Facultad de Construcciones

Departamento de Ingeniería Hidráulica

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Estudio hidroenergético en la regulación del escurrimiento alterado de la presa "Los Asientos"

Autor: Raisa Martínez Pouymiro

Tutores: Ing. Iván Gómez Ojea.

Msc. Ing. María Teresa Durán Silveira.

Santiago de Cuba, Junio 2019

"Año 61 de la Revolución"

Pensamiento

"...cuando se pueda, aprovecharemos también esa energía hidráulica para producir electricidad".

Fidel Castro Ruz.

Dedicatoria

Dedicatoria

Este trabajo de diploma va dedicado a las personas que más amo en este mundo mi madre: Nelda Rosa Pouymiro Sánchez y abuelas: María Teresa Sánchez, Nelda Marzán. Ellas lo han dado todo por mi, no tengo palabras para agradecerles y expresar lo que siento. Son mi luz, mi guía, mis fuerzas y consuelo. Siempre estaré para ustedes y con ustedes. Otra persona a quien dedicar este logro es a mi abuelo Irán que no tuvo la oportunidad de verme estudiar una carrera universitaria, sé que él hubiese estado muy orgulloso de mí.

Raisa Martínez Pouymiro.

Agradecimientos

Agradecimientos

Agradezco a Dios por todo en mi vida y especialmente por permitir que yo cumpliera esta meta.

Muchas gracias a mis tutores MSc. Ing. María Teresa Durand Silveira y al Ing. Iván Gómez Ojea, por su apoyo, dedicación, paciencia, han sido incondicional, infinitamente agradecida, ustedes son personas maravillosas que se merecen lo mejor.

A todos los profesores del departamento, por sus enseñanzas, exigencias, consejos y contribuir directamente a mi formación profesional. En especial los profes Raúl, Onel, Yeimis.

Gracias a mi familia porque siempre han estado para mí, ayudándome en todo, mi madre y abuelas, dedicadas por completo a mí causa.

Muchas gracias a mis tíos y tías: Magda Irene, Liván Poyumiro, Enrique Esteban, Armando Steiners.

Mis primos: Karine,Steiners, Javier Bertrán, Idanis Pérez.

A mi persona favorita: Yunier Horrutinell Castillo, siempre ha estado conmigo en todo momento apoyándome, al igual que su familia.

A todas mis amistades y compañeros de aula, ustedes forman parte de una etapa única en mi vida, siempre recordaré los malos y buenos momentos que pasamos juntos. Los quiero.

Gracias a Surelis, Yurianna, Axel, Roxana, Liannet, Lisnet.

Agradecida con los compañeros del departamento de Hidrología de Aprovechamiento Guantánamo incluyendo a María Úrsula y los de la empresa de Emproy 15 Santiago.

Raisa Martínez Pouymiro.

Resumen

Resumen

En las condiciones de Cuba, país tropical, se han construido embalses con fines para riego y abasto poblacional, al surgir la necesidad de producir energía eléctrica en estos aprovechamientos resulta ventajosa la utilización de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en régimen subordinado, generando todo el año.

La presa Los Asientos es de uso múltiple, por la importancia que tiene abastecer eficientemente a los usuarios (riego e hidroenergía), ha de realizarse un estudio hidroenergético partiendo de su escurrimiento alterado, en el cual se determinarán los parámetros regulatorios del embalse y los índices técnicos de la Pequeña Central Hidroeléctrica de igual nombre.

Abstract

Abstract

In the conditions of Cuba, tropical country, they have built for themselves reservoirs with intentions for irrigation and I supply poblacional, when happening the need to produce electric power in these uses proves to be advantageous Pequeñas's utilization Centrales Hydroelectric in subordinate regimen, generating all year round.

The prey is The Seats of multiple use, for the importance that has to give supplies to the users efficiently (irrigation and hidroenergía), there is of coming true a study hidroenergético departing from his dripping altered, in the one that one will determine the regulatory parameters of the reservoir in and index them technicians of equal's Central Hydroelectric Child, name.

Índice

ÍNDICE

Contenido	Páginas
Introducción……....	2
Capítulo I. Estado del Arte……..	6
1.1 Escurrimiento ……...……...	6
1.2 Entrega ecológica del embalse…….……...…….....	10
1.3 Breve reseña histórica de las Centrales Hidroeléctricas a nivel mundial……...…	11
1.4 La Hidroenergía en Cuba……..……	13
1.5 Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas. Algunas ventajas y desventajas que tiene su construcción……...……	16
Capítulo II. Caracterización de la zona de estudio……..……	20
2.1 Características generales de la cuenca. ……...……..	20
2.2 Parámetros físico-geográficos…….…….	21
2.2.1 Geología – Geomorfología ……..…….....	21
2.2.2 Clima ……	23
2.2.3 Hidrografía ……	24
2.2.4 Suelos……...…….	25
2.2.5 Flora y Fauna …….	26
2.3 Principales embalses e infraestructura hidráulica…….	27
Capítulo III. Estudio Hidroeconómico circunscripto a la Hidroenergía……..……	33
3.1 Características técnicas de la presa Los Asientos…….….	33
3.2 Características Geológicas. …….….	33
3.3 Parámetros Hidrológicos ……..…	34
3.4 Regulación del escurrimiento alterado en la presa con uso múltiple (Hidroenergía y Riego) ……..……	35
3.4.1 Determinación de la demanda planteada por los usuarios y su distribución interanual ……..…….	35
3.4.2 Nuevas consideraciones en la determinación del coeficiente de regulación mínimo……..……	38
3.4.3 Determinación de la demanda planteada por la hidroenergía y su distribución interanual……..…….	43

3.5 Estudio Hidroenergético……...…… 46
3.5.1 Valores característicos de las diferentes cargas producidas en el embalse…….……. 48
3.5.2 Determinación del gasto instalado en la PCHE……..……. 49
3.5.3 Determinación de las potencias, partiendo de la entrega garantizada…… 49
3.5.4 Determinación de la energía generada……... 50
3.5.5 Determinación del factor de carga……..…… 51
Conclusiones…….……. 54
Recomendaciones……...… 56
Bibliografía……...……. 58
Anexo……..…... 61

Introducción

Desde tiempos ancestrales, el hombre ha construido barreras sobre los ríos para almacenar, controlar o derivar agua. La presencia de esas barreras genera lagos artificiales llamados embalses, al sistema formado por ese vaso de almacenamiento y la barrera, denominada cortina, se conoce como presa, su objetivo más común consiste en regular los escurrimientos de un río, almacenando temporalmente el volumen que escurre en épocas lluviosas, y luego utilizarlo en el estiaje, aunque el principal fin es la satisfacción de la demanda planteada por los usuarios.

El agua a pesar de ser un líquido vital en la vida humana se utiliza también para accionar máquinas giratorias llamadas turbinas, que a su vez mueven generadores transformando la energía mecánica (el movimiento) en eléctrica, dando lugar a la Hidroenergía. Dicho proceso tiene como principio la primera ley de la termodinámica: establece que la energía no se crea ni se destruye, se transforma. (Ver Diagrama 1).

Diagrama 1. Conversión de energía en una Central Hidroeléctrica.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía.

La energía eléctrica no puede almacenarse, debe ser consumida en el mismo instante que se produce. Por tanto, es necesario conocer la cuantía en la que va a ser requerida cada momento, o al menos tener una previsión lo más aproximada posible, para estar en condiciones de generarla.

A pesar de los diversos esquemas hidráulicos existentes en el mundo para el aprovechamiento hidroeléctrico, todos ellos pueden reducirse a dos tipos básicos:

- Aprovechamiento por derivación de las aguas.
- Aprovechamiento por regulación de las aguas.

El primero permite obtener un salto concentrado a través de la conducción del agua desde el cauce natural por un conducto artificial hasta el punto deseado. Sin embargo, el segundo aprovechamiento consiste en situar una presa reguladora en un punto del

cierre que acumule las aguas captadas del río y al mismo tiempo propicie una carga entre los niveles del agua en el embalse y aguas abajo.

El trabajo a desarrollar parte de un estudio hidrológico elaborado por el Ing. Iván Gómez Ojea en el año 2017, discutido y aprobado en el consejo técnico de la Empresa de Aprovechamientos Hidráulicos de la provincia Guantánamo; está referido a la alteración de los parámetros hidrológicos de cálculos en la presa Los Asientos, producto al incremento de su escurrimiento natural con las aportaciones del río Arroyón y los egresos debido al Trasvase Sabanalamar Pozo Azul; además, reorganiza el sistema regulatorio de la red hídrica del Valle de Caujerí conforme a las necesidades del consumidor producto a la alta variabilidad.

La presa Los Asientos fue puesta en explotación en el año 1991, ubicada 15 Km al Norte del municipio San Antonio del Sur, provincia Guantánamo, en las inmediaciones del poblado Los Asientos y al Este del Valle de Caujerí, teniendo como coordenadas (N: 168.56, E: 713.23); represa las aguas del río Sabanalamar que son aprovechadas para riego e hidroenergía.

Por la importancia que tiene mejorar la vida a los pobladores y apoyar al Sistema Eléctrico Nacional, este trabajo investigativo realiza una nueva evaluación de los índices técnicos de la Pequeña Central Hidroeléctrica Los Asientos en dependencia de los parámetos regulatorios del embalse con el escurrimiento alterado. Para ello se plantea la siguiente metodología de la investigación.

