área de la cuenca determina la aparición de las categorías morfoestructurales de alturas y llanuras.

El relieve de la cuenca en su mayor parte es una llanura ondulada con descenso gradual hacia la costa norte, las máximas alturas se localizan en las lomas septentrionales del Escambray, donde nace el río principal, en un lugar conocido por "Los Azules" a 245 msnmm, aunque la parte alta de la sierra Mayía Rodríguez sobrepasa los 300 msnmm. En su parte central tiene carácter de planicie entre 20 y 10 msnmm. Hacia el oeste, estamos en presencia de una auténtica llanura de Manacas, que en zonas se convierte en áreas mal drenadas.

Las alturas se encuentran genéticamente asociadas a los sistemas montañosos o formando grupos aislados, son el resultado de ascensos neotectónicos débiles y moderados con amplitudes hasta unos 300 m. Constituyen restos de superficies más elevadas en cuyos casos no sobrepasan la altura de unas decenas de metros. Desde el punto de vista genético y morfológico en el área que ocupa la cuenca se distingue el siguiente complejo de alturas:

Tectónico – estructurales.

Deben su origen a ascenso de poca amplitud y a la expresión morfológica de su estructura interna pasiva, son medianamente diseccionadas y con pendientes que oscilan entre 15 y 45° de manera general. Estas se localizan fundamentalmente en toda la parte norte y noreste de la cuenca apareciendo como bloques aplanados aislados controlados por factores tectónicos con cotas entre 200 y 250 m. Están asociados a los estratos del Cretácico Inferior constituidos por sedimentos terrígenos - carbonatados, representados por las Formaciones Mata y Margarita y sedimentos paleogénicos de la Formación Vega.

Tectónico – erosivas.

En ellas el papel genético fundamental es de carácter endógeno activo, pero han sido considerablemente transformadas por los procesos morfogenéticos. Se originan principalmente sobre las rocas cristalinas masivas que se denudan con facilidad y sobre las que se desarrollan fuertes procesos erosivos. Aparecen fundamentalmente en la porción Sur y Sureste de la cuenca como horst y bloques medianamente diseccionado

con pendientes medias entre 15 - 35° y cotas de 150 - 300 m. Estas se asocian a sedimentos Cretácicos de origen vulcanógeno-sedimentario de la Formación Bruja y a rocas de Complejo Serpentinítico.

Las llanuras corresponden a las zonas de ascensos neotectónicos más débiles o descensos relativos cuyas amplitudes son inferiores a los 100 m. generalmente.

De acuerdo al factor genético en el área que ocupa la cuenca se distingue el siguiente complejo de llanuras:

Marinas: Aparecen de 0 a 100 y 200 m. sus superficies más jóvenes son predominantemente abrasivo - acumulativas parcialmente cenagosas. Se extienden por toda la parte norte de la cuenca.

Fluviales: Presentan un claro sistema de terrazas erosivas en las partes altas, onduladas o colinosas con cotas entre 100 a 200 m. y pendientes de 15° hasta 30°. Así como terrazas acumulativas y erosivo - acumulativas que se manifiestan de forma escalonada desde las partes más altas, erosivas y hacia las inferiores, acumulativas, en los interiores del valle fluvial del río Sagua la Grande. Son mediana a ligeramente onduladas y planas, con categoría de débilmente a poco diseccionada y pendientes de 0 a 5°. Se asocian fundamentalmente a sedimentos Cuaternarios (aluviales, eluviales y deluviales) que aparecen propagados en los valles de los ríos, cubriendo la extensa llanura del río Sagua la Grande, y a estratos neogénicos arcillosos de la Formación Arabos.

Lacustre y palustres: se caracterizan por ser acumulativas planas y parcialmente cenagosas y se localizan en la parte norte de la cuenca, constituyendo los cayos y ensenadas.

Denudativas: Son las más desarrolladas y propagadas, ocupando casi toda el área de la cuenca. Se presentan en 3 formas características: amplias poligenéticas con cotas entre los 100 y 150 m., poligenéticas onduladas que constituyen parte aguas locales con niveles entre 140 y 150 m y restos denudativos nivelados con cotas de hasta 180 m. De forma general, estas se asocian fundamentalmente a los estratos del Cretácico y del Paleógeno (K - P).

3.5. Geología.

La geología de la cuenca ha sido estudiada por geólogos como Thiadens, Rutten, Wassal y Broniman y posteriormente por geólogos de la Academia de Ciencias de Bulgaria y Cuba.

Las características geológicas de la cuenca en base a el Mapa Geológico a escala 1: 250 000, confeccionados por la Academia de Ciencias de Cuba y Bulgaria; así como diferentes materiales de archivos que tienen incluidos los más recientes trabajos de campo realizados por las empresas e identidades de la provincia que estudian y trabajan en las ramas de la referida ciencia.

La tectónica ha jugado un importante papel en la formación del relieve de la cuenca reflejando en la disposición alineada de las cimas, sus facetas y la sinuosidad o cambios bruscos en el cauce del río, el cual corre adaptándose a posibles líneas de fallas. Desde este punto de vista el área de la cuenca presenta cierta consideración en cuanto a su complejidad, encontrándose una serie de estructuras plicativas (pliegues) y dislocaciones disyuntivas (fallas).

En toda la porción Suroeste y centro de la cuenca se encuentra la Depresión de Santo Domingo que está incluida dentro de la Zona Estructurofacial Zaza, el resto del área de la cuenca se halla ocupada por las Zonas Estructurofaciales Placetas, Camajuaní y una pequeña parte de Remedios. La conforman una variada litología en su mayor parte de edad Cretácico Inferior y Superior (K^{1-2}) que constituyen su basamento. Rellenan la depresión los depósitos Maestrichtiano-Paleogénicos (K_2^{m-p}) que estructuralmente representan un piso estructural unitario, localizados hacia la parte norte y este. Aparecen además rocas de origen vulcanógeno-sedimentario y numerosas intrusiones de serpentinitas y gabroides. Todas estas litologías constituyen el piso inferior, el superior lo forman sus efluvios y sedimentos aluviales que van desde arcilla hasta arena gruesa, los cuales tienen una gran distribución y potencia.

A continuación se explican brevemente las características estratigráficas y tectónicas de cada zona en la cuenca. **(Anexo N° 5).**

Zona Estructurofacial Remedios.

Posee dos complejos geológico-genérico: el terrígeno - carbonatado y el carbonatado, con una edad que va desde el Cretácico Inferior al Oligoceno ($K_1 - P_3$). Dentro de la primera está la Formación Grande ($P_1 - P_2^1$ Grd) constituida por un complejo evaporítico que se cubre por los sedimentos carbonatados de la Formación Remedios. Sus rocas están débilmente dislocadas, en sus partes más meridionales las deformaciones tectónicas son mucho más intensivas en comparación con sus partes septentrionales.

Actualmente esta zona está muy plegada y por lo general en zonas llanas cubiertas por un potente espesor de sedimentos de la cobertura Neógeno-Cuaternario (N - Q). Sus depósitos forman un manto único que se dispone transgresiva y discordantemente sobre los preneogénicos de la demás rocas estructurofaciales. Los neogénicos aparecen menos distribuidos en la cuenca, localizados hacia la porción noroeste y una pequeña franja hacia el sur del Embalse Alacranes, representados en la Formación Arabos (N_1 Arb).

Los cuaternarios están bastante propagados en la cuenca, se localizan en los valles de los ríos y en su mayor extensión hacia la parte norte y central, cubriendo la extensa llanura fluvial del río Sagua la Grande, constituidos por depósitos areno - arcillosos (sedimentos aluviales, deluviales y eluviales). Su límite inferior queda marcado por una discordancia regional.

Zona Estructurofacial Camajuani.

En ellas se desarrollan dos complejos geológico-genéricos: el carbonatado-terrígeno y el terrígeno-carbonatado. Dentro de la primera con edades desde el Jurásico Superior al Paleógeno ($J_3 - P$) encontramos las Formaciones Margarita ($K_1^{(b-h)}$ Mra), Trocha ($J_3^t - K_1^b$ Tr) y Lutgarda (K_2^{m2} Lug), así como sedimentos de edad Cretácico representados por la Formación Mata ($K_1^a - K_2^{cm}$ Mt). En la segunda sólo aparecen sedimentos de edad Paleógeno correspondientes a la Formación Vegas ($P_1 - P_2^2$ Vga).

Esta zona se extiende como una franja larga y estrecha manteniendo una orientación general Noroeste - Sureste y se encuentra en estrecha relación a la Falla Regional Las Villas. Está fracturada y plegada, en las capas del piso Tithoniano - Maestrichtiano ($J_3^t - K_2^m$) está relativamente menos deformada donde se observan ciertos pliegues pequeños. Aparecen pliegues lineales de dirección Noroeste - Sureste como el

Anticlinal Quemado de Guines, situado al noroeste de la cuenca. Al fragmento de la zona Camajuaní entre Sagua la Grande y Calabazar de Sagua, su estructura es una serie de pliegues isoclinales de flancos septentrionales muy reducidos.

Todos estos pliegues están desmembrados por múltiples fallas inversas cuyos flancos buzanan solamente hacia el sur.

Zona Estructurofacial Placetás.

Posee poco desarrollo y forma una banda discontinua con la dirección principal de las estructuras Sureste - Noroeste. Está constituida por diversas rocas sedimentarias en las que se desarrollan dos complejos geológico-genéricos: el carbonatado, el terrígeno y terrígeno-carbonatado. El primero incluye formaciones desde el Jurásico al Cretácico (J - K) tales como: Veloz ($J_3^t - K_1^{br}$ Vz), Carmita (K_2^{cm} Cr) y Santa Teresa ($K_1^{ap} - K_2^{cm}$ St). La segunda corresponde a la Formación Vega Alta limitada al Paleógeno ($P_2^{(1-2)}$ Va), la cual representa un melange sedimentario intensamente tectonizado (Olistostroma Vega Alta). La tercera alcanza hasta el Maestrichtiano (K_2^m) incluyendo a las Formaciones Constancia (J_3t Cnt) y Amaro (K_2^{m2} Am).

Las rocas de esta zona han sufrido deformaciones tectónicas extraordinariamente intensas, están plegadas y falladas, logrando encontrar bloques de esta dentro de la zona Zaza. Las rocas del piso estructural Tithoniano-Cenomaniano ($J_3^t - K_2^{cm}$), que corresponden a la formación ingeniero-geológica carbonatada, están intensamente deformadas, siendo éstas la que presentan mayor tectonización en la provincia, en ellas se observan numerosos y diversos pliegues cortados por muchas fallas pequeñas y grandes. Las del piso estructural Maestrichtiano están considerablemente deformadas, pero en menor grado que en el piso anterior, no se observan plegamientos pequeños, por lo general sus capas tienen direcciones e inclinaciones constantes.

Zona Estructurofacial Zaza.

Tiene gran desarrollo y ocupa la mayor parte del área de la cuenca. Se encuentra atravesada por grandes cuerpos serpentínicos (formación geológica intrusiva) de edad Cretácico K(?). Dentro de ella se desarrollan también las formaciones terrígenas, terrígeno - carbonatada y efusivo - sedimentario. En la terrígena, que incluye edades del Paleoceno – Eoceno inferior ($P_1 - P_2$), se destacan las Formaciones Ochoa ($P_2^{(1a-1b)}$ Oc) y Tinguaro (P_3^3 Tgr). En la terrígeno-carbonatada se incluyen las Formaciones

Santa Clara (f_1 Stc), Ranchuelo ($P_2^{(1a-1b)}$ Rc), Jíca (P_3^1 Jí), Jicotea (P_2^3 Jt). En esta zona se incluye el gran por ciento de las formaciones efusivo-sedimentarias del Cretácico tales como: Maguey ($K_2^{(cn-st)}$ Mag), Bruja ($K_2^{(sn-st)}$ Br), Seibabo (K_2^t So), Cotorro (K_2^{cp} Ctr) y Mataguá ($K_1^{ap} - K_2^t$ Mg).

Esta zona tiene relaciones muy complejas con las restantes y sus rocas están muy falladas y plegadas. Su límite tectónico más importante es entre el Eoceno Medio y el Superior ($P_2^1 - P_2^p$) donde tuvo lugar una interrupción general en la sedimentación y la yacencia transgresiva de los depósitos del Eoceno Superior sobre distintas partes de los pisos paleogénicos más antiguos, sobre rocas de mayor edad. Estas rocas tienen diferentes grados de deformación. Las rocas del piso estructural Cretácico (K) han sufrido deformaciones intensas, pero en un grado considerablemente menor que la que sufrieron los pisos más antiguos. Los pliegues en las rocas son de tipo concéntricos, un fenómeno muy frecuente son las numerosas diaclasas y las pequeñas y grandes fallas de rechazo horizontal.

Depresión de Santo Domingo: ocupa la porción occidental. Su basamento está constituido por los depósitos plegados del piso estructural Cretácico Inferior - Santoniano ($K_1 - K_2^s$). Rellenan la depresión los depósitos Maestrichtiano - Paleogénicos ($K_2^m - P$), las capas de estos depósitos de los flancos de la depresión buzando hacia sus partes centrales. El buzamiento cetrinal de las capas y la parte oriental de la depresión son complicados solamente por varios plegamientos transversales secundarios.

Entre los de mayor consideración se observa uno en la región que queda al Suroeste de Esperanza y al este del Embalse Ranchuelo.

La Loma Marota, constituida por calizas, representa un estrecho sinclinal cuyos flancos tiene una inclinación hasta 65° y cuyo eje tiene dirección NNE - SSE, buzando bruscamente al noroeste.

En el ala sur los depósitos Maestrichtiano - Paleogénicos buzando monoclinamente al norte (cerca de los poblados Mal Tiempo, y San Juan de los Yeras, al Suroeste del Embalse Palmarito), esta ala está cortada por numerosas fallas pequeñas y grandes, la

mayoría con dirección Suroeste - Noreste (Falla Cruces). En el ala norte, al noroeste de Santo Domingo, tanto sobre los depósitos de la Zona Zaza (serpentinitas y gabroides) como sobre distintas formaciones de la Zona Placetas, los depósitos están plegados en un pequeño sinclinal (Sinclinal Álvarez). Como parte de esta depresión, puede considerarse también los depósitos paleogénicos de la región de la ciudad de Santa Clara, incluidos dentro del Sinclinal Santa Clara. Este se sitúa hacia la porción este de la cuenca y representa un gran sinforma de constitución interna bastante complicada. En la porción este de la cuenca se localiza la estructura Antiforma Cifuentes, cuya dirección general es Noroeste - Sureste, su núcleo está constituido por los depósitos intensamente plegados de la Zona Placetas, en tanto que los flancos por los de la Zona Zaza. Al noroeste esta estructura queda cubierta por los depósitos neogénicos. En la porción septentrional de la Zona Zaza está la mayor dislocación disyuntiva (Falla Las Villas) por la cual la serpentinitas y demás depósitos de esta zona han sido corridos sobre la Zona Placetas. Desde el Embalse Alacranes sobre el río Sagua la Grande hasta el Sureste de Calabazar de Sagua, se extiende la falla de rechazo horizontal Alacranes, la cual desplaza al bloque Alacranes a unos 20 km al Este. Los depósitos de la Zona Zaza del Norte - Noroeste, limitan con los depósitos de la Zona Camajuaní mediante una gran línea tectónica, conocida con el nombre de Falla de Camajuaní. Al este de Rancho Veloz esta falla tiene un plegamiento sinuoso, donde el bloque sur es ligeramente desplazado al norte. En el valle del río Sagua la Grande ésta es cortada por la Falla Alacranes, por la cual el bloque sur sufre un desplazamiento al este. Esta es una estructura disyuntiva relativamente muy joven que corta las estructuras de todas las zonas estructurofaciales. **(Anexo N° 5)**

3.6. Hidrogeología.

3.6.1. Condiciones de difusión, yacencia y alimentación de las aguas subterráneas en la cuenca.

a. Complejo Acuífero del Cuaternario.

Las aguas subterráneas están difundidas fundamentalmente en los sedimentos aluviales depositados en la terraza aluvial del río principal y en los afluentes que conforman la red hidrográfica de la cuenca, en las terrazas marinas de la costa y también en los depósitos eluviales de material arcilloso (capa cobertera) que

sobreyacen las rocas madres de los diferentes sistemas geológicos presentes en la zona de estudio.