Problema de investigación

Revaluar el estudio hidroenergético de la Pequeña Central Hidroeléctrica Los Asientos, en base al escurrimiento alterado del embalse (Los Asientos), provocado por los ingresos de la derivadora Arroyón y egresos del trasvase Sabanalamar Pozo Azul.

Objeto de investigación

Determinar los parámetros regulatorios del embalse y los índices técnicos de la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) Los Asientos.

Campo de acción

El estudio hidroeconómico circunscripto a la hidroenergía en el embalse.

Objetivos

General

Realizar un estudio hidroenergético partiendo del escurrimiento alterado sobre la base de la determinación del grado de regulación óptimo de la presa Los Asientos.

Específicos

1. Reevaluar los parámetros regulatorios del embalse.

2. Determinar los índices técnicos de la Pequeña Central Hidroeléctrica.

Hipótesis

Conociendo los parámetros regulatorios del embalse en régimen alterado se podrá abastecer eficientemente a la Pequeña Central Hidroeléctrica y al Sistema de Riego en perspectiva del Valle de San Antonio del Sur.

Tareas de investigación

1. Búsqueda bibliográfica del tema de estudio.
2. Determinación de los parámetros regulatorios del embalse.
3. Obtención de los índices técnicos de la PCH.

Capítulo I

Capítulo I. Estado del Arte

Unas de las primeras etapas que debe desarrollarse dentro de la investigación es la elaboración del Estado de Arte, pues permite determinar la forma como ha sido tratado el tema, el avance cognoscitivo durante su realización y cuáles son las tendencias existentes en ese momento cronológico, para el desarrollo de dicha problemática.

1.1 Escurrimiento.

(Rodríguez, 2003) expresa, el estudio del escurrimiento a pesar de haber sido trabajado extensamente, es un tema vigente, por una parte, debido a la complejidad implícita en la contradicción básica a resolver: el carácter aleatorio del aporte y el carácter (generalmente) determinístico de la demanda y, por otra parte, debido a las condiciones, siempre en evolución, del entorno económico, social y ecológico asociados.

El escurrimiento puede definirse como parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, efímeras e intermitentes, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre. De acuerdo con las partes de la superficie terrestres en las que se realiza, éste puede dividirse en: superficial, subsuperficial, y subterráneo.

En el país, el escurrimiento fluvial es caracterizado por una gran dispersión en ríos no muy grandes y otros bastante pequeños, presenta irregularidad territorial, anual e hiperanual, los recursos hidráulicos son escasos y la isla rodeada por todas partes de agua en realidad es relativamente pobre en agua dulce.

Partiendo de estos elementos pueden hacerse una serie de conclusiones:

- La dispersión del escurrimiento en numerosos ríos obliga a buscar la utilización de las aguas por medio de diversas obras.
- Determina la necesidad del transporte de agua de un lugar a otro, teniendo en cuenta la distancia, cantidades razonables, a través de obras justificadas económicamente, ejemplo el Trasvase Este-Oeste.

- La irregularidad del escurrimiento hiperanual y dentro del año exige relativamente grandes volúmenes de los embalses regulados.

(Merlo, 1980) refiere, la causa que impone la regulación del escurrimiento es precisamente la desigualdad existente entre las magnitudes del escurrimiento y el consumo durante períodos relativamente cortos. Lo que implica almacenar excesos de agua cuando existan, aprovechándolos durante épocas en que el escurrimiento no satisface todas las necesidades.

Con la finalidad de hacer uso racional y eficiente de este proceso del ciclo hidrológico es necesario realizar los estudios hidroeconómicos para relacionar el comportamiento del escurrimiento con las demandas de agua dirigida a diferentes actividades como son: abasto a la población, riego e hidroenergía, argumentar técnica y económicamente las obras hidráulicas destinadas a la captación, regulación de los recursos hidráulicos. (Duranza, 1984).

En la sociedad moderna, la Hidroeconomía es un factor muy importante en el desenvolvimiento socioeconómico porque está vinculada estrechamente, tanto a las ramas de producción material como infraestructura. El método más utilizado en Cuba para su desarrollo es: “Método estadístico de Kritski y Menkel”, este resuelve con exactitud el problema mediante uso de tablas previamente preparadas haciéndolo sencillo y rápido.

Son posibles dos variantes en el proceso de argumentación hidroeconómica del proyecto de un embalse regulador.

1. Teniendo los parámetros del escurrimiento y el consumo de agua, determinar la capacidad útil del embalse necesaria con el fin de abastecer a los consumidores.
2. Con los parámetros del escurrimiento y la capacidad útil del embalse conocidos, determinar la entrega garantizada.

Para llevar a efecto estos cálculos es necesario conocer una serie de conceptos importantes, los cuales se detallan a continuación.

(Merlo, 1980) indica que el consumo de agua representa la cantidad utilizada para la satisfacción de las necesidades de los usuarios. Ejemplo de consumidores son: riego y abastecimiento de agua potable o industrial. Según el intervalo de tiempo durante el cual es realizado trata de consumo anual, mensual, diario y demás.

Esa cantidad de agua asegurada por obras hidráulicas (embalses) se denomina entrega (ya sea bruta, o neta) y a la vez es igual al consumo, cumpliéndose así el propósito de un conjunto hidráulico: asegurar una entrega igual a las necesidades de una parte bien determinada de todos los años de explotación. Esto constituye el basamento de una característica importante del consumo y la entrega nombrada: garantía de la entrega (g).

Según (Duranza, 1984), define la garantía de la entrega como una relación porcentual o partes de la unidad, entre el número de los casos cuando la demanda se satisface y el número total de casos.

En las fuentes de aguas con recursos limitados, un aumento de garantía significaría también disminución de la entrega garantizada. Por tal motivo está establecido lo siguiente:

- Riego g=75%
- Producción de energía en plantas hidroeléctricas g=85%
- Abasto de agua potable g=95%

Es necesario destacar que, con el proceso de almacenamiento y redistribución según la demanda, en cada embalse se pierden aguas a causa de las filtraciones, evaporaciones, estas últimas debido al contacto de la atmósfera con la superficie libre del agua, las cuales pueden calcularse a partir de los datos de láminas de evaporación del lugar y áreas inundadas, teniendo en cuenta la cota del nivel del agua. Al evaluar la entrega neta (R), es necesario restarle a la entrega bruta (U) las pérdidas no recuperables por filtración y evaporación.

Las pérdidas por filtraciones son determinadas mediante los estudios hidrogeológicos correspondientes. Sin embargo, en la práctica, lo que más a menudo se logra es una

evaluación cualitativa de las condiciones hidrogeológicas como buenas, medianas o malas. (Guzmán, 1980).

Clasificándose en:

Buenas……G = 0.03----0.05

Medias……G= 0.05----0.10

Malas……G =0.10----0.20

(Merlo, 1980) refiere: según el intervalo en el que se realiza la regulación, son conocidos los siguientes: diaria, semanal, mensual, anual e hiperanual. Evidentemente un embalse de regulación hiperanual efectúa los otros tipos mencionados anteriormente, definiéndose cuando:

- $U < W_m$ la regulación es anual incompleta.
- $U = W_m$ la regulación es anual completa.
- $U > W_m$ la regulación es hiperanual.

(Grigorov, 1984) expresa, al efectuarse la regulación hiperanual, un derrame de ciertas cantidades de agua por el aliviadero es inevitable porque no es posible, ni económicamente conveniente construir el embalse tan grande para que realice una regulación completa del escurrimiento promedio anual.

La relación entre el escurrimiento regulado medio anual (entrega bruta) y el escurrimiento medio anual, es una característica esencial de la facultad reguladora del embalse denominada: grado o coeficiente de regulación el cual debe ser menor que 1.00, porque siempre existen aguas aliviadas.

A demás un embalse con grado de regulación alto tendrá igualmente una capacidad y áreas inundadas muy grandes, evidentemente, las pérdidas debido a la filtración, evaporación disminuyen la entrega neta. A pesar de que existe un grado regulatorio que determina la entrega neta máxima en el caso anterior, se tiene también el grado de regulación óptimo que es más bajo. (Guzmán, 1980).

Mientras mayor sea el volumen útil, aumentan las posibilidades del mismo para almacenar agua, y menores son las aguas vertidas.

En el caso de que el embalse deba suministrar agua a dos consumidores con garantías diferentes, ejemplo riego e hidroenergía, los cálculos de la capacidad útil deben cumplir estos requisitos:

- Cada uno de los consumidores debe considerarse como si fuera el único consumidor del embalse construido en el mismo lugar y diseñado para este consumidor.
- En los años en que no pueda garantizarse la entrega, cada consumidor debe recibir una cantidad reducida de agua, cuya magnitud será igual que si se considera este el único consumidor del embalse.

1.2 Entrega ecológica del embalse.

De acuerdo con la World Wildlife Fund (WWF, 2010) o Fondo Mundial para la Naturaleza, el caudal ecológico es un instrumento de gestión que establece calidad, cantidad, régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos, resiliencia de los ecosistemas acuáticos que propician bienes y servicios a la sociedad.

La expresión caudal ecológico, referida a un río o a cualquier otro cauce de agua corriente, puede definirse como el agua necesaria para preservar los valores ecológicos como:

- Los hábitats naturales de flora y fauna.
- Las funciones ambientales como dilución de contaminantes,
- Amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos,
- Preservación del paisaje.
- Su uso antrópico (por ejemplo, la recreación).