Terraza aluvial: El acuífero que se desarrolla en estos sedimentos presenta una baja acuosidad y solo tienen interés práctico limitado para el abastecimiento de agua a pequeños consumidores y de carácter puntual. Por lo general su profundidad no sobrepasa el metro. Son aguas del tipo de estrato intersticiales.

Terraza marina: Aparecen distribuidas en los sedimentos de la llanura costera al norte de la cuenca donde los gastos pueden alcanzar valores de hasta 40 l/s y su composición química es clórico- sódicas con mineralizaciones que llegan a alcanzar hasta 4 g/l.

La profundidad media de yacencia de las aguas subterráneas difundidas los sedimentos del cuaternario está en el intervalo de hasta 3 m en toda su superficie, excepto en las llanuras costera, las fluviales y puntos aislados con valores menores de un metro.

La amplitud de la oscilación de los niveles de las aguas subterráneas difundidas en este complejo acuífero está en el rango de hasta 3 m.

La alimentación de las aguas subterráneas difundidas en los sedimentos del cuaternario ocurre mediante la infiltración de las precipitaciones atmosféricas principalmente que caen en toda el área de difusión del acuífero.

La descarga (drenaje) de las aguas subterráneas ocurre fundamentalmente por causas naturales como el flujo subterráneo hacia la línea costera y por la evapotranspiración donde la yacencia de las aguas subterráneas está cercana a la superficie.

b. Complejo Acuífero del Neógeno.

Ocupan el extremo Noroeste del territorio estudiado en las calizas del Mioceno Inferior y Medio (Formación Manga Larga) y están muy difundidos.

La acuosidad de las rocas colectoras oscila entre 0 y 10 l/s.

Las aguas son del tipo estratos intersticiales y la profundidad de yacencia oscila entre los 0 y 5 m de profundidad.

Estas aguas son utilizadas fundamentalmente para abastecimiento de riego. Por su composición general son bicarbonatadas cálcicas aunque cerca de la costa pueden ser cloruro sódicas.

c. Complejo Acuífero del Paleógeno.

Se difunden en las rocas de diferentes formaciones geológicas de edad Paleógeno como son Formación. Grande, Vega, Olistostromas Vega Alta, Tinguaro, Jia, Jicotea, Ochoa y Ranchuelo con una litología que incluye fundamentalmente calizas de varios tipos, brechas carbonatadas y margas variadas. También se distribuyen areniscas, arcillas, limonitas, olistolitas y olistoclastos.

Por lo general estas aguas son carbonatadas cálcicas magnésicas aunque en el caso del Olistostroma Vega Alta pueden variar en dependencia a la composición química de las olistolitas y olistoclastos presentes en cada locación.

La profundidad de yacencia varía en base al relieve de hasta 10 m en el período húmedo hasta 20 m en la seca. La alimentación de las aguas subterráneas se produce mediante la infiltración de las aguas pluviales.

d. Complejo Acuífero del Cretácico.

Tienen una gran distribución en toda el área de la cuenca sobre todo al centro y Sur del territorio

Dentro del Cretácico encontramos gran variedad de rocas de diferente composición que van desde las carbonatadas hasta las serpentinitas decidiendo su separación en tres grupos:

- Asociados a las rocas carbonatadas.
- Asociados a las rocas vulcanógenas.
- Asociados a las serpentinitas.

e) Complejo Acuíferos asociados a las rocas carbonatadas.

Tiene una amplia distribución sobre todo al Norte. Como colectoras de este acuífero tenemos las formaciones geológicas □araíso, Margarita, Mata, Carmita, Santa Teresa, Carlota, Amaro y Lutgarda que presentan una litología donde predominan las calizas, brechas, margas, calcarenitas, silicitas, arcillas, arcillas bentoníticas.

Durante el período seco la profundidad de yacencia de las aguas freáticas es de 4 a 8 m en dependencia del relieve. Están difundidas las aguas hidrocarbonatadas cálcicas con mineralizaciones de hasta 1 g/l.

La amplitud de las oscilaciones estacionales del nivel de las aguas es de 2 a 4 m. Por lo general los gastos obtenidos están entre los 5 a los 10 l/s aunque en la Formación Margarita se han obtenido valores de 25 a 50 l/s.

f. Complejo Acuíferos asociados a las rocas vulcanógenas.

Se distribuyen al centro de la cuenca y están representados por las Formaciones Provincial, Mataguá, Maguey, Seibabo, Cabaiguán, Sagua la Chica y Cotorro, que abarcan litologías variadas como calizas, margas, tobas, tufitas y conglomerados polimícticos y predominan las lavas, brechas, andesitas, diabasas, pillow lavas, gabrodiabasas, etc.

g. Complejo Acuíferos asociados a las serpentinitas.

Las serpentinitas ocupan un área situada al Este del territorio estudiado (desde el poblado de Santo Domingo hasta las cercanías de Hatillo, Norte de Cifuentes y alrededores de Santa Clara, (ver anexo gráfico No. 2). Las aguas subterráneas difundidas en estas rocas pertenecen al tipo de aguas de fisuras de las zona de intemperismo y en ocasiones a las aguas filonianas relacionadas con fracturas tectónicas. Por regla general estas rocas poseen débil acuosidad, los gastos de los pozos oscilan en un intervalo hasta los 3 l/s y con gastos específicos menores a 0.5 l/s, en pozos en que alumbren las aguas filonianas es factible la obtención de gastos mayores. Las aguas subterráneas yacen en el intervalo de profundidad de 2 a 10 m en el período seco y hasta los 5 m en período húmedo.

h. Complejo Acuífero del Jurásico.

Se distribuyen en las formaciones geológicas fundamentales: Trocha, Veloz y Constancia y presentan una litología de calizas de variados tipos y silicitas. Se ubican al noroeste del territorio y forman una banda estrecha y alargada.

Los gastos son muy variables, aunque debe oscilar entre los 10 y 25 l/s se han obtenido valores de hasta 50 l/s. La profundidad de yacencia puede alcanzar valores cercanos a

Evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

10 m y por lo general son del tipo hidrocarbonatado cálcicos con mineralización de hasta 1 g/l.. **(Anexo N°6).**

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Mapas temáticos.

4.1.1. Mapa Hidrogeológico.

Este mapa se confeccionó a escala 1.100.000 para georreferenciarlo para el sistema de información geográfica en (SIG-ArcView) resume o confina la información de los mapas anteriores. Refleja las condiciones hidrodinámica y acuífera de la cuenca. **(Anexo n° 6).**

4.1.2. Mapa de Acuosidad o gasto.

Para mayor detalle de la acuosidad de las rocas colectoras se elaboró el presente mapa en el cual se puede ver la variabilidad de los gastos en el área de estudio, donde los gastos de los afloros realizados a dicha litología varían desde menos de 3 l/s hasta mayores de 50L/s. (**Anexo N° 7**).

Se realizó un rango de distribución para caracterizar las distintas zonas dentro de la cuenca, obteniéndose tres zonas fundamentales:

- 1) Localizada en el centro-occidente, que es donde se encuentran los gastos mayores (de 50 a 150 L/s), productos a que aquí se desarrolla el acuífero más importante de la cuenca estudiada.
- 2) Se encuentra en la parte central del territorio agrupa los complejos terrígenos carbonatados donde los gastos característicos son menores a 25 L/s.
- 3) Se localiza en la porción sur, donde se encuentran las rocas duras y semi-duras (fundamentalmente las del grupo serpentinitas). Los gastos en esta zona son inferiores a los 3 L/s, con la excepción de aquellos pozos que corten algún fenómeno tectónico.

Este mapa es fundamental porque constituye la base para realizar el mapa de la regionalización de la cuenca estudiada.

4.1.3. Mapa de Regionalización.

Este mapa contiene la división de los tramos, subtramos y sectores hidrogeológicos que se realizaron en la cuenca para poder realizar la evaluación detallada de los recursos hídricos subterráneos, donde se obtuvieron cinco tramos fundamentales y para cada uno de ellos se le realizaron las evaluaciones correspondientes.

4.2 Regionalización Integral.

En el **anexo N° 1** aparece la ubicación geográfica de la cuenca hidrográfica Sagua La Grande ubicada en la provincia de Villa Clara, Cuba. El parte agua de esta cuenca limita el área de estudio tomada para la evaluación de los recursos hídricos subterráneos en la misma.

Los límites entre los diferentes acuíferos fueron establecidos a partir de los límites geológicos y tectónicos en la cuenca hidrográfica. Los acuíferos fueron subdivididos en tramos, subtramos y sectores hidrogeológicos; estos últimos, responden a áreas más pequeñas con alta acuosidad dentro de un subtramo. Esta subdivisión se basó en la permeabilidad de las rocas presentes en la cuenca, extraídos del mapa de acuosidad **(Anexo N° 7)** confeccionado a escala 1: 100 000, utilizando los materiales de archivos existentes, tales como:

- Mapa hidrogeológico de la provincia de Villa Clara. Escala 1:100 000
- Datos de aforo de pozos. Se procesaron más de 160 aforos.

En aquellas zonas poco estudiadas, donde existen lagunas de información de los datos básicos o primarios hidrogeológicos (falta de aforos de pozos y del régimen de las aguas subterráneas) se aplicó el principio de analogía hidrogeológica, basados en el Mapa geológico de la provincia de Villa Clara, Escala. 1:250 000 de la Academia de Cuba y los países del desaparecido CAME y El Mapa de Cuba Central confeccionados por especialistas de la Expedición Geológica de Villa Clara a Escala 1: 100 000. Esta información permitió agrupar rocas de orígenes diferentes pero que presentan características acuíferas similares en un mismo intervalo de gastos de los pozos aforados para distintos fines económicos existentes en los bancos de datos de aforos y recomendaciones de pozos de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara. **(Anexo N° 7)**.

En la parte occidental de la cuenca se localizan los dos acuíferos que de acuerdo con sus características hidrogeológicas, presentan gran acuosidad, producto de la capacidad acuífera que tienen las rocas colectoras presentes en estas zonas (calizas organógenas del Mioceno) donde se desarrollan los referidos acuíferos y los pozos perforados en este complejo carbonatado presentan gastos mayores de 100 l/s y en algunos puntos sobrepasan los 150 l/s.

Los tramos que agrupan a los dos acuíferos anteriores fueron divididos en unidades menores o pequeños sectores hidrogeológicos denominados bloques, esta división se basó en las variaciones de los valores de los parámetros hidrogeológicos, los cambios

en el movimiento del flujo subterráneo y la distribución espacial (ubicación en el terreno) de los pozos de explotación.

El objetivo de estos pequeños sectores consiste en tener calculado los recursos explotables de las aguas subterráneas en diferentes áreas del tramo y así poder llevar un mejor control del manejo de los recursos hídricos subterráneos; garantizando que:

- Se haga una explotación racional de las aguas subterráneas en cada bloque y tramos de la cuenca.
- Exista un control eficiente de la explotación de las aguas subterráneas.
- Exista un control eficiente del régimen de las aguas subterráneas.

El territorio de la cuenca hidrográfica “Sagua la Grande” quedó dividido en cinco tramos hidrogeológicos y como se explica anteriormente dos de ellos (VC-V-5) y (VC-VII-2) presentan el mayor interés desde el punto de vista hidrogeológico, para la explotación de las aguas subterráneas. Estos acuíferos tienen el mayor potencial hídrico subterráneo en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande (**Anexo N° 7**).

Los demás tramo hidrogeológicos en que se dividió la cuenca debido a la débil acuosidad que tienen las rocas colectoras localizadas en ellos, presentan poco interés práctico, desde el punto de vista hidrogeológico y los acuíferos que aquí se desarrollan permiten solucionar abastos a pequeños consumidores. (**Anexo N° 8**).

4.3. Cálculo de los parámetros hidrogeológicos de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

4.3.1. El coeficiente de almacenamiento μ (adimensional).

Se calculó para la zona acuífera que están bajo las observaciones del régimen por la ecuación (2.2) y para la zona que no tienen datos de niveles no se pudo determinar y se tomó por analogía hidrogeológica con la ayuda de los distintos mapas hidrogeológicos existentes.

4.3.2. La alimentación total del acuífero (ΔH , m).

Se determinó por la expresión (2.3) auxiliado por el gráfico GERA (Microsoft Office Excel 2003, confeccionado por el autor, 2006).

La alimentación promedio del acuífero (W , mm) se determinó por la ecuación (2.4).

El coeficiente de infiltración α se calculó por la ecuación (2.5).

Los resultados de los cálculos de los parámetros hidrogeológicos se resumen en la tabla siguiente:

Tabla No.1: Resumen de los parámetros hidrogeológicos de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Denominación de las cuencas, tramos y bloques hidrogeológicos	Área km ²	Ancho del flujo B, m	Trasmisividad T,	Gradiente hidráulico I, adim.	Coef. almacenamiento o S,	Alimentación total ΔH , m	Precipitaciones, mm			Alimentación promedio W, mm	Coef. Infiltración α , %
							Media	75%	95%		
e) Tramo VC-V-5 "Punta Felipe-Guayabo Nuevo"											
1. VC-V-5-a "Guayabo Nuevo"		8300	3000	0,0012	0,039	7,44	1263	1075	850	290	23
2. VC-V-5-b "La Piedra"		6500	2900	0,0012	0,035	5,91	1329	1111	894	207	16
a) Tramo VC-VII-1:Norte"											
1. Subtramo VC-VII-1-A	80,00	-	316	-	-	-	1220*	1038	871	96	-
2. Subtramo VC-VII-1-B	361,73	-	50	-	-	-	1240*	1055	886	54	-
3. Subtramo VC-VII-1-C	89,92	-	550	-	-	-	1280*	1089	914	96	-
4. Subtramo VC-VII-1-D	387,68	-	156	-	-	-	1300*	1106	929	67	-
Totales y medias ponderadas	919,33	-	167	-	-	-	1267	1078	906	67	-
b) Tramo VC-VII-2 "Manacas-Cascajal"											
1. VC-VII-2-a "Bermejál"	58,33	5000	3382	0,00290	0,058	5,28	1281	1090	915	306	24
2. VC-VII-2-b "Palo Bonito"	16,90	-	6000	0,0023	0,023	-	1280	1089	914	660	-
3. VC-VII-2-c "Copa"	11,67	-	2160	0,0039	0,108	-	1280	1089	914	575	-
4. VC-VII-2-d "Suárez"	16,30	-	2635	-	0,042	-	1280	1089	914	650	-
c) Tramo VC-VII-3 "Sto.Dg"											
	91,47	-	550	-	-	-	1300*	1106	929	96	-
d) Tramo VC-VII-4 "Sta.Cl"											
	871,36	-	50	-	-	-	1280*	1089	914	31	-

4.4. Cálculos de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

El cálculo de los Recursos Hídricos Subterráneos de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande se realizó para cada tramo hidrogeológico en que se dividió dicha cuenca y

para ello se utilizó el Método de Balance de las Aguas Subterráneas, explicado en el capítulo 2 , en las tres (3) variantes siguientes:

- | | | |
|-----------------------------------|----------------------|--|
| 1) Método de la alimentación. | Ecuación (2.6) Cap 2 | $Q_n = \mu \Delta H.F$ (hm ³ /año) |
| 2) Método de la corriente natural | Ecuación (2.7) Cap 2 | $Q_n = 365BTI$ (hm ³ /año) |
| 3) Método de la infiltración | Ecuación (2.8) Cap 2 | $Q_n = 10\alpha FP_{Media}$ (hm ³ /año) |

4.4.1.- Tramo VC-V-5 “Punta Felipe- Guayabo Nuevo”

Este tramo se localiza en el extremo occidental de la cuenca y ocupa un área de 16.38 km² y está representado por parte de los sectores hidrogeológicos

VC-V-5-a “Guayabo Nuevo”

VC-V-5-b “La Piedra”

Está ocupado totalmente por el complejo carbonatado representado por las calizas de la formación Arabos del Mioceno inferior-medio (ab N₁¹⁻²). Este tramo se encuentra comprendido en el Grupo de Regiones de Llanuras y específicamente dentro de la Llanura Denudada de Manacas.

Los caudales predominantes (Q) de las rocas colectoras difundidas en este tramo se presentan en varios intervalos fundamentales: el rango con más amplia difusión es el de 50 a 100 l/s, el cual está presente en todos los sectores.