El caudal ecológico por sí sólo no es una medida eficiente en el manejo integrado de una cuenca hidrográfica. Todo lo contrario, éste forma parte de una serie de medidas: zonificaciones ambientales, recuperación de suelos, conservación y protección de

ecosistemas, prevención de contaminación, entre otros, estos elementos en su conjunto integran parte de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH).

Todo proyecto que conlleve derivación de cauces hídricos naturales (agua potable, riego, hidroeléctricas y otros), deben considerar la conservación del caudal ecológico aguas abajo de las obras, para evitar la alteración de los corredores ecológicos.

1.3 Breve reseña histórica de las Centrales Hidroeléctricas a nivel mundial.

La primera central hidroeléctrica fue construida en 1880, Northumberland Gran Bretaña, un mes después de entrar en funcionamiento la de Pearl Street (Nueva York) primera central térmica dirigida por Edison, empezaba a funcionar también la central hidroeléctrica en el estado de Wisconsin. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda eléctrica a principios del siglo XX, la tecnología no sufrió cambios en estos tiempos. Iniciando la década de los noventa, las primeras potencias productoras de hidroelectricidad eran Canadá y Estados Unidos (Soria, 2007).

Alrededor de la sexta parte de la electricidad generada en el mundo se produce en plantas hidroeléctricas. La mayor Central Hidroeléctrica está ubicada en la República Popular de China, conocida como "Las Tres Gargantas", posee una potencia igual a 22 500 MW, seguida por la planta hidroeléctrica Itaipú la cual cuanta con 14 000 MW, situada en la frontera entre las repúblicas de Brasil y Paraguay, (Arrastía, 2015).

Según (Méndez, 2017), la hidroenergía ha generado más electricidad que el resto de las energías renovables juntas a nivel mundial, por lo que representa una alternativa a los países que dependen del precio de los commodities en el mercado internacional para proveer el servicio energético.

(Garrón, 2017) expresa que El Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), ha desarrollado el Programa de Hidroenergía Sostenible, a través de convenios, alianzas estratégicas con instituciones como la Empresa Nacional de Electricidad en Bolivia (ENDE), y ELETROBRAS en Brasil, actualmente lleva adelante estudios del potencial

hidroeléctrico en la Cuenca Río Madera. Además, se culminó exitosamente la investigación en Sao Paulo, Brasil, identificándose una cartera de 687 aprovechamientos de pequeñas y mini centrales hidroeléctricas factibles a nivel técnico y económico, con un potencial estimado de 500 Kw. También fueron apoyados estudios en Perú, Bolivia, Venezuela para determinar el potencial hidroeléctrico remanente de algunas cuencas.

(Alarcón, 2018). La hidroelectricidad suministra gran parte de la energía eléctrica de Latinoamérica y el Caribe (LAC), convirtiéndose la matriz eléctrica de esta región en la más verde del planeta. No obstante, el desarrollo hidroeléctrico futuro no está exento de desafíos.

(Rosco, 2018) refiere: los escenarios de la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés), plantean que la capacidad hidroeléctrica en la región llegará a estar entre 253 y 266 GW para el 2040 (82 a 95 GW adicionales entre 2015 y 2040), manteniendo la porción de hidroelectricidad en la matriz eléctrica por encima de 50%.

A continuación, se muestra en la (Figura 1.2) la demanda de electricidad percápita desde el año 1990 hasta 2020.

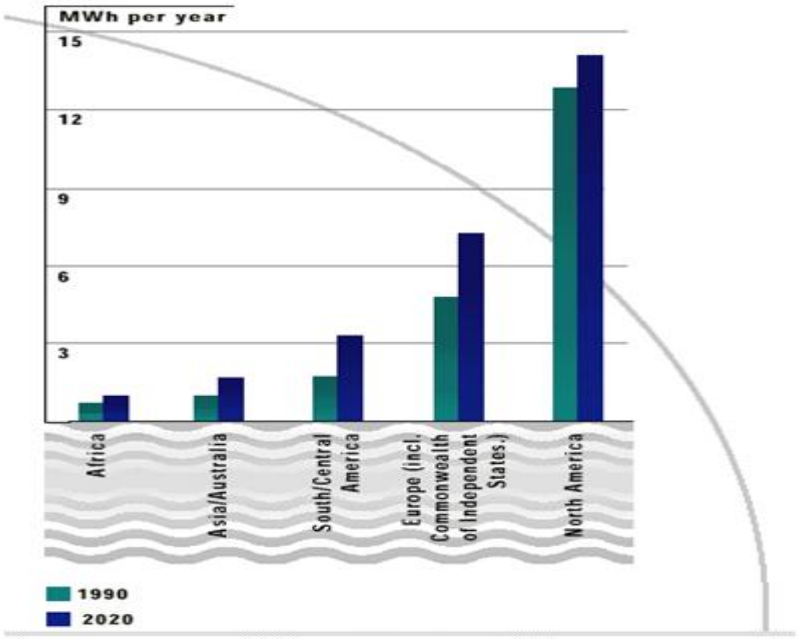

Fig. 1.1 Demanda de electricidad percápita. Fuente (Agencia Internacional de la energía).

A pesar de los avances científico-técnicos logrados por el hombre especialmente en la hidroenergía, gran parte de la humanidad sufre de escaseces en servicios eléctricos, hídricos entre otros; más de dos mil millones de personas no tienen acceso permanente a la electricidad, la falta de medios adecuados de calefacción, alumbrado en hogares, dispensarios y escuelas afecta el 40 por ciento de la población del orbe, en particular a los habitantes de las zonas rurales o aisladas de países subdesarrollados. Por tales motivos es imprescindible incrementar el potencial de las fuentes renovables, permitiendo satisfacer necesidades en esos asentamientos, cuyas comunidades podrán disponer de equipos indispensables para la salud y economía.

1.4 La Hidroenergía en Cuba.

La aplicación de la Hidroenergía como fuente de generación eléctrica en Cuba data desde principios del siglo XX, cuando se pusieron en explotación pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, de los cuales algunos se mantienen generando en la actualidad, como Hidroeléctrica Salto de Piloto (1912), Pinar del Río (295 y 71,2 Kw) respectivamente, la Pequeña Central Hidroeléctrica Guaso (1917), en Guantánamo, con una potencia instalada de 1 750 Kw, San Blas, en Cienfuegos con 1 000 Kw, Barranca en Granma (200 KW). Sin embargo, en las zonas montañosas de las provincias orientales aún se conservan ruinas, dando a demostrar que ya en el siglo XIX se utilizaba la energía hidráulica para mover despulpadoras de café y molinos de granos. En los primeros años de la Revolución concluyó la construcción e inició sus operaciones la Central Hidroeléctrica Hanabanilla (43 MW) de potencia instalada, siendo la mayor del país.

Con el paso del ciclón Flora (octubre de 1963), el comandante Fidel Castro crea el programa de la Voluntad Hidráulica el cual incitó una rápida actividad elaborando infraestructuras: (embalses, canales magistrales, obras de protección, estaciones de bombeo para el abasto de agua, acueductos, alcantarillados en la ciudad y el campo), desarrollo de la Hidroenergía, instituciones educacionales, capacitación, divulgación, personal calificado, instrumentos jurídicos; mecanismos que ubicaron a la nación en una posición privilegiada para enfrentar los fenómenos de excesos, o sequías.

Es en 1983 cuando se constituye la Comisión Nacional de Energía, órgano adscripto al Consejo de Ministro, dentro de sus funciones tuvo la de proponer la Política Nacional Energética, utilización racional, ahorro, investigación y el desarrollo de los recursos energéticos.

(Enrique, 1986) planteó, esta voluntad hidráulica inicial da una base material firme para el desarrollo de las PCH en regímenes subordinados al riego y abasto.

La llegada del proyecto hidráulico a la provincia más oriental posibilitó la construcción de varios embalses: La Yaya, Jaibo, Los Asientos, Faustino Pérez, este último de gran importancia para el abasto de la población. En la zona agrícola del Valle de Caujerí, municipio de San Antonio del Sur, se ejecutaron importantes obras hidráulicas como la presa Pozo Azul, el trasvase que une el Río Sabanalamar con ese embalse, para sistema de riego, Minihidroeléctricas, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. (Romero, 2018).

(Guerra, 2016), la isla está comprometida con el desarrollo sostenible, posee una política apropiada para el crecimiento de las fuentes renovables de energía, teniendo carácter prioritario la eficiencia energética. Además, refirió: en todos los sectores económicos y poblacionales está vigente la idea de reducir al máximo las emisiones de gases que provocan efectos invernaderos, en correspondencia a compromisos asumidos por el gobierno en los acuerdos de cambio climático. Por su valor en el ahorro de petróleo para la generación, especialistas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) prosiguen la identificación de este potencial, estudian los principales ríos de Cuba y la factibilidad del aprovechamiento hidroenergético de las presas construidas.

(Tarrado, 2017) expresa, las líneas de desarrollo hidroenergético conceptual que se proponen son:

- Programa de mantenimiento y operación. (Ver Anexos 1-4).
- Programa de puesta en marcha de las instalaciones paralizadas.

- Programa inversionista de incremento de las capacidades instaladas.
- Programa de modernización de mini hidroeléctricas.