Tabla. N° 2: Resumen de los recursos hídricos subterráneos del tramo

VC-V-5 “Punta Felipe-Guayabo Nuevo”.

4.4.2.- Tramo VC-VII-1 “Norte”

Subtramo VC-VII-1-A.

Los caudales predominantes de las rocas colectoras difundidas en este subtramo se presentan en dos intervalos fundamentales: uno en el rango de 5 a 10 l/s y que ocupa la

Sectores hidrogeológicos	Área evaluada km ²	Recursos Hídricos Subterráneos hm ³ /año		
		Naturales Qn		Explotables (Qe)
		Promedio	75%	95%
		hm ³ /año	hm ³ /año	hm ³ /año
VC-V-5 -a "Guayabo Nuevo"	8,70	2. 514	2.130	1.680
VC-V-5-b" La Piedra"	5.20	1.076	0.899	0.723
Tramo VC-V-5 "Punta Felipe-Guayabo Nuevo"	13.90	3.590	3.029	2.403

parte occidental y sur central y el otro en la parte oriental y norte central

en el rango de 10 a 25 l/s, el área de difusión de ambos es similar.

Este subtramo tiene un área de 80.00 Km²

Los Recursos Hídricos Subterráneos son:

- Recursos Naturales (Qn) Promedio = 7.68 hm³/año
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 75% = 6.64 hm³/año
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 95% = 4.88 hm³/año

Subtramo VC-VII-1-B.

Los caudales predominantes de las rocas colectoras difundidas en este subtramo se presentan en el intervalo de hasta 3 l/s, excepto en un punto aislado con valores en el rango de 5 a 10 l/s.

Este subtramo tiene un área 361.73 Km²

Los Recursos Hídricos Subterráneos son:

- Recursos Naturales (Qn) Promedio = 19.53 hm³/año
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 75% = 16.28 hm³/año
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 95% = 13.02 hm³/año

Subtramo VC-VII-1-C.

Los caudales predominantes de las rocas colectoras difundidas en este tramo se presentan en dos intervalos fundamentales: el intervalo que presenta cierto predominio es el comprendido en el rango de 10 a 25 l/s y ocupa algo más de la mitad sur del subtramo; el otro intervalo se corresponde con el rango de 5 a 10 l/s y ocupa la restante mitad norte.

Este subtramo tiene un área de 89.92 Km²

Los Recursos Hídricos Subterráneos son:

- Recursos Naturales (Qn) Promedio = 8.63 hm³/año

- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 75% = 7.46 hm³/año
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 95% = 5.48 hm³/año.

Subtramo VC-VII-1-D.

Los caudales predominantes de las rocas colectoras difundidas en este tramo se presentan en dos intervalos fundamentales: el intervalo que presenta mayor difusión es el comprendido en el rango de 5 a 10 l/s y ocupa la mayor parte del subtramo; el otro intervalo se halla en el rango de valores de hasta 3 l/s y está diseminado por toda la superficie del subtramo en forma de franjas de irregulares forma y extensión.

(Anexo N° 7).

Este subtramo tiene un área de 387.68 Km²

Los Recursos Hídricos Subterráneos son:

- Recursos Naturales (Qn) Promedio =25.97 hm³/año
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 75% = 22.10 hm³/año
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 95% = 17.06 hm³/año.

Tabla N° 3: Resumen de los recursos hídricos subterráneos del Tramo VC-VII-1

4.4.3. Tramo VC-VII-2 “Manacas- Cascajal”

Este tramo se localiza en la parte centro occidental de la cuenca estudiada y ocupa un área de **103.22 km²**

Se dividió en cuatro sectores hidrogeológicos:

Tramo hidrogeológicos VC-VII-1	Área evaluada km ²	Recursos Hídricos Subterráneos hm ³ /año		
		Naturales Qn	Explotables (Qe)	
		Promedio	75%	95%
		hm ³ /año	hm ³ /año	hm ³ /año
VC-VII-1-A	80,00	7,68	6,64	4,88
VC-VII-1-B	361,73	19,53	16,28	13,02
VC-VII-1-C	89,92	8,63	7,46	5,49
VC-VII-1-D	387,68	25,98	22,10	17,06
Tramo VC-VII-1 “Norte”	919,33	61,82	52,48	40,45

1) VC-VII-2-a “Bermejál”

- 2) VC-VII-2-b “Palo Bonito”
- 3) VC-VII-2-c “Copa”
- 4) VC-VII-2-d “Suárez”

Está ocupado totalmente por el complejo carbonatado representado por las calizas del Mioceno inferior-medio.

Este tramo se encuentra comprendido en el Grupo de Regiones de Llanuras y específicamente dentro de la Llanura Denedada de Manacas.

Los caudales predominantes de las rocas colectoras difundidas en este tramo se presentan en los distintos bloques de forma variable, que se considera la acuosidad de cada bloque por separado: en el bloque VC-VII-2-a “Bermejál” se observan tres intervalos con similar área de difusión, uno comprendido en el intervalo de 10 a 25 l/s hacia el norte, otro en el rango de 100 a 150 l/s que ocupa la parte central y el tercero con valores de 50 a 100 l/s y situado al sur; en el bloque VC-VII-2-b “Palo Bonito” predomina el intervalo de 100 a 150 l/s y ocupa la parte central y noroeste, se observan puntos aislados con valores superiores a 150 l/s, hacia el nordeste se observa una pequeña zona con valores de 10 a 25 l/s y en la parte sur el rango de 50 a 100 l/s; en el bloque VC-VII-2-c “Copa” predomina el intervalo de valores de 100 a 150 l/s 25 l/s.

Los Recursos Naturales (Q_n) se calcularon por las tres variantes señaladas anteriormente.

Los Recursos Potencialmente Explotables (Q_e) de las aguas subterráneas se evaluaron por la variante de la infiltración de las precipitaciones atmosféricas **Ecuación N° (2.8)** sustituyendo en cada sector los valores de la probabilidad de lluvia del 75% y 95%.

Tabla N° 4: Resumen de los recursos hídricos subterráneos de del Tramo VC-VII-2 “Manacas- Cascajal”

4.4. 4. Tramo VC-VII-3 “Santo Domingo”

Los caudales predominantes de las rocas colectoras difundidas en este tramo se presentan en el intervalo de 10 a 25 l/s y en puntos aislados se observan valores superiores (de 25 a 50 l/s), en el extremo nordeste se observa una pequeña zona con valores de 3 a 5 l/s (**Anexo No 7**)

Este subtramo tiene un área de 91.47 Km²

Sector hidrogeológico	Área evaluada km ²	Recursos Hídricos Subterráneos hm ³ /año		
		Naturales Qn	Explotables (Qe)	
		Promedio	75%	95%
		hm ³ /año	hm ³ /año	hm ³ /año
VC-VII-2 -a "Bermejál "	58,33	17,86	15,21	12,44
VC-VII-2-b "Palo Bonito"	16,90	11,15	9,46	7,77
VC-VII-2-c "Copa"	11,67	6,72	5,70	4,68
VC-VII-2-d "Suárez"	16.30	10.600	8.990	7.390
Tramo VC-VII-2 "Manacas- Cascajal"	103.22	46.330	39.360	32.280

Los Recursos Hídricos Subterráneos son:

- Recursos Naturales (Qn) Promedio = 8.78 hm³/año.
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 75% = **7.50** hm³/año.
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 95% = **6.13** hm³/año.

4.4.5.- Tramo VC-VII-4.

Los caudales predominantes de las rocas colectoras difundidas en este tramo se presentan en el intervalo de hasta 3 l/s, excepto en puntos aislados con valores de 3 a 5 y 5 a 10 l/s. Como reflejo directo de las características hidrogeológicas antes descritas, podemos señalar que este tramo presenta exiguos recursos hídricos.

Este subtramo tiene un área de 80.00 Km² .

Los Recursos Hídricos Subterráneos son:

- Recursos Naturales (Qn) Promedio = **19.53** hm³/año

- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 75% =**16.28** hm³/año
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probabilidad del 95% =**13.02** hm³/año

4.4.6. Tramo VC-III-4 “Costero”

Ubicado en el extremo norte entre la ciudad de Sagua la Grande y la costa, aquí el agua subterránea presentes en estas rocas colectoras se caracterizan por tener gastos generalmente mayores de 25 l/s y un alto grado demineralización, con valores de Sales Solubles Totales mayor del 1 g/l, lo que demuestra la presencia de la intrusión salina en esta zona de la cuenca.

Por la salinidad que presenta el agua subterránea en el tramo no se autoriza la explotación de dicho recurso en el mismo y solamente se calculan los Recursos Naturales (Qn) por la fórmula del modulo subterráneo.

$$A = \text{Área del tramo} = 73.00 \text{ Km}^2$$

$$\text{Recursos Naturales (Qn)} = \mathbf{10.37 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Los Recursos Naturales evaluados en este tramo no se incluyen en el potencial de explotación de la cuenca y se dejan como un recurso ecológico, para proteger al acuífero de la cuña salina.

Tabla N° 5. Resumen de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Tramos, Subtramos y Sectores Hidrogeológicos	Área	Recursos Naturales Qn	Recurso Explotable Qe	
	km ²	Promedio hm ³ /año	75% hm ³ /año	95% hm ³ /año
Cuenca hidrogáfica "Sagua la Grande "	2072,260	147,531	125,030	100,433
Tramo VC-V-5 "Pta Felipe-Guayabo Nuevo"	13,900	3,590	3,029	2,403
VC-V-5-a "Guayabo Nuevo"	8,70	2,514	2,130	1,680
VC-V-5-b "La Piedra"	5,20	1,076	0,899	0,723
Tramo VC-VII-1 "Norte"	919,330	61,820	52,480	40,450
Sub Tramo VC-VII-1-A	80,00	7,680	6,640	4,880
Sub Tramo VC-VII-1-B	361,73	19,530	16,280	13,020
Sub Tramo VC-VII-1-C	89,92	8,630	7,460	5,490
Subtramo VC-VII-1-D	387,68	25,980	22,100	17,060
Tramo VC-VII-2 "Manacas Cascajal"	103,200	46,330	39,360	32,280

Sector VC-VII-2-a "Bermejál"	58,33	17,860	15,210	12,440
Sector VC-VII-2-b "Palo Bonito"	16,90	11,150	9,460	7,770
Sector VC-VII-2-c "Copa"	11,67	6,720	5,700	4,680
Sector VC-VII-2-d "Suarez"	16,30	10,600	8,990	7,390
Tramo VC-VII-3 "Santo Domingo"	91,470	8,781	7,501	6,130
Tramo VC-VII-4 "Santa Clara-Rodrigo"	871,360	27,010	22,660	19,170
Tramo VC-II-4 y VC-III-4 "Costero"	73,000	No se autoriza la explotación		

En la tabla (**Anexo N° 5**) Se refleja los resultados de la evaluación cuantitativa de los recursos y el área total evaluada.

En la cuenca se evaluó un área de 2072.260 Km²

- Recursos Hídricos Subterráneos
- Recursos Naturales (Qn) Promedio = 147.531 hm³/año
- Recursos Explotables (Qe) Probabilidad el 75% =125.030 hm³/año
- Recursos Explotables (Qe) Probabilidad del 95% =100.133 hm³/año

De la evaluación anterior se recomienda como recursos explotables a los calculados para una garantía del 75% de probabilidad en cada tramo, subtramo y sectores hidrogeológico en que se dividió la cuenca.

4.5. Análisis del uso de las aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

4. 5.1. Determinación de los volúmenes de agua demandados y extraídos.

Los volúmenes de agua demandados por los diferentes clientes han sido determinados sobre la base de los pozos de explotación actuales censados en el campo y las capacidades instaladas de los equipos de bombeo, según el régimen de explotación establecido en la práctica por cada uno de ellos.

Por organismos el más consumidor es el Ministerio de la Agricultura en sus dos ramas cañera y no cañera. Destacándose en la zona acuífera las Empresa de cultivos varios Manacas y las empresas azucareras Carlos Baliños y George Washington y para la zona de baja acuosidad las empresas pecuarias ganaderas La Vitrina, Santa Clara, etc, y porcinas, Curamagüey y las Glorias de AGROFAR y también con la variante actual de convenios porcinos a particulares.

Tabla N° 6. Análisis del volumen demandado y el real explotado (hm³) periodo (2004-2008)

Tramos	2004		2005		2006		2007		2008		Promedio	
	Plan	Real										
VC-V-5-a	0,830	0,754	0,830	0,757	0,833	0,803	0,819	0,811	0,793	0,796	0,821	0,784
VC-V-5-b	5,605	5,560	5,605	5,460	5,605	4,250	5,605	3,529	5,605	2,350	5,605	4,230
Total VC-5	6,435	6,314	6,435	6,217	6,438	5,053	6,424	4,340	6,398	3,146	6,426	5,014
VC-VII-1-A	0,710	0,420	0,700	0,725	0,716	0,424	0,295	0,579	0,744	0,603	0,633	0,550
VC-VII-1-B	1,400	1,390	1,410	0,520	1,407	0,552	1,063	0,452	0,499	0,247	1,156	0,632
VC-VII-1-D	2,141	1,117	2,143	1,442	2,123	2,101	2,41	2,339	2,206	2,101	2,205	1,820
Total VC-VII-1	4,251	2,927	4,253	2,687	4,246	3,077	3,768	3,370	3,449	2,951	3,993	3,002
VC-VII-2-a	8,209	4,476	7,472	4,026	6,981	4,166	6,723	3,104	6,721	2,703	7,221	3,695
VC-VII-2-b	3,953	2,514	4,754	2,603	4,143	2,501	3,318	2,13	0,476	1,348	3,329	2,219
VC-VII-2-c	0,626	0,577	0,377	0,469	0,961	0,53	1,222	0,566	1,356	0,795	0,908	0,587
VC-VII-2-d	3,466	2,648	3,208	2,826	3,474	2,074	2,682	2,319	4,128	1,512	3,392	2,276
VC-VII-2	12,788	7,567	12,603	7,098	12,085	7,197	11,263	5,800	8,553	4,846	11,458	6,502
VC-VII-3	2,065	0,678	2,141	0,611	1,454	0,975	0,926	0,649	1,605	0,932	1,638	0,769
VC-VII-4	1,683	1,857	2,774	1,934	2,682	2,131	2,568	1,782	2,959	2,251	2,533	1,991
Total	22,244	13,929	13,929	13,929	53,148	35,834	49,086	31,770	20,743	10,943	31,830	21,281

En la tabla (**Tabla N° 6**) se observa que en los cinco años analizados los volúmenes reales extraídos en todos los tramos de la cuenca están por debajo de los planificados con las demandas de los usuarios del recurso agua subterránea, cumpliéndose el plan promedio anual de la serie a un 67%.

El año 2006 fue cuando más se explotaron los recursos de las aguas subterráneas en la cuenca con un volumen de 35.834 hm³.

4.5.2- Disponibilidad de los recursos explotables de las aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

Para calcular la disponibilidad de los recursos de explotación de la cuenca se realizó un balance entre los recursos explotables por cada tramo de la cuenca con el promedio de la explotación anual realizados en los cinco años de la serie analizada (2004-2008).

Tabla N°. 7 Disponibilidad de los recursos de explotación de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande

Tramos Hidrogeológicos	Recursos Explotables (hm ³ /año)	Explotación Promedio Anual (hm ³ /año)		Disponibilidad (hm ³ /año)
		Plan	Real	
VC-V-5-a	2,130	0,821	0,784	1,346
VC-V-5-b	0,899	0	0	0,899
Total VC-5	3,029	0,821	0,784	1,346
VC-VII-1-A	6,640	0,633	0,550	6,090
VC-VII-1-B	16,280	1,1558	0,632	15,648
VC-VII-1-C	7,460	0	0,000	7,460
VC-VII-1-D	22,100	2,205	1,820	20,280
Total VC-VII-1	52,480	3,993	3,002	49,478
VC-VII-2-a	15,210	7,2212	3,695	11,515
VC-VII-2-b	9,460	3,3288	2,219	7,241
VC-VII-2-c	5,700	0,9084	0,587	5,113
VC-VII-2-d	8,990	3,3916	2,276	6,714
VC-VII-2	39,360	11,458	6,502	32,858
VC-VII-3	7,501	1,6382	0,769	6,732
VC-VII-4	22,66	2,5332	1,991	20,669
Total	30,161	32,288	21,572	8,589
Total de la cuenca	125,030	48,560	31,860	92,271

En la tabla (**Tabla N° 7**) El valor calculado del por ciento (25.5%) entre el Promedio Anual real extraído con el Recurso Explotable evaluado, se demuestra que en la Cuenca Hidrográfica Sagua la Grande, el recurso agua subterránea esta poco explotado, con un valor menor de un 30%.