(Ramos, 2018). Cuba prevé un incremento en la generación de electricidad en 2019, con una mayor participación de las fuentes renovables de energía (FRE). También se estima que el consumo crezca un 3,2 por ciento con respecto al estimado de 2018, fundamentalmente en el sector residencial. Este plan se verá sujeto al comportamiento de factores internacionales, afirmó la titular.

Despacho Nacional de Carga (DNC, 2019) pronostica que el plan de generación hidroeléctrica es aproximadamente 73 GWh/ año.

(Canel, 2019). Otros de los programas realizados por el gobierno es la Tarea Vida, con la finalidad de afrontar el cambio climático y para lograrlo propone incrementar hasta el 2030 un 24 % las fuentes renovables de energía, producir a partir de ellas 7 316 Gwh/año, cubriendo el 60 % del incremento del consumo, dejando de emitir a la atmósfera seis millones de toneladas de dióxido de carbono anuales para transformar estructuralmente las fuentes energéticas en el país, disminuir la dependencia de combustibles fósiles y elevar la sostenibilidad medioambiental.
Esto ha sido impulsado por la construcción de 175 estaciones, de ellas 138 microcentrales con más de 3 000 kW de potencia instalada, 32 minicentrales con más de 4 000 kW y cinco pequeñas centrales con más de 7 300 kW. Los costos del kilowatt instalado oscilan entre 1 500 y 2 500 USD/Kw. (Ver Figura 1.2)

El presidente cubano consideró que «…el país debe aprovechar todas sus potencialidades y no conformarse con lograr al 2030 el 24 % de la electricidad proveniente de (FRE), debemos hacer todo lo posible por alcanzar un resultado mayor, en dependencia de nuestras condiciones económicas».
Por más de 90 años la experiencia acumulada, permite llegar a la conclusión de que existe madurez tecnológica para proyectar una estrategia a corto, mediano y largo plazo. (Canel, 2019).

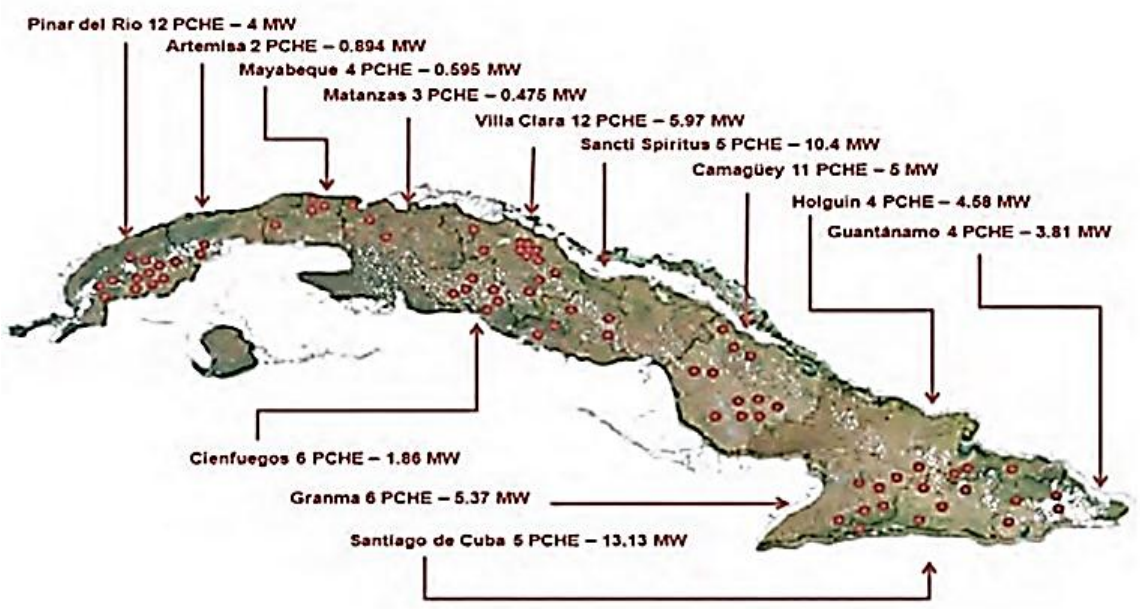

Figura 1.2. Mapa que muestra la proyección futura de desarrollo de la hidroenergía en Cuba hasta el 2030. Fuente: Rosales, 2016.

1.5 Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas. Algunas ventajas y desventajas que tiene su construcción.

Existe gran diversidad en cuanto a la clasificación de las Centrales Hidroeléctricas, ya sea por la potencia instalada, el flujo de agua, la altura del salto, entre otros aspectos.

De acuerdo con la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), las hidroeléctricas pueden catalogarse según el rango de potencia instalada en:

Tabla 1.1 Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas según su potencia instalada.

Tipo	Potencia (KW)
Micro hidroeléctricas	Hasta 50
Mini hidroeléctricas	50-500
Pequeñas hidroeléctricas	500-5000
Centrales hidroeléctricas	≥ 5000

Algunas clasificaciones en dependencia del flujo de agua:

- **Centrales de agua fluyente**: operan de forma continua, aprovechando el agua de un río o caída, pues no tienen capacidad para almacenamiento. También denominadas «centrales de filo de agua» o «de pasada», utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Turbinan el agua disponible en el momento, limitadas por la capacidad instalada.
- **Centrales de embalse**: retienen el agua mediante un dique, permiten fluirla través de las turbinas, manteniendo un flujo constante y controlable, pues utilizan embalse para almacenar agua e ir graduando el caudal turbinable. Esta capacidad de controlar el volumen de producción se emplea en general para proporcionar energía durante las horas punta de consumo. Sus costos son elevados respecto a las de agua fluyente pero es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica. (Ver Figura 1.3)

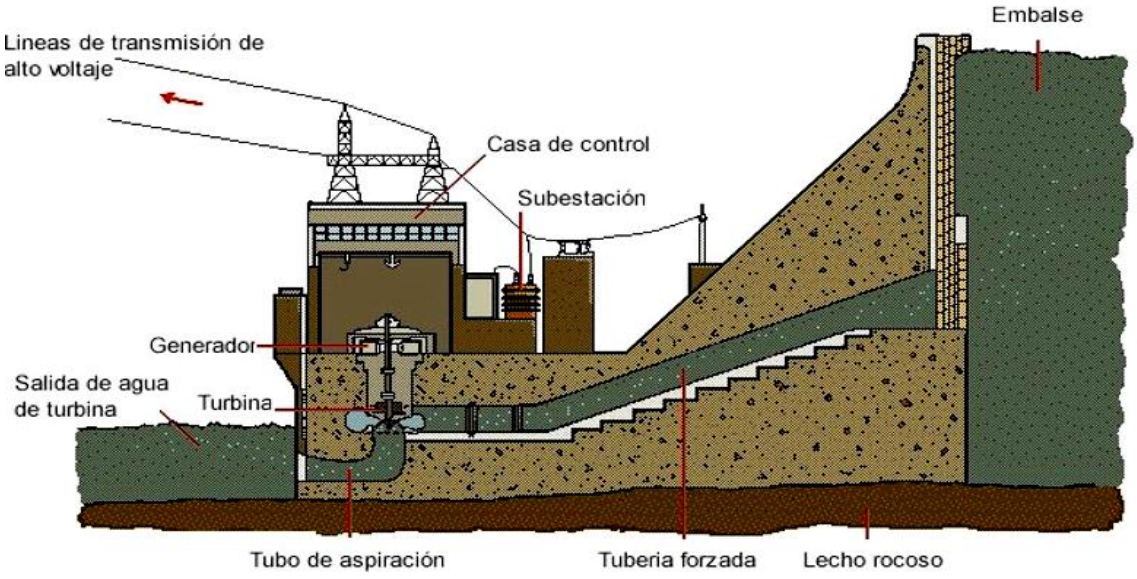

Figura 1.3. Corte transversal de una Central Hidroeléctrica. Fuente (OLADE).

Refiriéndose a la altura del salto los siguientes límites son arbitrarios:

- De alta caída: salto de más de 150 m

- De media caída: salto entre 50 y 150 m
- De baja caída: salto entre 2 y 20 m

Las construcciones de Centrales Hidroeléctricas traen consigo una serie de ventajas y desventajas, ya sea en su funcionamiento o el impacto que produzca al medio ambiente.

Dentro de las ventajas pueden encontrarse:

- No requieren combustible, sino que usan una forma renovable de energía, constantemente repuesta por la naturaleza.
- A menudo puede combinarse con otros beneficios, riego, suministro de agua, caminos, navegación, ornamentación de terrenos y turismo.
- Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
- La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente, segura, puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez, requiere poca vigilancia, siendo sus costes de mantenimiento generalmente reducidos.

También su construcción puede provocar efectos perjudiciales al ecosistema y medio ambiente en general:

- El emplazamiento, determinado por características naturales, puede estar lejos de los centros de consumo y exigir la construcción de un sistema de transmisión de electricidad, significando aumento en la inversión, mantenimiento, pérdida energética.
- La inundación del terreno tras la presa para formar el depósito desplaza a pobladores, destruyendo extensas áreas agrícolas, hábitats de vida silvestre y espacios naturales.
- Interrumpen la migración y desove de peces.

Capítulo II

Capítulo II. Caracterización de la zona de estudio

2.1 Características generales de la cuenca.

La cuenca del río Sabanalamar está situada en la parte meridional del oriente cubano, específicamente al este del Valle de Caujerí, entre los 20° 2' 28" y 20° 16' 21" de latitud norte y 74° 44' 13" y 74° 53' 31" de longitud oeste, aproximadamente. Se halla íntegramente dentro de los límites político-administrativos del municipio San Antonio del Sur perteneciente a la provincia Guantánamo. (Ver Figura 2.1)

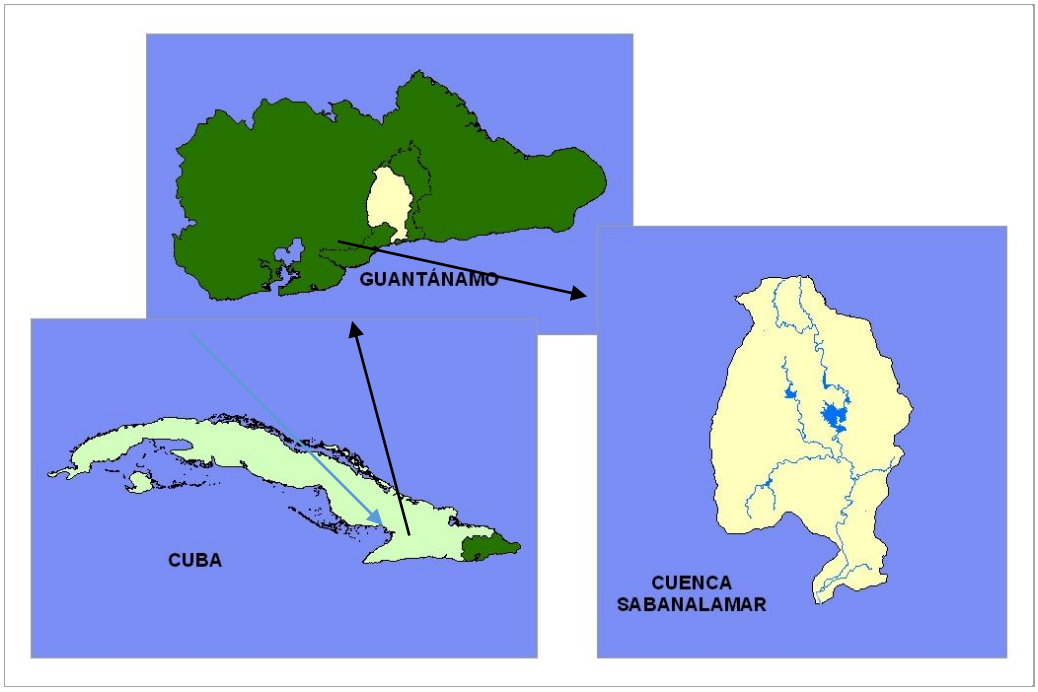

Figura 2.1 Esquema de localización del área de estudio. Fuente: Roilán Pérez, 2013.

Limita al norte-noreste con la cuenca hidrográfica Toa, al este con la cuenca del río Macambo, por el sur con las aguas del Mar Caribe, al suroeste con la cuenca Los Siguatos, y al oeste limita con la cuenca del río Yateras. Ubicada en la vertiente sur del parteaguas central de la Región Oriental. Posee una morfología casi ovalada, aunque presenta contornos irregulares que pueden simular una bahía de bolsa o un corazón humano, es de tipo exorreica (vierte directo al mar) con régimen estacional. (Ver Figura 2.2)

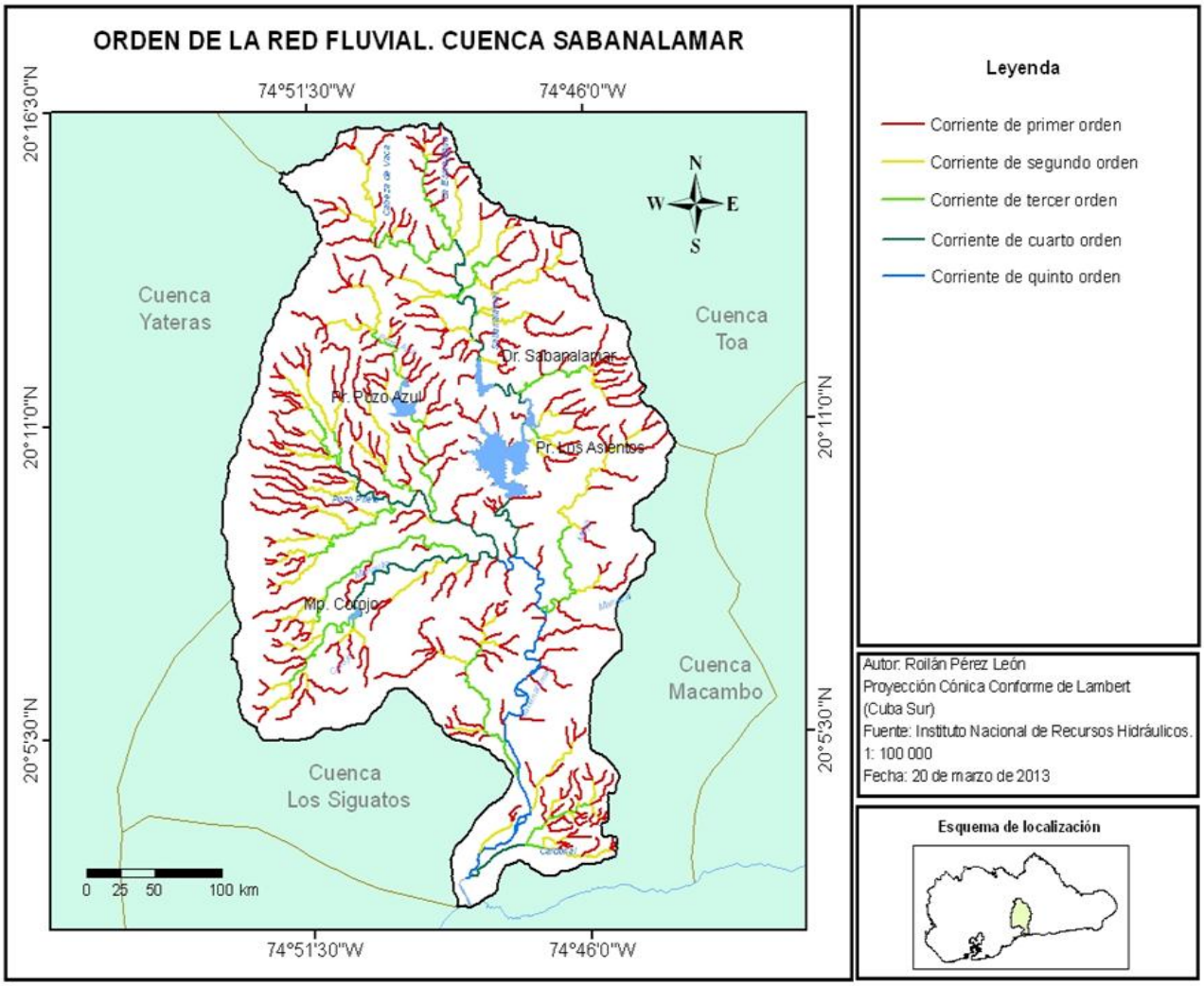

Figura 2.2. Mapa de orden de la Red Fluvial. Fuente: Roilán Pérez, 2013.

2.2 Parámetros físico-geográficos.

2.2.1 Geología – Geomorfología.

La cuenca Sabanalamar posee una geología variada y compleja, correspondiente a la del municipio sanantoniense, estando representada rocas de diferentes edades geológicas que datan de la era Mesozoica y Cenozoica, constituidas por depósitos terrígenos-carbonatados del Período Paleógeno y la época del Oligoceno. En lugares más localizados existen ígneas básicas, el material mecánico es basáltico, andesítico y dacítico. Otros lugares presentan una geología que responde al jurásico inferior-medio, terrígeno, metamórfico, de la era Mesozoica.

El territorio de estudio pertenece a la subprovincia Cuba Oriental, distrito Noreste, subdistrito Montañas Sagua-Baracoa, región Mesetas Guaso-Los Montes, encontrándose enclavado entre las estribaciones de dos grupos montañosos. Por el noreste se halla la Sierra del Purial y prolongaciones de la Sierra de Imías, al oeste, la Sierra de Caujerí y prolongaciones de la Sierra de Mariana. Predominan las zonas llanas, aunque coexisten otras formas de relieve como pequeñas ondulaciones y terrazas marinas. (Ver Figura 2.3)