El balance realizado demuestra que en la Cuenca Sagua la Grande existe un recurso disponible de 32.858 hm³/año.

En el tramo hidrogeológico VC-VII-2 “Manacas-Cascajal” el de mayor capacidad acuífera dentro de la cuenca, el valor calculado del por ciento (16.52%) entre el Promedio Anual real extraído con el Recurso Explotable evaluado, se demuestra esta poco explotado, con un valor menor de un 30%

a. Anexo No 9. Mapa del uso de las aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande

Este mapa tiene una gran importancia para el Manejo Integrado de los Recursos Hídricos Subterráneos ya que a través de el se mantiene actualizada toda la información referente a los usuarios de las aguas subterráneas y presenta gran ventaja para obtener información actualizada y de una manera rápida y permite tener agrupada la información por organismo y conocer el total de pozos de explotación existente y

otras informaciones que son de utilidad para el control sistemático de las extracciones de agua subterránea facilitando mejorar el control del uso del recurso agua subterránea en la cuenca, ya que está confeccionado mediante un Sistema de Información Geográfica, lo que facilita su actualización sistemática para dar alta o baja a un pozo para abasto a un cliente.

4.6. Análisis de los resultados.

De la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande donde se calcularon los recursos explotables, los volúmenes promedios anuales explotados de agua subterránea y la disponibilidad de estos recursos, se pudo determinar que la cuenca estudiada esta poco explotada ya que el uso de estos recursos están por debajo del 30% valor usado por el INRH, en los gráficos de control de balance de las aguas subterráneas.

Como consecuencia del análisis de la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca y su explotación fue necesaria la elaboración e implementación de un Plan de medidas preventivas, correctoras y de mitigación para la gestión sostenible de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca (ver Anexo “Plan de medidas preventivas, correctoras y de mitigación”)

Conclusiones parciales.

- 1) El territorio de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande se caracteriza por tener las rocas colectora presente en la misma gastos o caudales desde menos de 3 l/s hasta mas de 100 l/s.
- 2) El área acuífera de la cuenca es el 3.5 % y el 96.5% restante corresponde a zonas de las rocas duras y semiduras donde se desarrollan acuíferos de baja acuosidad, que solamente pueden ser usados para satisfacer demandas de pequeños consumidores de agua subterránea
- 3) La zona acuífera se localiza en el extremo centro occidental de la provincia, en los municipios de Santo Domingo y Quemado con una extensión de 103.20 Km² y 13.96 Km² respectivamente. **(Anexo Textual N° 5)**
- 4) En la cuenca se evaluó un área de 2058.44 Km² y los Recursos Hídricos Subterráneos son:

- Recursos Naturales (Qn) Promedio = 137.44 hm³/año
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probab. del 75%=116.46 hm³/año
- Recursos Pot. Explotables (Qe) Probab. del 95%=93.39 hm³/año.

Nota: No se incluye el tramo Costero, en el potencial de la cuenca porque no lo recomendamos para su explotación.

5) La cuenca hidrográfica Sagua la Grande se caracteriza desde el punto de vista hidrogeológico por presentar cuatro (4) zonas bien definidas, las cuales son las siguientes:

Zona N°1: Se localiza en la parte Centro – Occidental y en el extremo NW de la cuenca, las rocas colectoras aquí tienen una gran acuosidad, donde los gastos de los pozos perforados en ellas son mayores de 100 l/s y en algunos casos sobrepasan los 150 l/s. En esta zona se localizan los acuíferos más potentes y productivos y los de mayor interés de la cuenca.

Zona N° 2: Localizada en la parte norte del área de estudio, las rocas colectoras se caracterizan por tener una mediana acuosidad, donde los gastos de los pozos perforados en ellas varían en los intervalos de 5 -10 l/s y de 10 -25 l/s.

Zona N° 3: Ocupa toda la parte Central y S.E de la cuenca, la cual se caracteriza por tener las rocas colectoras de estas áreas una exigua acuosidad, donde los gastos de los pozos perforados en ellas no sobrepasan los 3 l/s.

Zona N° 4: Ubicada en el extremo norte entre la ciudad de Sagua la Grande y la costa, aquí las aguas subterráneas presentes en estas rocas colectoras se caracterizan por tener un alto grado de mineralización, con valores de Sales Solubles Totales mayores de un gramo por litro (1 g/l).

CONCLUSIONES.

- 1) Desde el punto de vista geológico la cuenca es muy compleja debido a la variada litología presente en el área y su mayor parte es de edad Cretácico Inferior y Superior que constituyen su basamento.
- 2) En la cuenca las aguas subterráneas predominantes son las libres del tipo de poros y fisuras correspondiendo a diferentes acuíferos desarrollados en las rocas presentes en la Geología de la cuenca estudiada.
- 3) La metodología empleada en el trabajo se adapta satisfactoriamente para ejecutar la regionalización hidrogeológica de las cuencas hidrográficas, la cual sirve como herramienta de trabajo para organizar y controlar de forma óptima el uso y manejo de las aguas subterráneas del territorio de dichas cuencas.
- 4) En el tramo hidrogeológico VC- III-2 “Manacas-Cascajal” existe una gran disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos, el cual se puede explotar de forma racional por el Ministerio de la Agricultura y aumentar la producción agraria. Esto significa elevar la calidad de vida de la población residente en la cuenca.
- 5) En la actualidad en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande se hace poco uso de los recursos hídricos subterráneos por parte de los diferentes usuarios que solicitan bajas demanda de agua subterránea al INRH para su consumo anual.

RECOMENDACIONES

- 1) Realizar la regionalización hidrogeológica a las 14 cuencas hidrográficas de la provincia, para preparar la documentación que servirá de base, para la implantación del Sistemas de Información Geográfica en la especialidad de Hidrogeología.
- 2) Organizar y mantener actualizada toda la información hidrogeológica por las divisiones de tramos y bloques dentro de cada cuenca, para una localización rápida y eficiente en la búsqueda de esta información.
- 3) proponemos que todos los aforos que se realicen en la cuenca para cualquier objetivo se le saquen las coordenadas por una carta topográficas a escala 1:25 000 ó 1:10 000 y se entregue una copia del mismo a la Subdelegación Técnica de la Delegación Provincial de INRH-VC.
- 4) Profundizar cada vez más en mejorar el control en la práctica de la extracción de las aguas subterráneas, donde la fuente principal de suministro sea dicho recurso.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1) **Acuíferos:** concepto. Acuitardos, acuífugos y acuícludos. Zonas de un acuífero. Tipos de acuíferos. Acuíferos libres, confinados y semiconfinados. Acuíferos

multicapa. Transiciones y límites de los acuíferos.
<http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf>.

- 2) Admón. Central estudiará nivel explotación sostenible acuíferos Júcar y Turia.
<http://www.eleconomista.es/empresasfinanzas/noticias/236709/06/07/Admon-central-estudiara-nivel-explotacion-sostenible-acuiferos-Jucar-y-Turia.html>
- 3) Alfonso, J.R. (1989). Estadística en las Ciencias Geológicas. Tomo I y II. Editorial ENSPES, ISPJAE, Ciudad de La Habana, Cuba.
- 4) Andrade Pérez, A. (2004). Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integrada del recurso hídrico. PNUMA, Red de Formación Ambiental. México D.F.
- 5) Antigüedad, I. (1997). Evaluación y recuperación ambiental introducción a la Hidrogeología: Curso Avanzado Sobre Contaminación de Aguas Subterráneas, Monitoreo, Evaluación, Recuperación. Tomos (I), Pinar del Río.
- 6) ASMAL, K. (1998). El agua como una metáfora de gobierno: consideraciones sobre la gestión de los recursos hídricos en Africa, Naturaleza y Recursos, vol. 34, nº 1, pp. 21-27.
- 7) Armesto Pons, A. (1989). Guía Metodológica para la construcción del Gráfico de Balance de las Aguas Subterráneas. Ciudad Habana.
- 8) Arrojo, P.; Fernández, J.; LLamas, M.R.; Díez, A. (1997). Comentarios al artículo 'Explotación del embalse de La Serena' por J.A. Ceballos", Revista de Obras Públicas, Mayo, pp.70-78.
- 9) Axel Dourojeanni, A.; Dascal, G.; Salgado, R. (1998).
- 10) Balairón, L. (2000). Gestión de recursos hídricos. Ed. UPC, Barcelona.
- 11) Benítez, A. (1972). Captación de agua subterránea. Editorial Dossat S.A. Madrid. Pp11-87.
- 12) Bermúdez, P. (1961). Las Formaciones Geológicas de Cuba. Serie Geología Cubana No. 1. I.C.R.M. Ministerio de industrias. La Habana.
- 13) Bindeman, N. N.; Yazvin, L.S. (1976). Evaluación de las reservas de explotación de agua subterránea. Ed. Nedra, Moscú.
- 14) Borrowaska, M.; Hamor, G. Puscharovsky, Y. (1988). Mapa Geológico de Cuba. Escala 1:250000. Instituto de geología y Paleontología. Academia de Ciencias de Cuba. Ciudad Habana.

- 15) Buján Rubio, C.M. (2004). Regionalización de los patrones de comportamiento de la lluvia hiperanual. Memorias Primer simposio científico-técnico (CD-ROM Off Line. Expoagua 2004), INRH, Ciudad Habana.
- 16) Burgos Díaz, M. (2008). Oferta de servicio del Estudio Hidrogeológico para el abasto a Santo Domingo
- 17) Cañete, C.; Díaz, J.L. (1983). Tema 05. Geomorfología y estructura geológica del territorio central. Centro de investigaciones Geológicas. MINBAS. Ciudad de la Habana.
- 18) Castany, (1970). Captación de agua subterránea. Ed. Dossat, 2ª Edición Madrid, España.
- 19) Castany, (1975). Prospección y explotación de aguas subterráneas. Edición Omega, Barcelona, España.
- 20) **Castiella Muruzábal, j.**; Tipologías de **acuíferos** kársticos en Navarra.
<http://www.sedeck.org/revista/a1-4.pdf>
- 21) CITMA. (1998). Guía metodológica para la elaboración de diagnósticos en las cuencas hidrográficas.
- 22) CITMA. (2007). Actualización del diagnóstico ambiental de la cuenca Sagua la Grande usando la guía metodológica para el diagnóstico y gestión de las cuencas hidrográficas con elementos de enfoque marcológico. Santa Clara.
- 23) CITMA. (2005). Estrategia Ambiental Nacional 2006/ 2010.
- 24) Comisión Nacional del Agua (2002). Disponibilidad de aguas subterráneas en el acuífero Camalú, estado de baja California norte. México, D.F,30 de abril de 2002
- 25) Conesa Fernández, V.(1995).Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental. 2da. Edición revisada y ampliada. Ediciones Mundi - Prensa. Grafo S.A. Bilbao. España.
- 26) Contenido de los planes hidrológicos de cuenca.
http://aguas.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro71/pdf/lib71/in_08.pdf
- 27) Coterón, J.L.; González, F.; Guzmán, R. (1979). Hidrogeología e hidráulica, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad Hababa. Pp 120-129.
- 28) Cuba. Leyes-Decretos. (1997). Decreto ley 138 de las aguas terrestres
- 29) Cuba. Leyes-Decretos. (1997). Ley 81 de Medio Ambiente Gaceta Oficial de la República de Cuba. Edición Extraordinaria. La Habana. 11 julio 1997. Año XCV. No. 7, pág. 47.

- 30) CUSTODIO, E. (1993). Aquifer intensive exploitation and over-exploitation with respect to sustainable development, Proceeding of the International Conference on Environmental Pollution, European Centre for Pollution Research, vol. 2, pp.509-516.
- 31) CUSTODIO, E. (1992). Hydrogeological and hydrochemical aspects of aquifer overexploitation, in Selected Papers in Hydrogeology (Summers et al., ed.), International Association of Hydrogeologists, Heise, Hannover, vol. 3, pp. 3-28.
- 32) Toro Sánchez R. del (1988). División de cuencas y tramos hidrogeológicos de Villa Clara. Empresa de Hidroeconomía, Villa Clara . Santa Clara.
- 33) Toro Sánchez R. del (2001). Evaluación cualitativa y cuantitativa en el tramo hidrogeológicos VC-VII-2 “Manacas- Cascajal”, DPRH-VC. Santa Clara.
- 34) Toro Sánchez R. del (2003). Cálculos de los recursos pronósticos de las cuencas subterráneas de Villa Clara, DPRH.
- 35) Del Toro Sánchez R. (2004). Regionalización hidrogeológica de la cuenca hidrográfica División Sagua La Grande, DPRH-VC. Santa Clara.
- 36) Del Toro Sánchez R. (2006). Determinación del estado real del acuífero mediante análisis estadístico de sus niveles. Memorias Décimo Evento Nacional de Hidrogeología (CD-ROM Off Line. Zapata 2006), INRH, Ciénaga de Zapata, Matanzas.
- 37) Del Toro Sánchez R. (2007). Gestión ambiental de los recursos hídricos en el sector hidrogeológico del Bloque VC-III-1-i Bella Luisa, DPRH-VC. Santa Clara.
- 38) Del Toro Sánchez R. del (2008). Recursos hídricos de la cuenca hidrográfica Sagua La Grande. Memorias IV Taller Nacional de Tratamiento y Potabilización de Agua
- 39) (CD-ROM Off Line) Santa Clara, 23 y 24 de Enero 2009.
- 40) Díaz, A.I.; Díaz Muñoz, B.; Despaigne (1996).Tema 104. Estudio geólogo ambiental integral del Municipio Santa Clara. MINBAS. Empresa Geominera Centro. Santa Clara.
- 41) Dilla Salvador, F. (2001). Reservas y recursos de agua subterránea. Conferencias del Sexto Curso Internacional de Agua Subterránea y Medio Ambiente, ISJAE, Ciudad Habana.

- 42) Dublán, I. Alvarez, H. (1986). Informe levantamiento 1:50000 zona Centro. MINBAS. Empresa de Geología. Santa Clara.
- 43) Dourojeanni, A.; Andrei. (2001). implementación de las recomendaciones contenidas en el Capítulo 18 del Programa 21), comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), LCIL. 1990-P. diciembre de 1991, Serie Recursos Naturales e infraestructura N°35, Santiago de 200, Chile (Disponible en internet: <http://www.eclae.cl/publicaciones/SecretariaEjecutiva/o/LCL1660PE/lcl1660PE.pdf>)
- 44) Ferro, F. (1982). Hidrogeología General, Ed Científica- técnica Ciudad de la Habana, pp406.
- 45) Fornasari Filho, N. (1995). El Medio físico en los estudios de Impacto Ambiental. Tomado de "Aspectos geológicos de protección ambiental". Instituto de geociencias de la Universidad Estatal de Campinas. UNICAMP: Vol. I. pp. 119 - 122. UNESCO. Uruguay.
- 46) Fundora, A.; Moreno, M. Quintana, B. (1992). Esquema Regional Precisado. Protección de Recurso Agua. Provincia de Villa Clara. Dpto Protección de Cuencas y Agua. D.P.R.H. Villa Clara.
- 47) García Fernández, J.M. (2006). Sobre las experiencias cubanas en la institucionalización del manejo integrado de cuencas. Voluntad Hidráulica. Año 44.No, 98, pp15-28.
- 48) García Fernández, J.M. (2007). Aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integrada de los recursos hídricos. Aproximación al caso cubano Voluntad Hidráulica. Año 45,Nº,99,2-16
- 49) Gestión de recursos hídricos
<http://www.cea.co.cu/Premio%20EAGT/Art.premiados/David.pdf>
- 50) Gómez Orea, I. (2003). Evaluación de impacto ambiental. Un instrumento preventivo para gestión, Segunda Edición, Ediciones Mundi- prensa, Madrid. España. Pp37-163.
- 51) Guzmán Merlo, R.; Jova Díaz, G. (1982). Hidrogeología, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad Hababa. pp6-13.
- 52) Henry, G.; Heinke, W. (1999). Ingeniería Ambiental. Segunda Edición Pearson. México. pp337-381. ISBN: 970-17-0266-2.

- 53) Helweg, O. (1992). Recursos Hidráulicos Planeación y Administración. Primera Edición. Editorial Limusa. S.A. México. Pp88-94.
- 54) Importancia de los embalses subterráneos.
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/encuen/embal.pdf>.
- 55) INRH. (2002). Grupo Empresarial de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. C. Habana, Publicitar.
- 56) INRH. (2002). Voluntad Hidráulica. Edición Especial. Año XL, 2002. ISSN: 0505-9641
- 57) INRH. (2008). Balance de Agua Anuales. Años (2003-2008). Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Villa Clara.
- 58) INRH. (2008). Banco de datos de niveles de las aguas subterráneas. EAH-VC. Santa Clara.
- 59) INRH. (2008). Banco de datos de aflujos de pozos. EAH-VC. Santa Clara.
- 60) INRH. (2008). Boletines de uso de agua (Trimestrales del año 2003 hasta el 2008). Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Villa Clara.
- 61) INRH.(2008). Boletines Hidrológicos Mensuales. Años (2003-2008). Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de Villa Clara.
- 62) Iturralde-Vinent, MA. (2007). Geología de Cuba para todos, Museo Nacional de Historia, CITMA. Habana. Pp(7-85).
- 63) Lariónov,A.K.(1985).Hidrogeología recreativa, Editorial Mir, Moscú, pp 5-63.
- 64) López, I.E. (2002).Evaluación de las subterráneas en los cayos del archipiélago cubano. Sociedad Hidráulica. UNAICC. Año (I), pp 45-54.
- 65) Los sistemas acuíferos: Definiciones.
http://aguas.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro20/pdf/lib20/los_s_a_1.pdf
- 66) Manual de Manejo de Cuencas. (2005). Ministerio de Medio Ambiente y
- 67) Recursos Naturales El Salvador, CARE, UE. 153 páginas.
- 68) Martínez Prado, (1990). Estudio hidrogeológico "Santo Domingo Bermejil". EIPH Villa Clara. Santa Clara.
- 69) Más Martínez, R. (2008). Manejo integral de la subcuenca Ranchuelo en la cuenca hidrográfica sagua la Grande. Tesis presentada en opción al título de master en ciencias, UCVC, Santa Clara.
- 70) Mijailov. L. (1989). Hidrogeología. Editorial Mir, Moscú, pp 23-182

- 71) Milian Cabrera, I de la C. (2005). Metodología para la confección de mapas temáticos utilizando técnicas de la geomática aplicada. Forestal Baracoa. Vol.24 .
- 72) Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente (1993). Hidrología Comparada. Sección de Ediciones y Audiovisuales del CEDEX. M.O.P.U. España.
- 73) Molerio León, L. (2006). Evaluación, aprovechamiento y protección de las aguas subterráneas en la Sierra del Rosario. CESIGMA. Pinar del Río, Cuba
http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1155
- 74) Monitoreo de las aguas subterráneas.
<http://www.aquamarket.com/>
- 75) Mora, L; Mena, D; Toro, R. del. (2008). Inventario hídrico sanitario de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.
- 76) Moreno Díaz, A; Renner, I. (2007). Gestión Integral de Cuencas. La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas
- 77) Moreira Rubio, A.(2005).Gestión integrada de aguas en el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Camaguey. Tesis presentada en opción al título de master en ciencias, UCV, Santa Clara.
- 78) Norma Cubana. (1985). NC-51-24. Mapas Ingeniero - geológicos. Procedimientos para su elaboración. Ciudad de La Habana.
- 79) Norma Cubana.(1986). Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y Protección. Ciudad de La Habana.
- 80) Norma Cubana. (1991). Anteproyecto de Norma: Requisitos para la Selección y Valoración de la Calidad de las Fuentes de Abasto con Agua Subterránea Potable a Comunidades e Industrias.
- 81) Norma Cubana. (1991). NC-93-01-209 Procedimiento de cálculo para la determinación de la zona protección sanitaria. Ciudad de la Habana.
- 82) Norma Cubana. (1988). NC-93-01-206. Franjas Forestales de las zonas de protección a embalses y cauces fluviales. Ciudad de La Habana.
- 83) Norma Cubana. (2007). NC-53-91. Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones. 1 Edición. Enero de 2007.
- 84) Peñate Fleites, J.L. (2005). Contaminación de las aguas superficiales de la cuenca del río Sagua la Grande. Voluntad Hidráulica. Año 43.No, 97, pp23-29.
- 85) Peñate Fleites, J.L. (2006). Riesgos y consecuencias ambientales a los suelos y las aguas subterráneas por el uso del agua residual generada en la ciudad de

- Santa Clara. Tesis presentada en opción al título de master en ciencias, UCVC, Santa Clara.
- 86) Pérez Franco, D. 1982). Hidráulica Subterránea, Editorial Científico Técnica, Ciudad Habana.
 - 87) Pérez Franco, D. (1995). Explotación del agua subterránea un nuevo enfoque. Colombia. Pp410-456.
 - 88) Pérez Franco, D. (1985). Consideraciones sobre los conceptos de reservas y recursos de agua subterránea. Ingeniería Hidráulica, Volumen VI.1, Cuba.
 - 89) Pérez Pérez, H. (2003). Embalses Arroyo Grande I y II. Su calidad para el riego e influencia en algunas características de las aguas subterráneas y los suelos. Tesis presentada en opción al título de master en ciencias, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCVC, Santa Clara.
 - 90) Pouza Domínguez, I.; Toro Sánchez, R. del. (2005). Balance Hidrogeológico de los pozos de riego de la ECV Manacas. EAH-VC.
 - 91) Pouza Domínguez, I. (2006).Evaluación de los pozos para abasto de agua al sistema de riego de pasto La. EAH-VC.
 - 92) Pouza Domínguez, I. (2007).Reevaluación de los recursos naturales y de explotación del sector hidrogeológico El Cristo. EAH-VC.
 - 93) Portieles Pérez, F. (2001). Estudio Hidrológico para el Expediente de la Cuenca Sagua la Grande, Empresa de Investigaciones y proyectos Hidráulicos. Santa Clara.
 - 94) Prado, J. E. (1991). Esquema del desarrollo Hidráulico de la provincia de Villa Clara en las cuencas Sagua la Grande, Sagua la Chica, Zaza, Agabama, Arimao (río Los Pasos) y río Cañas. EIPH-VC. Santa Clara.
 - 95) Ramos Jiménez, H. (2000). Características hidrogeológicas del territorio correspondiente al esquema zonal de drenaje Santo Domingo-Corralillo. EIPH-VC. Santa Clara.
 - 96) Ramos Jiménez, H. 2001). Mapa hidrogeológico de la provincial de Villa Clara. EIPH-VC. Santa Clara.
 - 97) Ramos Jiménez, H.; Burgos Díaz, M.(2005). Análisis integral de la cuenca hidrogeológica VC-I Sagua la Chica. EIPH-VC. Santa Clara.
 - 98) Ramos Jiménez, H.; Burgos Díaz, M. (2006). Actualización del Mapa hidrogeológico provincial de Villa Clara. EIPH-VC. Santa Clara.

- 99) Ruíz Díaz, I. (2008). Estudio Términos de referencia abasto a Santo Domingo desde Bermejales. EIPH- VC. Santa Clara.
- 100) Sánchez, M. E. (2007). Estudio de 47 cierres en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande en corrientes con régimen natural. EIPH- VC. Santa Clara.
- 101) Sánchez, M. E. (2005). Actualización del Esquema Regional Precisado de Hidrología de la provincia de Villa Clara. EIPH- VC. Santa Clara.
- 102) Savarenskii, F. (1934) Hidrogeología. Ed.Gos. Gen, Geol., Neft Izdot, Novosibirsk.
- 103) Seoáñez Calvo, M. (1997). Ingeniería medioambiental aplicada: casos prácticos
- 104) Editorial Mundi-prensa. España. pp-72-77.
- 105) Sobre explotación de acuíferos y fallas potencialmente sísmicas en Morelia sur.
<http://noalmegatunel.nireblog.com/post/2007/03/30/sobre-explotacion-de-acuíferos-y-fallas-potencialmente-sismicas-en-morelia-sur>.
- 106) Skwaletski, E.N.; Iturralde - Vinent, M. (1970). Contenido y Principios Básicos para la elaboración del mapa ingeniero geológico de Cuba. Revista Voluntad Hidráulica No. 19.pp.35 - 43. La Habana
- 107) Steel, E.W. (1965). Abastecimiento de agua y alcantarillados. Editorial Gustavo Gilí. S.A. 3ra edición, Barcelona.
- 108) Todo acerca de las cuencas hidrográficas
http://www.mywatershedwatch.org/description_Spanish.htm

MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTORAS Y DE MITIGACIÓN. (ANEXO)

MEDIDAS PREVENTIVAS.

Como pasos inmediatos, debe:

- Perfeccionarse el nivel de fiscalización por las autoridades correspondientes de la actividad de perforación de pozos, aumentando el control para que se cumpla lo establecido en el Decreto Ley 138 “De las aguas terrestres” en relación al artículo 21, al establecer que cada pozo para extracción de agua subterránea en los acuíferos de la cuenca estudiada con gastos mayores de 1 l/s, deben ser objeto de una cuidadosa investigación, evaluación y estricto control por el INRH, autorizados por esta autoridad solo mediante la documentación oficial para su construcción. Con ello se evitan daños irreparables al recurso agua subterránea e impactos ambientales negativos a dichos acuíferos, como ha ocurrido en esta ocasión.
- Elevar el rigor y categoría de los estudios hidrogeológicos en la cuenca y aplicar sus resultados en la planificación del uso racional del recurso agua subterránea, en satisfacción de las demandas de la económica y la población.

4.2 MEDIDAS CORRECTORAS Y DE MITIGACIÓN.

Se precisa establecer una serie de medidas correctoras y de mitigación entre las cuales están:

- Delimitar la Protección Sanitaria de las fuentes, dada la gran importancia que esta tiene para preservar la calidad de sus aguas y evitar riesgos de contaminación química y bacteriológica y con ello la ocurrencia de numerosas enfermedades gastrointestinales y de otra índole, que pueden incluso ocasionar la muerte de personas.

Se deben determinar las distintas zonas de protección sanitaria, que conforman el perímetro de protección de todas las fuentes de abastecimiento de agua potable destinado al consumo humano que son:

- **ZONA I o de Régimen Estricto.**

- **ZONA II, o de Limitaciones Especiales.**

- **ZONA III, o de Limitaciones Moderadas.**

- Establecer las restricciones que deben cumplirse en las distintas zonas establecidas y proceder de inmediato al relleno y sellado de pozos desactivados, lagunas y trincheras en las proximidades de las captaciones, que pueden haber estado afectando desde hace tiempo la calidad de las aguas subterráneas y siguen constituyendo una potencial vía de contaminación.
- Señalizar y delimitar en el terreno los perímetro de protección sanitaria, particularmente las ZONAS II y III y deben divulgarse las prohibiciones que establece la Norma Cubana NC-93-01-209, para evitar actividades, emplazamientos y construcciones que generen o provoquen impactos ambientales negativos y en específico en sobre el medio hídrico subterráneo.
- Debe procederse de inmediato al sellado de pozos abandonados y ponerle tapa a los que están desinstalados y rellenar las depresiones inundadas, para evitar la contaminación de las aguas subterráneas directa, además de evitar la accidentes por caída principalmente a niños que dañen la su salud.
- Exigir el cumplimiento de los índices de consumo por cada una de las entidades que dan uso de las aguas subterráneas en la cuenca estudiada.
- Regular la tramitación de autorizaciones, tras los estudios correspondientes, para la ejecución de obras de captación o trincheras que hacen aflorar el manto freático y elevan los procesos de evaporación, aumentan el riesgo potencial de contaminación y la proliferación de vectores dañinos para la salud, todos estos factores de deterioro del recurso agua subterránea en áreas de la cuenca.

Plan de Emergencia.

Como plan para emergencias, deben chequearse las medidas y la disponibilidad de los recursos necesarios para actuar en caso de emergencia y establecerlas si no existieran para poder resolver situaciones tales como:

- Vertidos accidentales
- Sequía (agotamiento o reducción de los recursos)
- Derrumbe de pozos.
- Rotura de los equipos de bombeo

Plan de Monitoreo.

El desarrollo de programas de monitoreo, con base científicas, es una tarea de máxima prioridad. Se trata de que los datos que se recogen sean representativos del problema a estudiar y sirvan para la clarificación de incertidumbres asociadas. Según **Rogers (1994)**.



Un monitoreo con base científicas en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande, es una tarea de máxima prioridad porque los datos que se recojan tienen que ser representativos del problema medioambiental a estudiar y sirvan para evaluar correctamente el comportamiento espacial y temporal de la intrusión salina en el acuífero costero, localizado al norte de la cuenca y el comportamiento hiperanual de los niveles de las aguas subterráneas en los tramos VC- V-5 y VC-VII-2.

Debe mejorar y mantenerse el plan de monitoreo existente de forma óptima que comprenda:

- Control sistemático de la calidad del agua en los pozos de la red existente e incorporar nuevos puntos de monitoreos, aprovechando las fuentes subterráneas de abastecimientos de algunos poblados y las nuevas de las comunidades rurales. Para obtener un dato básico, más racional y representativos mediante la toma de muestras con una frecuencia trimestral (Enero, Abril, Julio y Octubre) para determinaciones de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas subterráneas en la cuenca estudiada.
- Monitoreo hidroquímico vertical (mal llamado Batométrico)

Monitorear la calidad de las aguas subterráneas en sentido vertical para conocer el comportamiento de la cuña de intrusión salina, hacia el interior de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

¿Dónde vamos a monitorear?

En las Redes Hidrogeológicas: son aquellas que están fundamentadas en el principio de la territorialidad, para mantener un control sistemático de las cuencas y tramos hidrogeológicos en lo referente a cantidad y calidad de las aguas subterráneas.

Específicamente en la Red de Sondeo Hidroquímico Vertical.

Dicha red consta en la actualidad en la cuenca Sagua la Grande con una cantidad de dos pozos batométricos ubicados en el área del Mogote y está diseñada de forma tal que la profundidad de sus pozos este acorde con el espesor del acuífero a la distancia en que se encuentre de la costa y a la profundidad de la interfase (techo y lecho de la cuña de intrusión salina). Tomando varias muestras a distintas profundidades en cada uno de ellos, de manera tal que se pueda caracterizar o conocer el grado de salinidad de las aguas subterráneas en sentido vertical para conocer y pronosticar el comportamiento de la cuña de agua de mar hacia el acuífero.

¿Con qué frecuencia vamos a tomar los datos?

- Dicho muestreo se ejecutará dos veces en el año al final de cada periodo (Húmedo o lluvioso y Seco o poco lluvioso) o sea frecuencia de los muestreos en

profundidad, será semestral, para las determinaciones de las propiedades físicas y químicas de las aguas subterráneas en sentido vertical en la cuenca estudiada.

MEDIDAS MEDIOAMBIENTALES TOMADAS.

- En la sequía resiente se mantuvo una estricta observación del régimen de las aguas subterráneas en el acuífero **VC-VII-2 “Manacas- Cascajal”** porque en el mismo se localizan fuentes importantes de agua subterráneas, para abasto y riego para abasto y presentó un estado real **crítico** donde los pozos imperfectos que no penetran todo, el acuífero, por tener poca profundidad se quedaron colgados al deprimirse el nivel por debajo de estos y de no haber ocurrido una alimentación con las lluvias significativas de mayo y junio, se tendría que haber tomados medidas de disminuir el régimen de explotación con vista a proteger el recurso agua. En los acuíferos de poca acuosidad los pozos en muchas partes se agotaron y hubo que abastecer con pipas a la población y los animales. **(Gráfico Anexo Nº 1)**.
- Se cambiaron los equipos de bombeos existentes por bombas más eficientes y se construyeron los pozos de reservas de las estaciones de bombeo de Santo Domingo, las Nieves, Cifuentes, Esperanza. Esta medida trae por consiguiente más ahorro de agua y de combustible y menos contaminación al medio ambiente.
- Se hizo un programa para localizar el incremento del acueducto de Santo Domingo con un pozo ubicado en el sector hidrogeológico de Bermejál.