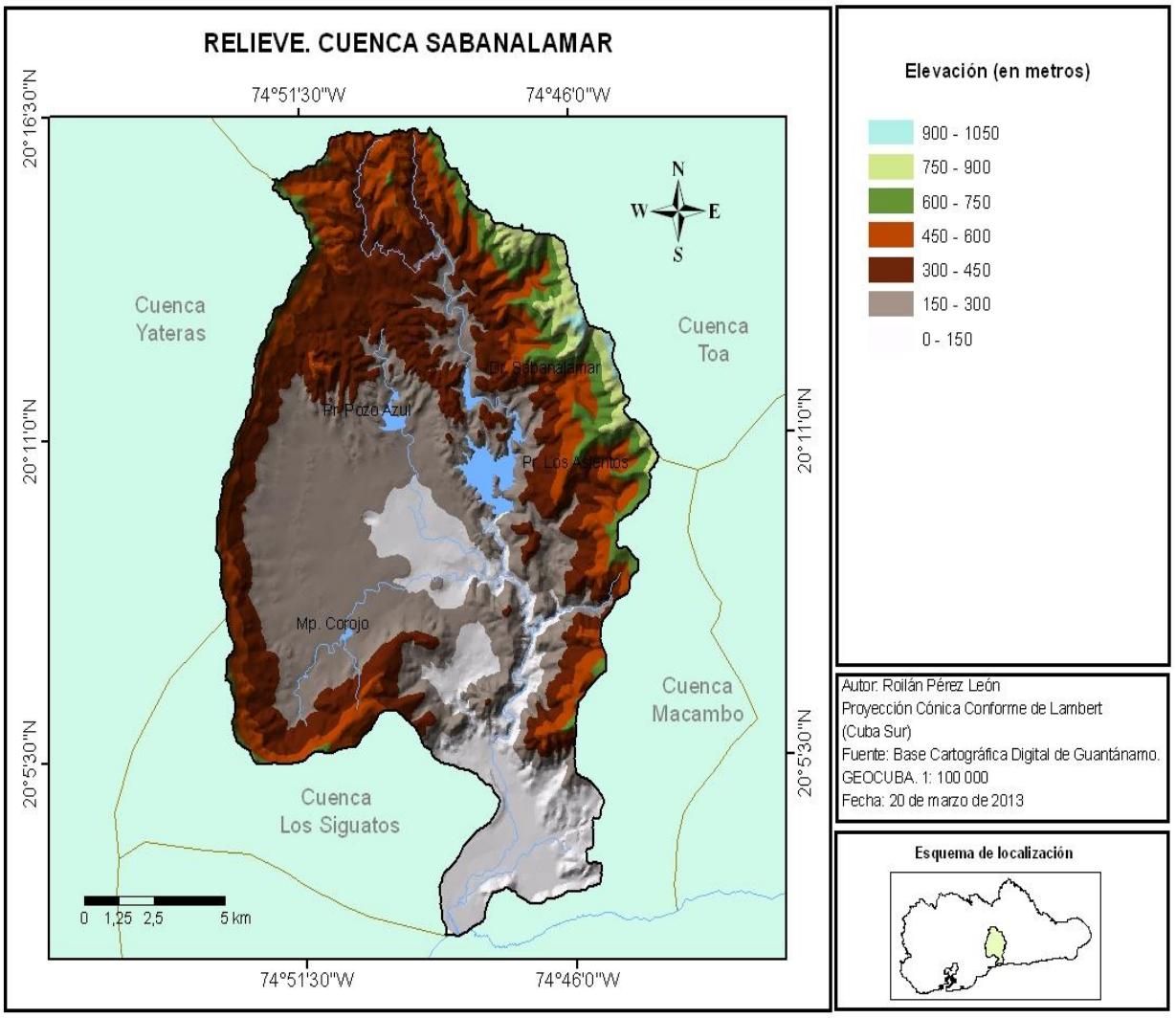

Figura 2.3. Mapa de relieve. Fuente: Roilán Pérez, 2013.

Atendiendo a las características del relieve pueden ser identificadas tres zonas, parte alta, media y baja respectivamente. (Ver Figura 2.4)

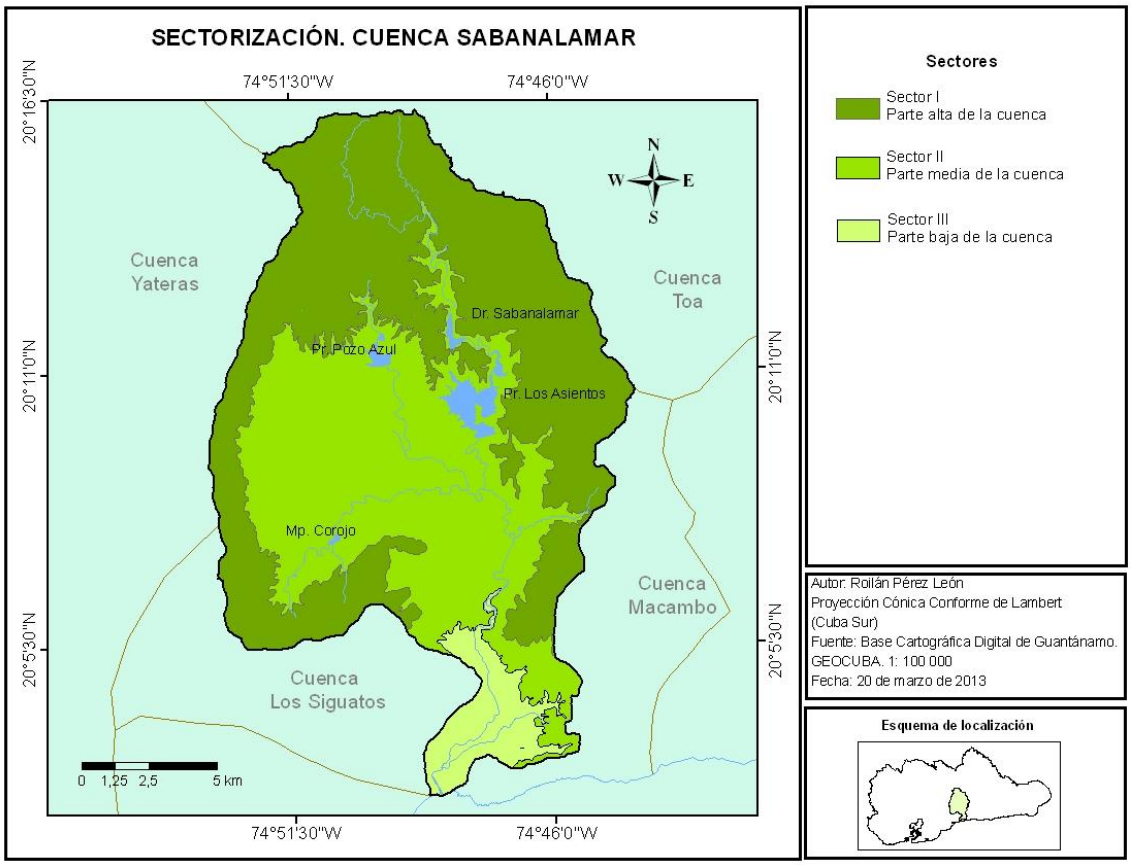

Figura 2.4. Mapa de Sectorización. Fuente: Roilán Pérez, 2013.

2.2.2 Clima

El clima de la cuenca del río Sabanalamar es Tropical de sabana, con un verano cálido y moderadas precipitaciones por influencia de su relieve. Las características más notables son: predominio de condiciones tropicales marítimas y distribución estacional de lluvias, influyendo decisivamente en la formación del clima. Los parámetros tropicales están condicionados por la cantidad de radiación solar, mostrando niveles máximos en los meses de abril y Julio, niveles mínimos de Diciembre a Enero.

Presentan particularidades interesantes las condiciones climáticas, caracterizadas por tener una temperatura media anual del aire que fluctúa entre los 20 grados Celsius o grados centígrados (ºC), 26 ºC en la zona más llana, y en la parte montañosa la temperatura disminuye con la altura. El mes más frío tiene temperatura aproximadamente de 20 ºC y el mes más caliente varía entre 26 y 28 ºC.

Las precipitaciones se distribuyen en dos estaciones: estación lluviosa desde mayo a octubre con el 70 (%) aproximadamente de la lluvia total anual y la estación poco lluviosa desde noviembre hasta abril con el 30 (%) del total anual (978.3 mm).

2.2.3 Hidrografía

La red fluvial es amplia, conformada por ríos, arroyos y cañadas, donde el carácter del relieve determina la dirección del escurrimiento superficial, constituyendo cadenas montañosas y líneas divisorias en ríos, que comparados con los del resto del país, tienen menor alimentación pluvial debido a la característica climática de la zona.

El río Sabanalamar es la corriente principal, formado por la unión de los ríos Cabeza de Vaca y Lemajagua, su curso sigue la pendiente inicial del terreno, determinada por la geología; este abre paso hacia su desembocadura situada al sur de San Antonio en la bahía Sabanalamar. No es navegable, pero si posee algunos lugares donde alcanza varios metros de profundidad.