Controles necesarios que tienen que realizar en el terreno, el personal técnico de las zonas de explotación, para lograr un uso más racional del recurso agua subterránea:

- Que los equipos de bombeo sean los recomendados y los pozos se exploten las horas diarias y días al año autorizados.
- Lograr que el usuario informe realmente el volumen extraído mensualmente, para ello se revisará la tarjeta de trabajo de cada pozo de explotación, en dicho pozo o la oficina del usuario, y entrevistar al operario del equipo de bombeo sobre el régimen de explotación, que esta realizando diariamente.
- Verificar las horas y días que el pozo ha estado sin bombear por alguna avería o falta de combustible

Anexo Tabla A1. Datos de los pozos aforados en la cuenca.

Sigla del pozo	Coordenadas		Profundidad (m)	Diámetro (mm)	Gasto o Caudal (L/s)	Uso del pozo	Usuario
	X (Este)	Y (Norte)					
SG-436	597300	276900	25	300	4.6	Abasto	Viviendas CAI Osvaldo Herrera
SG-438	583200	283500	20	300	1.3	Abasto	Micro Ifraín Alfonso
SG-444	602600	288200	18	200	1.9	Abasto	Pre-tensado
SG-445	602750	288170	17	200	1.9	Abasto	Pre-tensado
SG-446	602050	291850	25	300	3.3	Abasto	IPUEC Yabú 4
SG-447	602050	291800	27	300	1.9	Abasto	IPUEC Yabú 4
SG-448	580950	310450	24	300	7	Abasto	Viv. El Cerrito
SG-450	582500	286250	18	300	3	Abasto	CAI I. Alfonso (Tarapaca)
SG-451	590200	282600	33	300	17.6	Abasto	Centro Estabulado 10 de Octubre
SG-453	607150	284250	19	200	0.2	Abasto	Cons. Médico Caracatey
SG-454	582750	303250	23	200	1	Abasto	Cons. Méd. La Criolla
SG-456	607950	285850	15	200	0.2	Abasto	Viv. Vigía Sur # 2
SG-457	607950	285800	16	200	0.1	Abasto	Viv. Vigía Sur # 1
SG-460	581050	304150	29	200	0.3	Abasto	Cons. Méd. (26 de julio)
SG-134	574600	312700	40	400	122	Riego	Caña Micro Bermejál
SG-165	560080	311800	28	550	120	Riego	Cultivos varios Manacas
SG-168	558640	311580	27	550	115	Riego	CAI G. Washington.
SG-170	560590	308700	27.3	550	100	Riego	CAI G. Washington.
SG-171	561570	308120	26.4	550	77.62	Riego	CAI G. Washington.
SG-175	564100	308600	24.1	550	32.39	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-178	565230	308190	33.5	550	160	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-180	566440	307590	25	550	83	Abasto	Acueducto Ajuria
SG-181	566900	308850	42	300	6.3	Riego	Cultivos varios Manacas
SG-184	566460	310060	30	550	128	Riego	Cultivos varios Manacas
SG-185	568600	310025	35	550	117	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-186	569200	309800	19	550	140	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-187	569200	309950	32	500	27.9	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-188	568100	310450	60	500	144	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-189	567020	310770	57	550	115	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-190	567250	310840	50	400	105.17	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-193	566700	311500	60	500	196	Riego	Cultivos Varios Manacas

Anexo Tabla A2. Datos de los pozos aforados en la cuenca. Continuación.

Sigla del pozo	Coordenadas		Profundidad (m)	Diámetro (mm)	Gasto (L/s)	Uso del pozo	Usuario
	X (Este)	Y (Norte)					
SG-401	600400	293400	53	400	8.5	Abasto	ESBEC Yabú II
SG-402	602200	292400	8	200	6.4	Abasto	ESBEC Yabú I
SG-403	603700	291800	25	400	2	Abasto	Piscina ESBEC 1 Mayo
SG-404	594300	293250	25	300	4	Abasto	Micro Esperanza
SG-405	600050	287450	30	300	5.2	Industria	Carpintería Antón Díaz
SG-482	597400	277100	30	300	2.9	Abasto	CAI O. Herrera
SG-407	587500	284200	39	300	1.1	Abasto	Micro Ranchuelo
SG-408	601700	293300	25	500	14	Abasto	Pueblo Julián Grimau
SG-409	580000	303700	50	300	5.6	Abasto	Batey CAI 26 de Julio
SG-410	598950	301700	30	2820	3.9	Industria	Fábrica. Ingenito
SG-411	603800	288200	36.5	300	4.73	Abasto	Riviera
SG-412	601050	287700	16.4	250	1.8	Abasto	U.M. Manuelita
SG-413	600200	286700	20	300	2	Abasto	Fábrica Harina Animal
SG-414	605150	288200	28	300	3	Abasto	Matadero Chichi Padrón
SG-415	600850	293350	30	300	3	Abasto	ESBEC Yabú 2 (piscina)
SG-416	599250	303550	30	250	1	Abasto	Wilfredo Pages
SG-418	581150	308900	72	200	19.2	Abasto	Acueducto Virgen de Regla
SG-419	591340	293025	22	300	5	Abasto	Pueblo Esperanza
SG-420	582200	282500	30	300	2	Abasto	Politécnico Ifraín Alfonso
SG-421	581750	283300	22	300	1.6	Abasto	Politécnico Ifraín Alfonso
SG-422	592100	293050	40	300	3.8	Abasto	Fábrica de Conserva Esperanza
SG-425	581300	283350	24	300	1.9	Abasto	Politécnico Ifraín Alfonso
SG-426	582100	283450	30	300	4.4	Abasto	Politécnico Ifraín Alfonso
SG-427	586250	300350	25	300	3.1	Abasto	Granja Avícola Jicotea.
SG-428	598050	287250	25	200	3.1	Abasto	Almacén CATM (Antón Díaz)
SG-429	586900	285750	25	300	0.8	Abasto	ESBEC Julio Fusick.
SG-430	587300	284400	29	250	1	Abasto	ESBEC Julio Fusick.
SG-432	587880	298990	28	150	1.58	Industria	ECIL Jicotea
SG-433	588900	284850	22	350	1.4	Abasto	Viviendas Reforma Urbana
SG-549	574400	312700	40	400	54	Abasto	Acueducto Santo Domingo (Incremento)
SG-593	568700	315400	360	500	1.2	Abasto	La Granjita
SG-556	572800	308800	38	400	2.7	Abasto	Acueducto Esperanza

Anexo Tabla A3. Datos de los pozos aforados en la cuenca. Continuación.

Sigla del pozo	Coordenadas		Profundidad (m)	Diámetro (mm)	Gasto o caudal (L/s)	Uso del pozo	Usuario
	Y (Norte)	X (Norte)					
SC-131	609900	284870	25	300	0.8	Abasto	Campismo Arco Iris
SG-194	567400	311560	21	500	134	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-196	566700	312750	54.5	500	24.3	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-197	566020	311830	25.3	550	122	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-200	562580	311190	46	500	227	Riego	E. P. Cascajal
SG-201	562480	311580	28.5	500	65	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-203	562520	310740	32.3	550	112	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-204	562050	310720	33.2	550	87	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-209	563300	310250	28	500	51	Industria	Fábrica de cervezas Manacas.
SG-219	571000	309460	19	500	93	Industria	Ronera
SG-220	559050	312050	45	300	115	Abasto	IPUEC Cmdte. Volodia
SG-243	568080	310400	33	300	17.04	Abasto	ESBEC Ramón Glez.
SG-281	564450	314500	30	300	12	Abasto	ESBEC Filipinas
SG-282	578500	314700	26	500	138	Riego	Sta. Elena
SG-283	575700	312400	40	300	14	Riego	CAI C. Baliño
SG-284	566400	308200	45	300	13	Abasto	Pueblo Manacas
SG-286	579720	316480	25	500	80	Riego	CAI C. Baliño
SG-287	566150	306150	30	300	23	Abasto	Reclusorio
SG-288	557230	312080	30	300	36	Abasto	Acueducto Mordazo
SG-609	572220	308860	29	400	22	Abasto	Acueducto Santo Domingo
SG-291	563850	309550	30	200	4.1	Abasto	Est. Ferr. Manacas
SG-292	577100	305500	24	200	2	Abasto	Estación Ferrocarril de Santo Domingo.
SG-100	590500	325400	22	300	8	Abasto	Baching, Plan presa Alacranes
SG-101	574250	328000	24.3	350	8	Abasto	CAI P. Gómez Toro
SG-102	572300	328200	30	350	6.3	Abasto	CAI P. Gómez Toro
SG-103	577400	328900	20.6	300	13.5	Abasto	Micro Quemado.
SG-94	557800	328150	15	400	87	Pecuario	Vaquería
SR-248	568400	332750	30	300	5.2	Abasto	Viviendas CAI José René Riquelme
SG-108	589900	325550	22	300	5	Abasto	Centro. Recep. Alacranes
SG-110	589400	325550	24	300	13	Abasto	Centro. Pesca Alacranes
SG-341	598550	313250	20	300	4	Abasto	Pueblo Cifuentes

Anexo. Tabla A4: Datos de los pozos aforados en la cuenca. Continuación.

Sigla del pozo	Coordenadas		Profundidad (m)	Diámetro (mm)	Gasto o Caudal (L/s)	Uso del pozo	Usuario
	Y (Norte)	Y (Norte)					
SG-342	597750	313550	18	300	12	Abasto	Pueblo Cifuentes
SG-343	597500	314250	30	300	8.5	Abasto	Pueblo Cifuentes
SG-361	599520	314250	30	400	5	Abasto	Abasto Cifuentes
SG-362	583740	314050	16	400	12	Abasto	Pueblo Las Nieves y Rodrigo
SG-363	586000	313500	23	300	11.8	Abasto	Pueblo Las Nieves
SG-364	597650	313500	35	300	12	Abasto	Pueblo Cifuentes
SG-365	598250	314030	25	300	2.1	Abasto	ESBU Cifuentes
SG-559	594650	323800	30	300	7	Abasto	Taller 9 de Abril
SG-369	593100	324200	22.5	300	4.2	Abasto	Viviendas CAI H. Rodríguez
SG-366	585120	315050	25	350	10	Abasto	Centro de Acopio
SG-370	594250	323400	18	350	1	Abasto	Viviendas (48) Sitiecito
SG-371	594150	323500	22	350	3.4	Abasto	Viviendas Sitiecito
SG-372	592150	319950	25	300	4	Pecuario	Granja Avícola Alacranes
SG-373	592250	320750	25	300	6.3	Pecuario	Avícola Alacranes
SG-374	592250	319850	30	300	10	Pecuario	Avícola Alacranes
SG-375	597400	322300	30	300	10	Pecuario	Micro CAI Mariana Grajales
SG-376	585380	317190	30	300	16.8	Abasto	Acueducto Amaro
SG-377	585380	317200	30	300	11.3	Abasto	Acueducto Amaro, reserva
SG-357	598200	314010	25	300	13.5	Abasto	Acueducto Cifuentes
SG-358	594750	324200	21.5	300	4	Abasto	Consultorio Médico Sitiecito
SG-359	594750	324200	23.5	300	1	Abasto	Politécnico (Reserva)
SG-360	582000	314100	9	200	3	Abasto	Consultorio Médico. Amaro
SG-112	588750	326000	28	300	3.6	Abasto	DAAFAR
SG-605	556200	317200	27.5	400	5	Abasto	Albergue y comedor Maboja
SG-548	574500	310850	36	400	56	Abasto	Acueducto Santo Domingo Variante incremento
SG-561	572900	314000	40	500	107	Estudio	INRH
SG-556	572800	308800	38	400	48	Estudio	INRH
SG-570	576300	317000	35.5	500	10.7	Estudio	INRH
SG-202	562910	311680	20	500	110	Sin uso	Cultivos Varios Manacas
SG-294	562010	311500	30	500	80	Sin uso	Cultivos Varios Manacas
SG-173	562450	308720	20.4	500	58	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-174	561860	308970	23.2	550	140	Sin uso	Cervecería manacas
SG-549	574400	312700	40	400	54	Abasto	Acueducto Santo Domingo (Incremento)
SG-299	561000	308890	37	500	93	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-300	560190	308820	30	500	80	Abasto	Albergue

Anexo. Tabla A5: Datos de los pozos aforados en la cuenca. Final

Sigla del pozo	Coordenadas		Profundidad m	Diámetro mm	Gasto L/s	Uso del pozo	
	X (Este)	Y (Norte)					
SG-301	559700	309400	30	500	61	Riego	Particular
SG-303	560230	308830	36	400	93	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-176	565370	307830	19.5	450	68	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-179	566240	307560	21	450	77	Abasto	Acueducto Manacas
SG-296	567170	307810	29	300	15	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-305	564180	308600	32.3	300	13	Abasto	Cultivos Varios Manacas
SG-311	565550	307490	30	300	39	Observación	INRH Redes Hidrogeológica
SG-314	566290	307380	35	400	40	Riego	Reclusorio Manacas
SG-217	555350	311800	30	500	120	Observación	INRH Redes Hidrogeológica
SG-310	558850	309660	28	200	10	Observación	INRH Redes Hidrogeológica
SG-340	556100	311430	25	350	100	Riego	Huerto Mordazo
SG-312	564860	306500	23.5	300	23	Sin uso	Empresa Porcina
SG-573	594300	293250	25	300	3	Abasto	Micro Esperanza
SG-424	582200	283550	25	300	3	Abasto	Politécnico Ifraín Alfonso
SG-435	585800	286650	22	300	0.8	Abasto	ESBEC Ranchuelo
SG-437	586900	285750		300	0.8	Abasto	ESBEC Ranchuelo
SG-442	601500	284400	15.9	200	2	Abasto	UM Quemado de Hilario
SG-297	584200	302400	25	200	0.5	Abasto	Consultorio Médico Las Casimbas
SG-166	560470	311650	37.3	500	160	Abasto	Batey Copa
SG-315	560130	313110	26.2	400	7	Riego	Reclusorio Manacas
SG-316	560960	311710	29	500	150	Riego	Cultivos Varios Manacas
SG-575	605400	275750	16	300	2.5	Pecuario	Vaq. # 110
SG-577	607500	275850	17	250	0.5	Pecuario	Vaq. # 100
SG-578	607800	275750	16	300	2.5	Pecuario	Vaq. # 100
SG-585	604300	277600	15.7	300	1	Pecuario	Vaq. # 26
SG-580	611200	267900	14.5	250	2.5	Pecuario	Vaq. # 67
SG-593	568700	315400	360	500	7.9	Abasto	Vivienda en El Espinal
SG-549	574400	312700	40	400	54	Abasto	Acueducto Santo Domingo (Incremento)
SG-593	568700	315400	360	500	1.2	Abasto	La Granjita
SG-556	572800	308800	38	400	2.7	Abasto	Acueducto Esperanza

Anexo. Tabla B1: Pozos de explotación Cuenca Sagua la Grande

Nº	Nº de Pozo	Coordenadas		Uso	Cuenca
		N	E		
1	SG-99	318.25	552.10	Ganadería	VC-VII-1