Hidrológicamente en el municipio se pueden destacar dos vertientes (Norte, Sur), tomando como referencia el parteaguas central de la Región Oriental. En la vertiente sur está la mayor densidad poblacional. (Ver Figura 2.5)

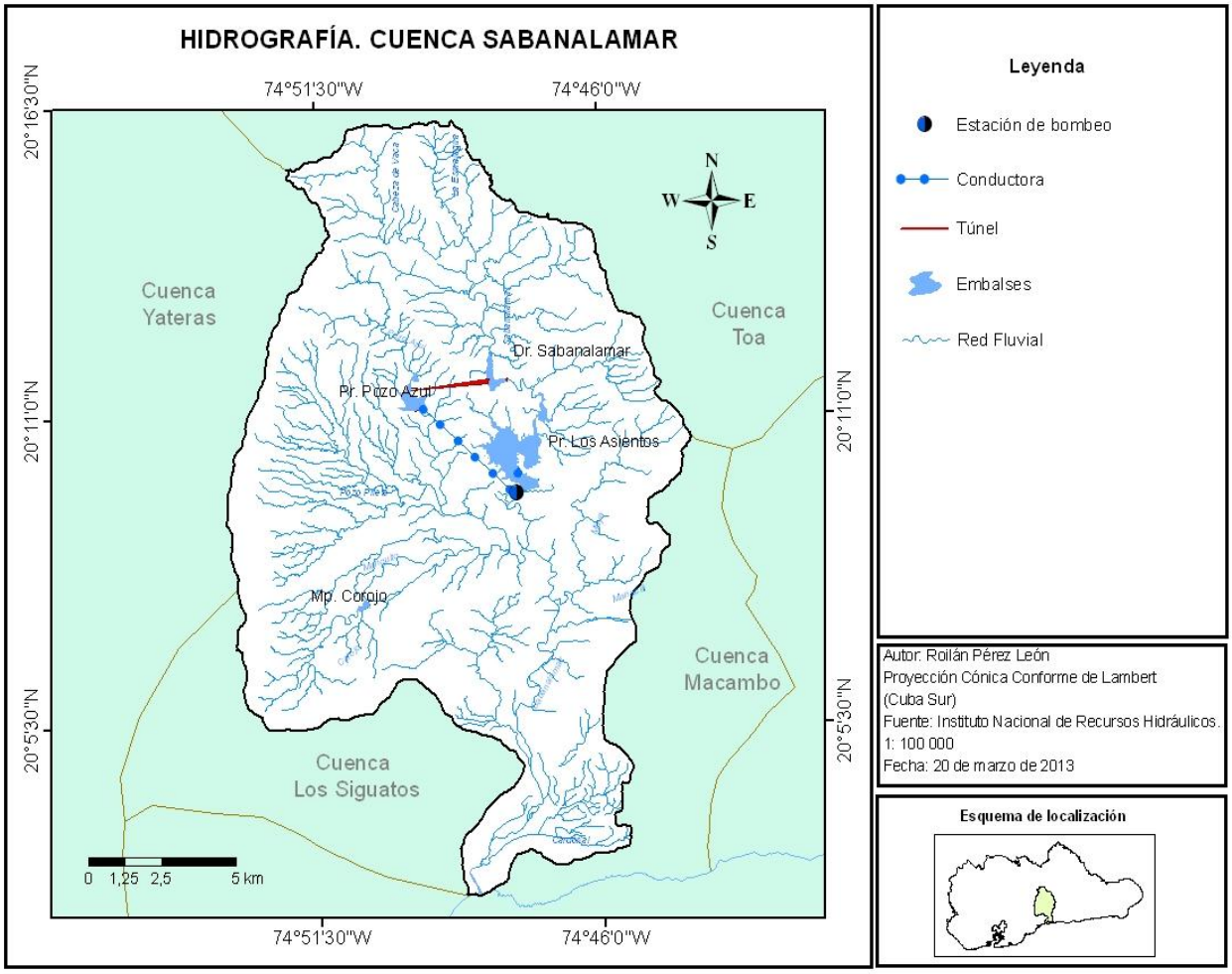

Figura 2.5. Mapa Hidrográfico. Fuente: Roilán Pérez, 2013.

2.2.4 Suelos

La distribución de los suelos es heterogénea, así como el relieve y clima, lo que condiciona la existencia de diferentes unidades: ferralíticos, fersialíticos, pardos y aluviales.

Los suelos más representativos son aluviales, dedicados a la actividad agropecuaria, siendo los problemas que más afectan su capacidad agrológica los procesos de desertificación, la erosión en las zonas montañosas y salinización de las tierras. (Ver Figura 2.6)

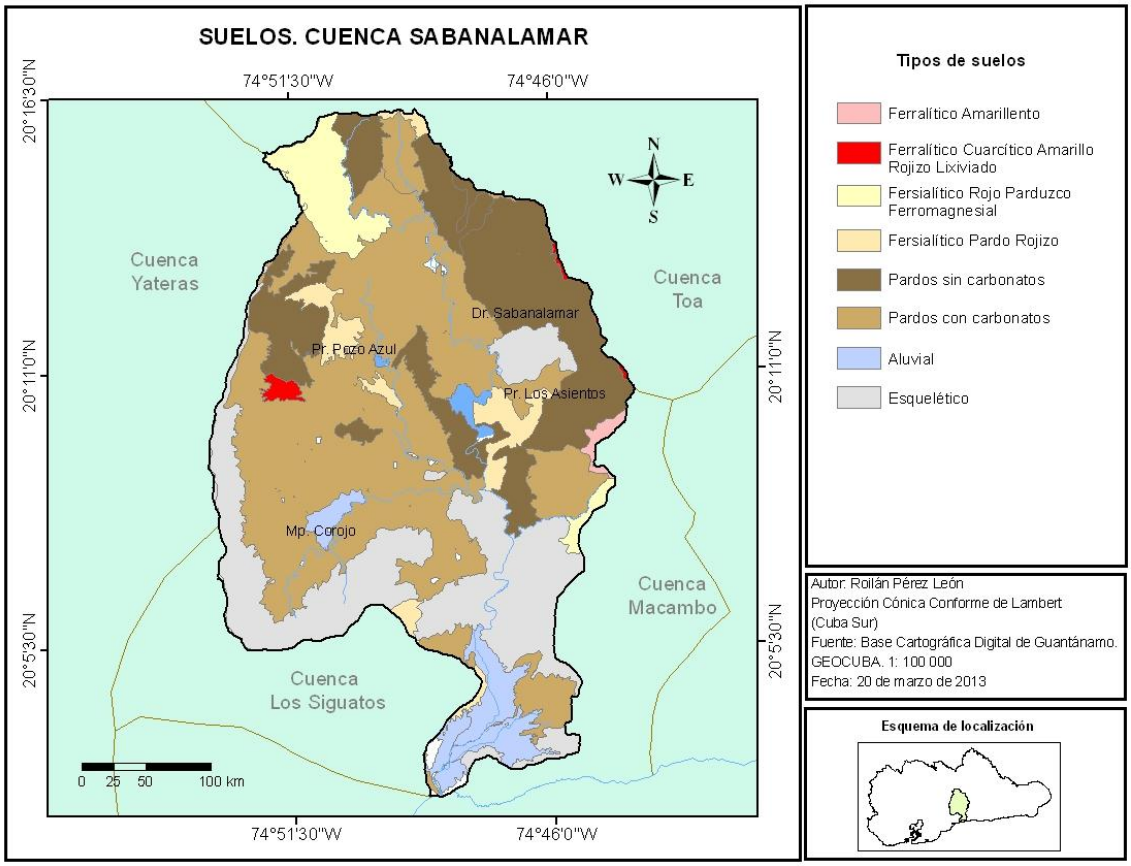

Figura 2.6. Mapa de suelos. Fuente: Roilán Pérez, 2013.

2.2.5 Flora y fauna

Existe una relativa diversidad de formaciones vegetales e incluso algunas constituyen los relictos del territorio, comportándose de acuerdo con las características del clima, suelos y relieve. En el litoral costero según las condiciones climáticas predomina: vegetación espinosa, herbazal, matorral subarbustivo de costa arenosa y rocosa.

En algunas zonas llanas la vegetación ha sido fuertemente modificada con el transcurso de los años debido a las mejoras y ampliación de las áreas urbanas, con plantaciones antrópicas, de cultivos varios, perecederos, entre otros.

Hacia la parte alta y montañosa de la cuenca, la vegetación natural tiene mejor conservación y parcialmente es sustituida por plantaciones de café, cultivos varios rotativos, frutales, pastos.

La mayor parte de la variedad faunística del área es encontrada en las estribaciones montañosas, representada aves (Rabijunco, Sinsonte, pájaro mosco, Cabrerito Baitiquirí y otros). Existen importantes poblaciones de cotorras (Amanoza Leucocephala), especies de ranas plataneras y el sapo (Bufo Taladi).

2.3 Principales embalses e infraestructura hidráulica.

Se localizan dos embalses, Pozo Azul ubicado en el curso del río del mismo nombre y Los Asientos, constituyendo el reservorio para la producción de energía eléctrica en la PCH Los la Asientos, interconectada al SEN y diseñada para producir 500 kW (Ver Figura 2.7)). Dentro de la red fluvial de la cuenca figuran algunas obras hidráulicas que sirven como sistema de regulación, muchas de las cuales surgen con el objetivo de acumular el escurrimiento producido por las lluvias en el período húmedo.

Figura 2.7. Conjunto hidráulico Los Asientos.

Presa Pozo Azul: embalse ubicado en el Valle de Caujerí, montañas de Nipe-Sagua-Baracoa, situado a 17 km al noroeste del pueblo de San Antonio del Sur, en los 20° 11' 11" de latitud norte y los 74° 49' 35" de longitud oeste. Tiene un área de 15.4 km² y almacena un volumen total de 14, 80 (hm^3). Represa las aguas del río Pozo Azul, que son utilizadas para el riego de viandas, hortalizas y el abasto.

Trasvase Sabanalamar Pozo Azul: importante instalación hidráulica, integrada por tres objetos de obra fundamentales: derivadora de hormigón con capacidad para almacenar 80 000 m³ de agua, dos tramos de túneles revestidos en líneas que atraviesan la Sierra del Purial y suman 1 532 m de longitud (el primero 1 366 y el segundo 166), un trecho intermedio entre esas galerías formado por una conductora de 200 m con doble tubería de polietileno de alta densidad (PAD) y 1 000 mm de diámetro, 252 m de extensión cada una . La obra está diseñada para trasvasar por gravedad como mínimo 1 m^3/seg, desde el río Sabanalamar hasta la presa Pozo Azul. (Ver Figura 2.8)

Figura 2.8. Canal de entrada al túnel.