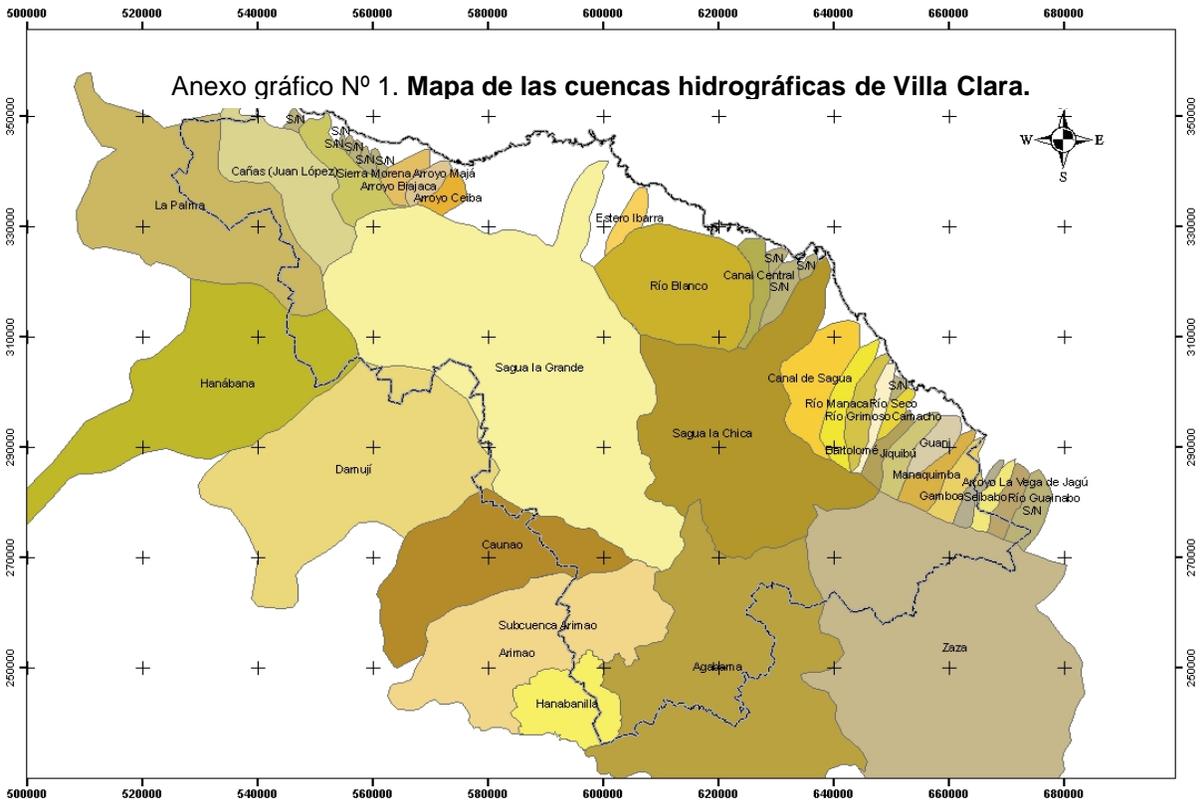
2	SG-100	325.40	590.50	Baching Plan Alacranes	VC-VII-1-D
3	SG-101	328.00	574.25	CAI P. Gómez Toro	VC-VII-1-A
4	SG-102	328.20	572.30	CAI P. Gómez Toro	VC-VII-1-A
5	SG-103	328.90	577.40	Micro Quemado de Guines	VC-VII-1-A
6	SG-104	328.59	574.43	Micro P Gómez Toro	VC-VII-1-A
7	SG-107	328.60	574.60	Viv. P Gómez Toro	VC-VII-1-A
8	SG-109	329.25	575.45	Viv. P Gómez Toro	VC-VII-1-A
9	SG-110	325.55	589.40	Centro Pesca Alacranes	VC-VII-1-D
10	SG-126	325.50	590.25	Campismo Alacranes	VC-VII-1-D
11	SG-160	324.10	590.75	Escuela Alacranes	VC-VII-1-D
12	SG-164	310.47	558.47	Empresa Pecuaria Cascajal	VC-VII-2-c
13	SG-165	311.80	560.08	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-c
14	SG-167	311.56	560.27	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-c
15	SG-177	307.97	565.27	Empresa Porcina	VC-VII-2-d
16	SG-178	308.19	565.23	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-d
17	SG-179	307.56	566.24	Acueducto Manacas	VC-VII-2-d
18	SG-180	307.59	566.44	Acueducto Ajuria	VC-VII-2-d
19	SG-181	308.85	566.90	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
20	SG-182	309.67	567.05	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
21	SG-183	309.55	567.60	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
22	SG-184	310.06	566.46	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
23	SG-185	310.03	568.60	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
24	SG-186	309.80	569.20	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
25	SG-187	309.95	569.20	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
26	SG-188	310.45	568.10	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
27	SG-189	310.77	567.02	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
28	SG-190	310.84	567.25	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
29	SG-191	311.05	566.55	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
30	SG-194	311.56	567.40	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
31	SG-195	312.03	567.07	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-b
37	SG-202	311.68	562.91	Empresa Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-c
38	SG-209	310.25	563.30	Cervecería Manacas	VC-VII-2-c
39	SG-210	310.22	563.44	Cervecería Manacas	VC-VII-2-c
40	SG-211	310.32	563.30	Cervecería Manacas	VC-VII-2-c
41	SG-219	309.46	571.00	Ronera	VC-VII-2-a
42	SG-220	312.05	559.05	IPUEC Comandante Volodia	VC-VII-2-c
43	SG-245	312.40	565.25	ESBEC Tupac Amaro	VC-VII-2-b

Anexo. Tabla B2: Pozos de explotación Cuenca Saga la Grande. Continuación

44	SG-273	306.35	578.40	Tecnológico Martín Torres	VC-VII-4
45	SG-281	314.50	564.45	ESBEC Filipinas	VC-VII-2-c
46	SG-284	308.20	566.20	Pueblo Manacas	VC-VII-2-d
47	SG-285	310.85	574.58	Riego C. Baliño	VC-VII-2-a
48	SG-286	316.48	579.72	Riego C. Baliño	VC-VII-2-a
49	SG-294	311.50	562.01	Emp. Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-c
50	SG-297	302.40	584.20	Consultorio Médico	VC-VII-4
51	SG-298	308.98	561.40	Emp. Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-c
52	SG-299	308.89	561.00	Emp. Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-c
53	SG-301	309.40	559.70	Emp. Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-c

53	SG-301	309.40	559.70	Emp. Cultivos Varios. Manacas	VC-VII-2-c
54	SG-323	311.00	275.10	Granja Avícola Bermejál	VC-VII-2-a
55	SG-324	311.68	566.05	ESBEC Julio Pino	VC-VII-2-b
56	SG-327	310.62	559.43	CAN Las Maderas	VC-VII-3
57	SG-344	316.30	581.70	Abasto CAI Carlos Baliño	VC-VII-3
58	SG-368	324.30	590.50	Asc. Politécnica .Alacranes	VC-VII-1-D
59	SG-369	324.20	593.10	CAI H. Rodríguez	VC-VII-1-D
60	SG-370	323.40	594.25	48 viviendas Sitiecito	VC-VII-1-D
61	SG-372	319.95	592.15	Ponedora Metálica # 2	VC-VII-1-D
62	SG-373	320.75	592.25	Ponedora Metálica # 1	VC-VII-1-D
63	SG-374	319.85	592.25	Ponedora Metálica # 3	VC-VII-1-D
64	SG-375	322.30	597.40	Micro CAI Mariana .Grajales	VC-VII-1-D
65	SG-376	317.90	585.38	Pueblo Amaro	VC-VII-3
66	SG-377	317.20	585.38	Pueblo Amaro	VC-VII-3
67	SG-401	293.40	600.40	ESBEC Yabú	VC-VII-4
68	SG-402	292.40	603.20	ESBEC Yabú 1	VC-VII-4
69	SG-404	293.25	594.30	Micro Esperanza	VC-VII-4
70	SG-405	287.45	600.05	Carpintería A. Díaz	VC-VII-4
71	SG-406	283.10	598.90	Micro CAI 10 de Oct	VC-VII-4
72	SG-407	284.20	587.50	Micro Ranchuelo	VC-VII-4
73	SG-408	293.30	601.70	Pueblo Julián Grimao	VC-VII-4
74	SG-409	303.70	580.00	Batey CAI 26 de Julio	VC-VII-4
75	SG-413	286.70	600.20	Fábrica Harina Animal	VC-VII-4
76	SG-414	288.20	605.15	Matadero Chichi Padrón	VC-VII-4
77	SG-416	303.55	599.25	Pueblo W. Pagés	VC-VII-4
78	SG-419	293.03	591.34	Pueblo Esperanza	VC-VII-4
79	SG-420	282.50	582.20	Politécnico I. Alfonso	VC-VII-4
80	SG-421	283.30	581.75	Politécnico I. Alfonso	VC-VII-4
81	SG-422	293.05	592.10	Finca Conserva Esperanza	VC-VII-4
82	SG-423	292.90	592.00	Finca Conserva Esperanza	VC-VII-4
83	SG-424	283.55	582.20	Politécnico I. Alfonso	VC-VII-4
84	SG-425	283.35	581.30	Politécnico I. Alfonso	VC-VII-4
85	SG-427	287.25	598.05	Almacén CEATM	VC-VII-4
86	SG-429	285.76	586.90	ESBUC Julius Fusick	VC-VII-4
Anexo. Tabla B3: Pozos de explotación Cuenca Sagua la Grande. Final.					
87	SG-430	284.40	587.30	ESBUC Julius Fusick	VC-VII-4
88	SG-432	598.99	587.88	ECIL Jicotea	VC-VII-4
89	SG-433	284.85	588.90	Viv. Reforma Urbana Ranchuelo	VC-VII-4
90	SG-435	286.65	585.80	ESBEC Ranchuelo	VC-VII-4
91	SG-437	285.75	586.90	ESBEC Ranchuelo	VC-VII-4
92	SG-438	283.80	583.20	Micro I. Alfonso	VC-VII-4
93	SG-442	284.40	601.50	U/M Quemado Hilario	VC-VII-4
94	SG-444	288.20	602.60	Pretensado	VC-VII-4
95	SG-445	288.17	602.75	Pretensado	VC-VII-4
96	SG-446	291.85	602.05	IPUEC # 4	VC-VII-4
97	SG-449	292.30	601.80	Viviendas Yabú	VC-VII-4
98	SG-450	286.25	582.50	Centro Estabulado I. Alfonso	VC-VII-4
99	SG-454	303.25	582.75	Consultorio Médico	VC-VII-4
100	SG-455	392.25	594.12	Estación de Ferrocarril	VC-VII-4
100	SG-455	392.25	594.12	Estación de Ferrocarril	VC-VII-4
101	SG-460	304.15	581.05	Consultorio Médico 26 de Julio	VC-VII-4
102	SG-461	301.15	586.70	Huerto Jicotea	VC-VII-4

103	SG-462	288.85	602.65	Pretensado	VC-VII-4
104	SG-465	309.17	579.65	Cochiguera	VC-VII-3
105	SG-467	294.94	596.02	Estación de Ferrocarril	VC-VII-4
106	SG-469	284.08	585.90	Micro I. Alfonso	VC-VII-4
107	SG-470	283.50	590.25	CAI 10 de Octubre	VC-VII-4
108	SG-475	299.62	587.30	Granja Avícola	VC-VII-4
109	SG-478	287.50	585.60	EPICA	VC-VII-4
110	SG-480	286.50	586.25	Motel Las Texas	VC-VII-4
111	SG-483	301.67	593.05	Policlínico San Diego	VC-VII-4
112	SG-485	303.60	604.85	Viviendas Manzanares	VC-VII-1-D
113	SG-486	313.75	598.40	Viviendas Cifuentes	VC-VII-1-D
114	SG-488	312.06	597.12	Fábrica de Baldosas	VC-VII-1-D
115	SG-489	310.35	594.57	Motel La Ceiba	VC-VII-1-D
116	SG-503	288.75	602.20	Planta Mecánica	VC-VII-1-D
117	SG-509	285.25	607.80	Hospital de Reposo	VC-VII-4
118	SG-510	285.85	607.75	Int. Sup. Ciencias Médicas	VC-VII-4
119	SG-513	293.10	601.75	ESBEC R. Luxemburgo	VC-VII-4
120	SG-515	287.15	607.95	Viviendas Capiro	VC-VII-4
121	SG-518	297.18	602.95	Viviendas Hatillo	VC-VII-4
122	SG-530	287.74	604.39	Abasto EIMPUD	VC-VII-4
123	SG-536	296.15	603.25	Avícola Marrero	VC-VII-4
124	SG-551	310.80	560.05	CAN La Madera	VC-VII-3
125	SG-552	307.00	577.30	Consultorio Médico Santo Domingo	VC-VII-4
126	SG-560	307.20	578.40	Escuela Especial Santo Domingo	VC-VII-4
127	SG-562	317.05	588.15	Fábrica de Refresco Amaro	VC-VII-1-D
128	SG-571	329.30	577.11	Circulo Infantil Quemado	VC-VII-1-A
129	SG-586	309.40	567.30	Panque Manacas	VC-VII-2-b



Anexo gráfico N° 2. Mapa de ubicación de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

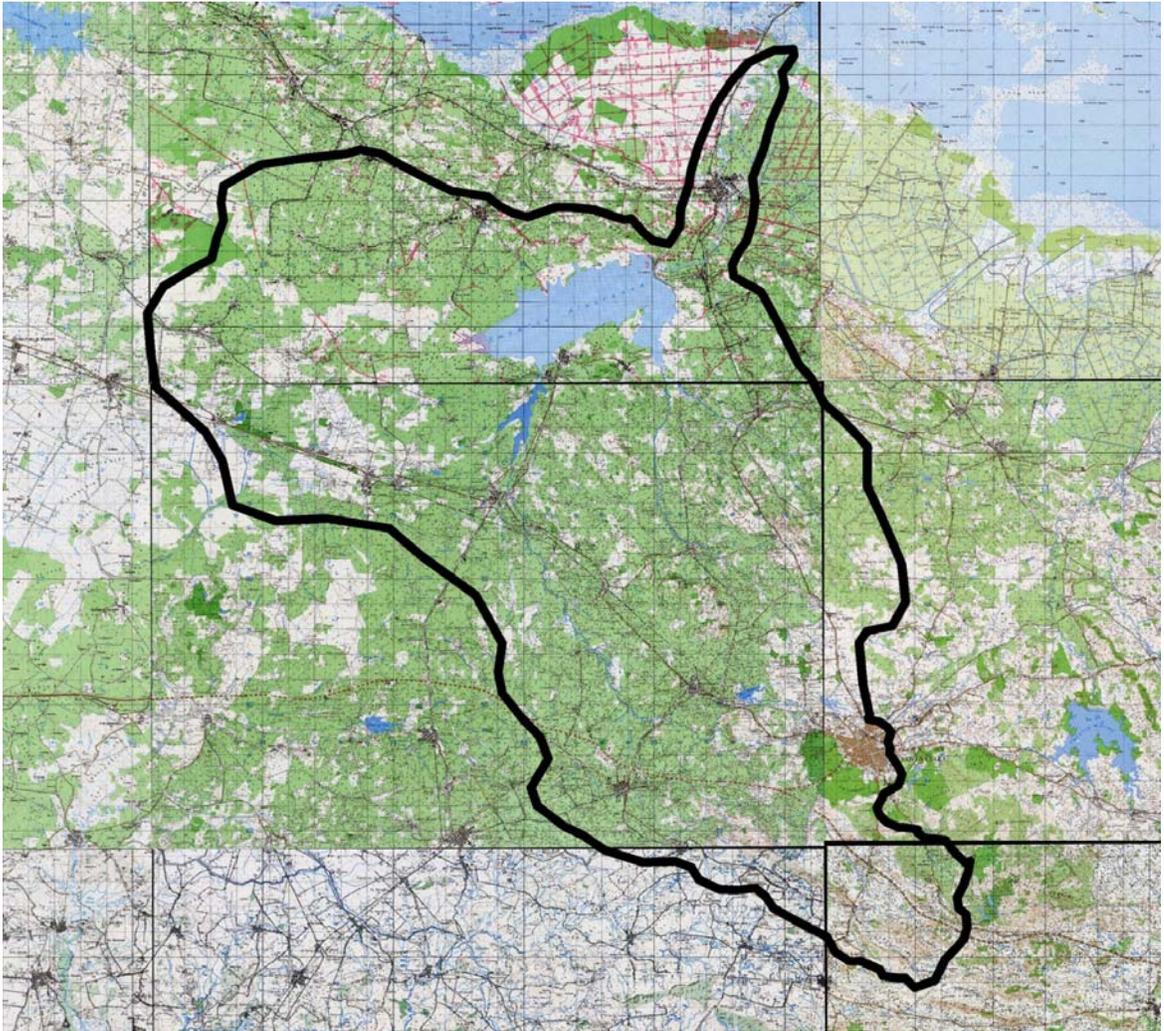
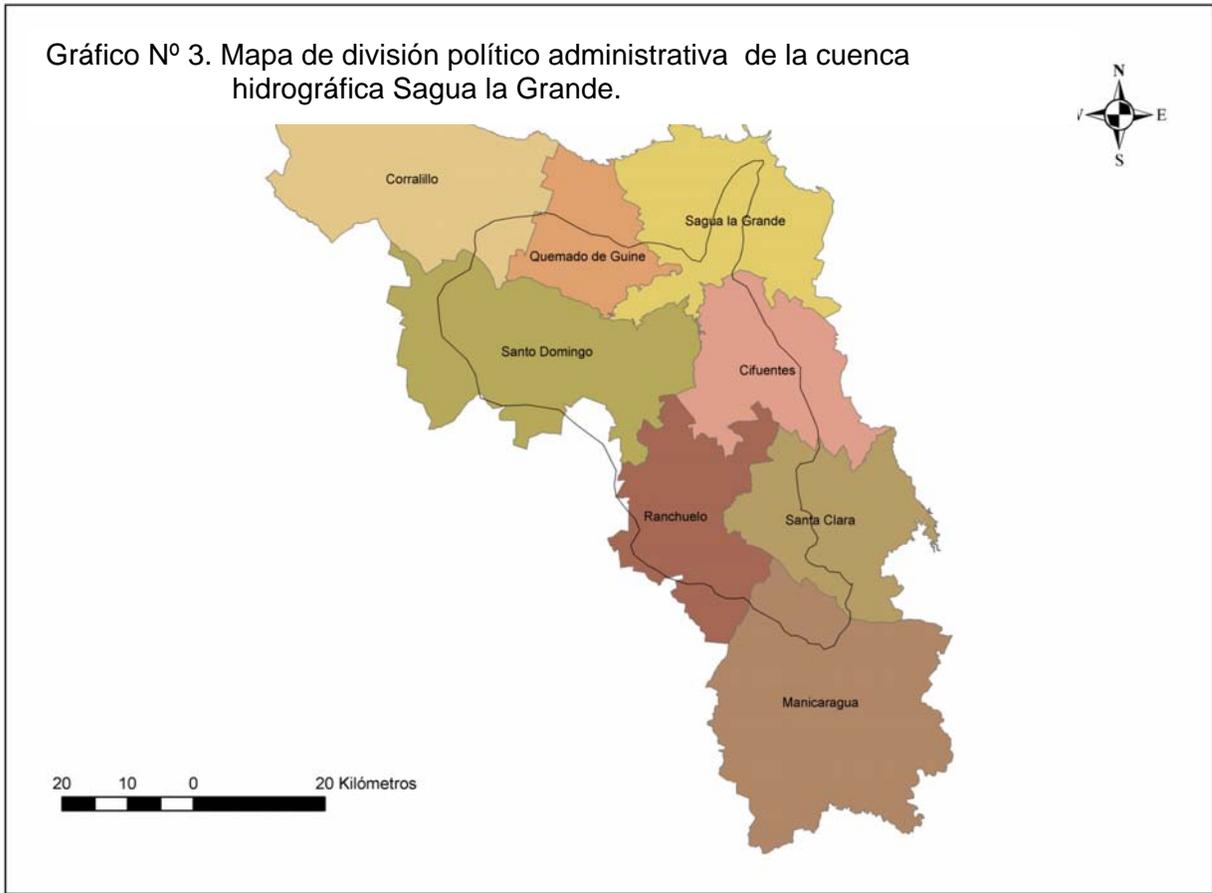
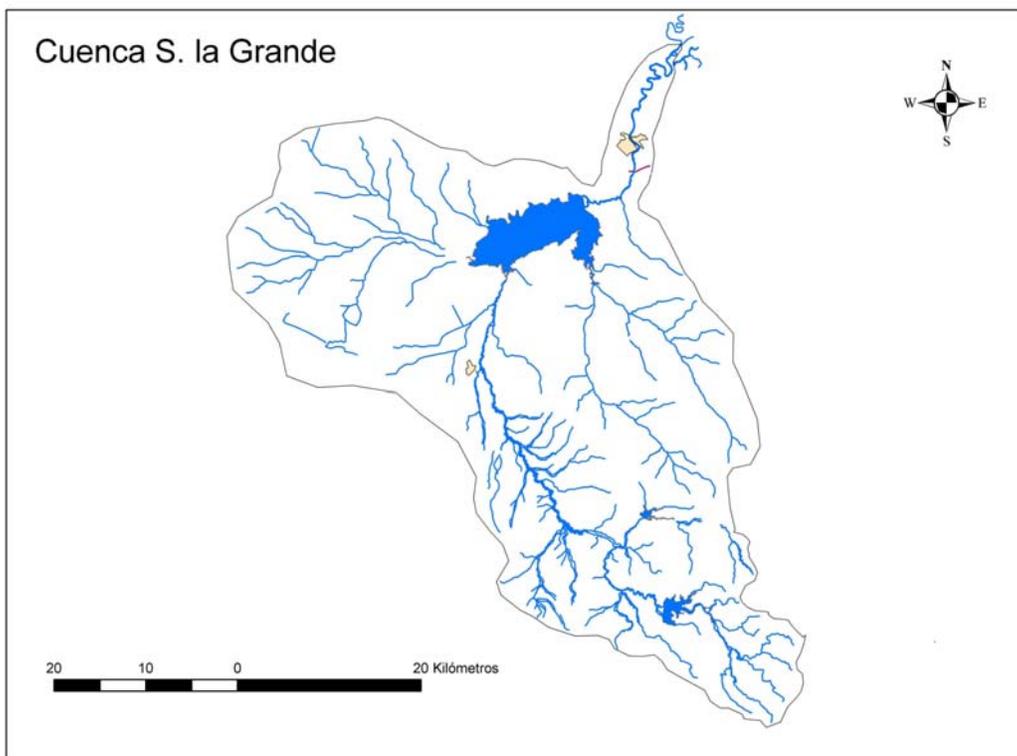


Gráfico N° 3. Mapa de división político administrativa de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.



Anexo gráfico N° 4. Mapa de red hidrográfica.



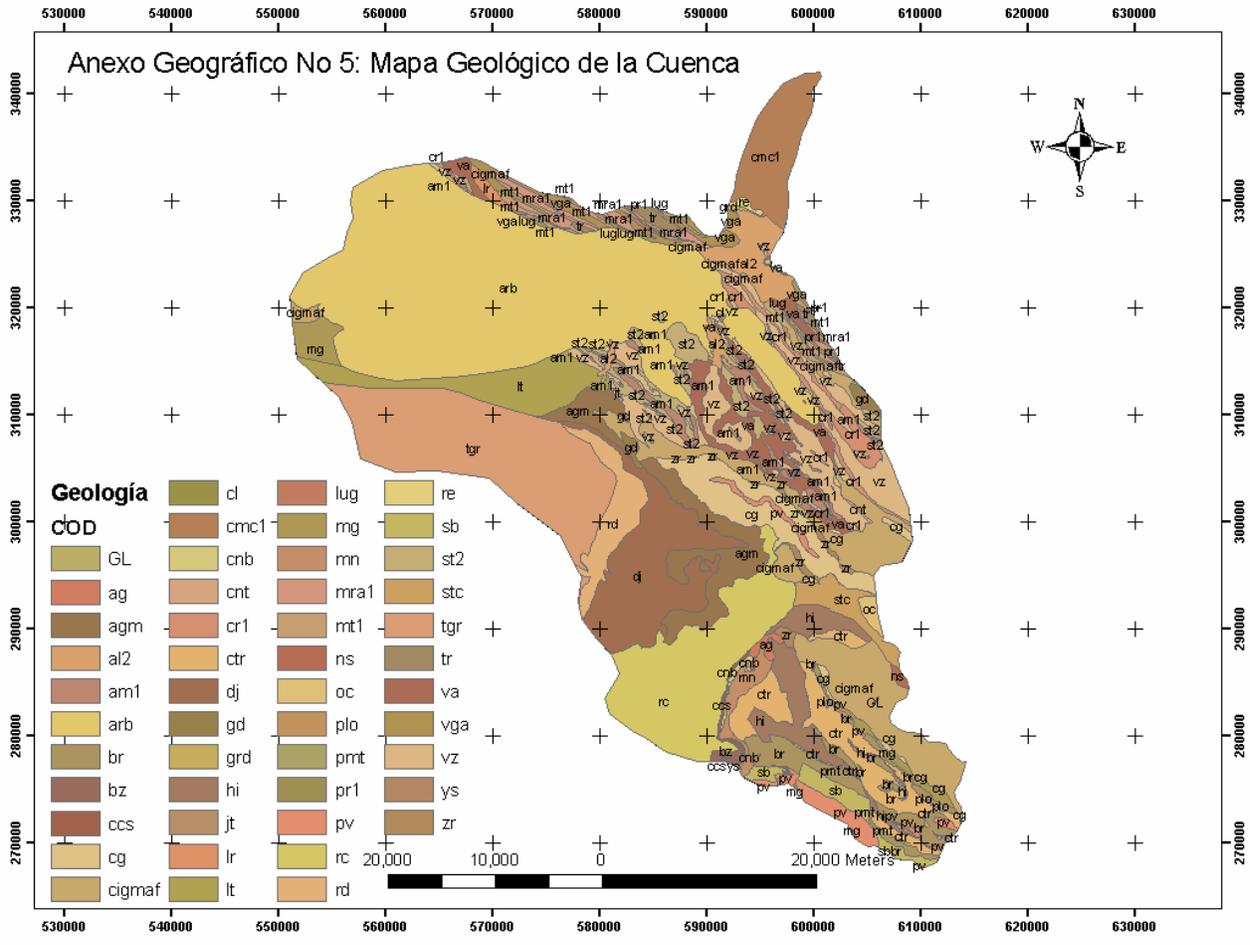


Gráfico N° 7. Mapa de acuosidad de la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

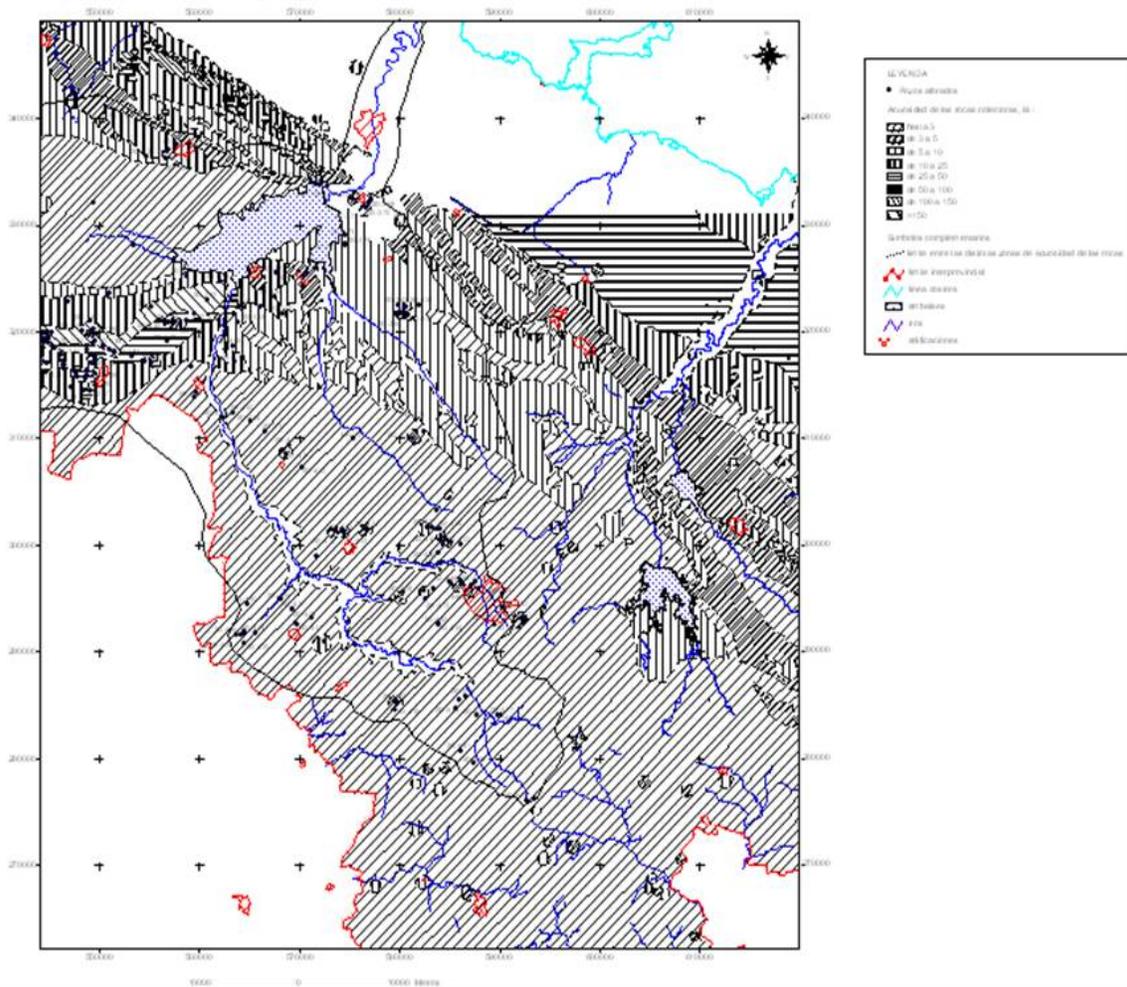


Gráfico N° 8. Mapa de regionalización hidrogeológica en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

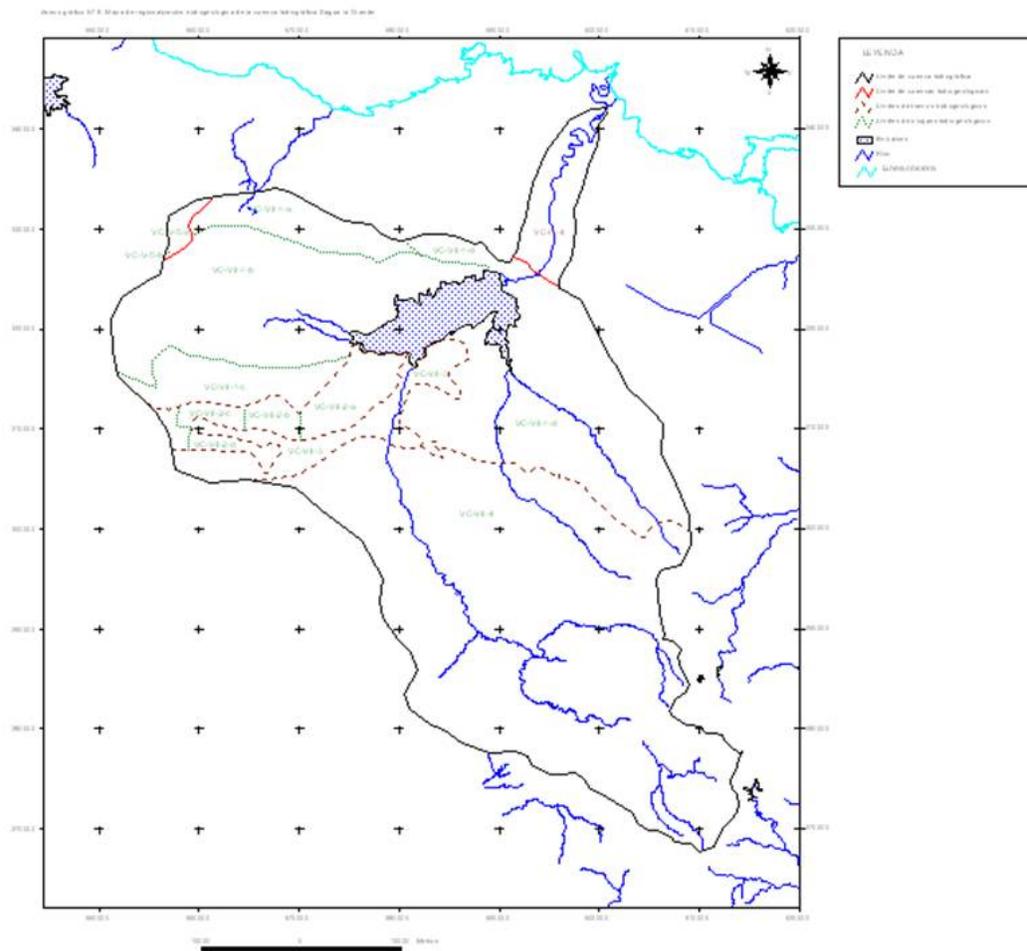


Gráfico N° 9. Mapa del uso del agua subterránea en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande.