Derivadora Arroyón:

Con capacidad para Derivar como mínimo 150 l/s. Se encuentra ubicada en la Vertiente Norte de la Prov. Y es alimentada por el río de igual nombre (afluente del Río Toa) deriva parte de sus aguas para alimentar la Minicentral hidroeléctrica Arroyón I y luego verterlas en la Cuenca de la Derivadora Trasvase Sabanalamar Presa Pozo Azul.

La (Figura 2.9) representa el funcionamiento del Complejo Hidráulico del Valle de Caujerí.

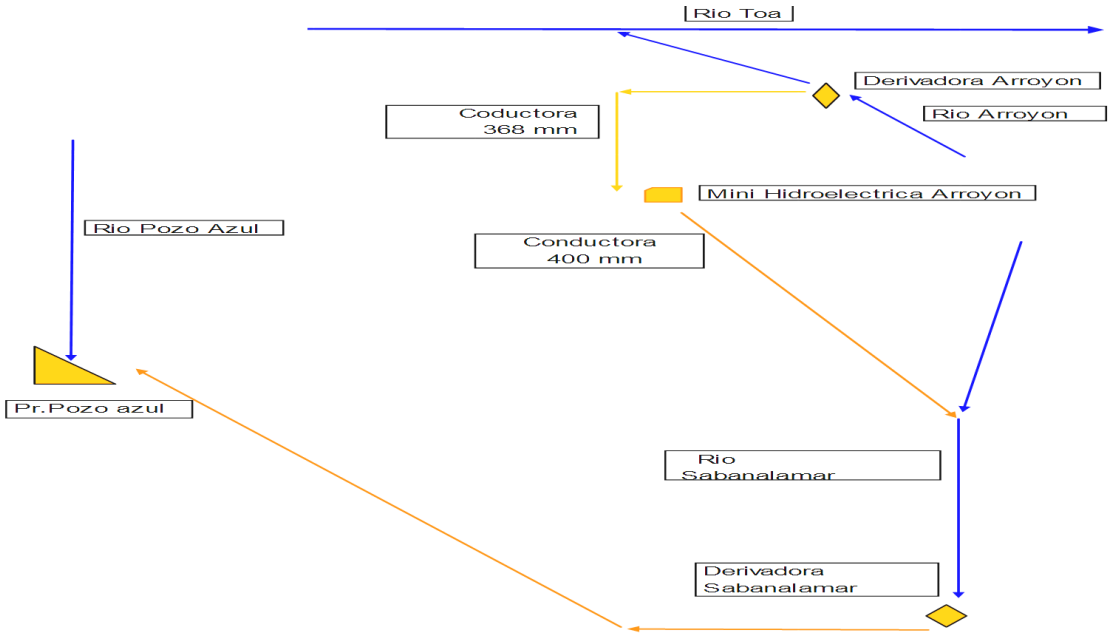

Fig. 2.9. Esquema Lineal representativo del funcionamiento del Complejo Hidráulico Valle de Caujerí.

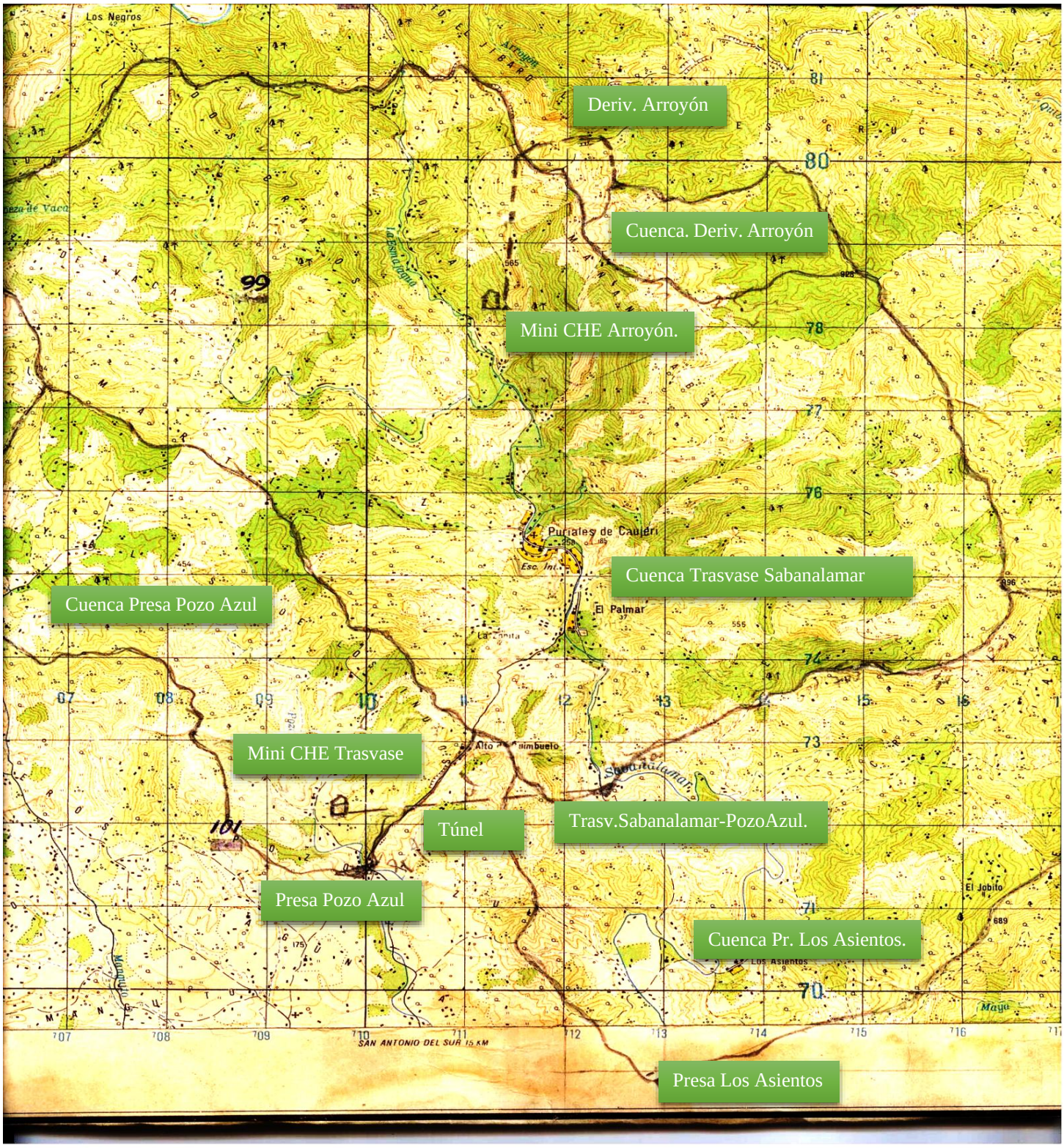

Figura 2.10. Imagen digital de la Hoja Cartográfica 1: 10 000. Fuente: Iván Gómez Ojea.

A continuación, se muestran los parámetros morfométricos de los cierres señalados en la (Figura 2.9).

Tabla 2.1. Parámetros morfométricos de los cierres.

Ríos	**Tipo de Obra**	**Coordenadas**		**Parámetros Morfométricos**							
		N	**E**	**Ac Km^2**	**Hm (m)**	**Yc (‰)**	**LC (m)**	**Lr (Km)**	**Yr (‰)**	**Dd (Km/Km^2**	**∑ lr (Km)**
Río Arroyón	Deriv.	180.1	712.5	4.9	800	234.7	175	4.6	43.48	3.18	11
R Sabanalamar	Presa	168.56	713.23	73.50	460	377	272	25. 8	10.7	2.04	150
R. Sabanalamar	Der.Tras	172.5	712.4	55.8	511						

Fuente: Iván Gómez, 2017.

Capítulo III

Capítulo III. Estudio Hidroeconómico circunscripto a la Hidroenergía

3.1. Características técnicas de la presa Los Asientos.

El cierre de la presa está ubicado en la cota 132.20 msnmm, zona pre montañosa, presentando su cuenca un relieve irregular con grandes elevaciones y ondulaciones a toda extensión, además de poseer márgenes abruptas

Tabla 3.1 Parámetros técnicos de la presa Los Asientos.

	Cotas (m)	**Área**		**Volumen(hm³)**	**Altura(m)**
		Ha	Km²		
N.A.Máximas	176.9	148.0	1.48	22.41	44.90
N.A.Normales	173.3	130.0	1.30	17.50	41.30
N.A.Muertas	149.0	13.90	0.153	0.50	17.00
Área media según curva		72	0.754	**Altura Total** 44.90 m	

3.2 Características Geológicas.

La cuenca generalmente está estructurada por tres formaciones geológicas agrupadas en diferentes edades como se manifiesta a continuación:

- Formación Río Macio, del complejo aluvial.
- Formación La Farola, del complejo de las rocas del Cretácico.
- Formación Cilindro, aparece específicamente en la zona del embalse y también del Cretácico.

En el vaso del embalse se encuentran capas aluviales. Dentro de las formaciones físico-geológicas presentes es necesario tener en cuenta los deslizamientos (existentes y en potencia) encontrándose en dos zonas este fenómeno. La primera ubicada aguas arriba del cierre, donde la intensidad de fracturación rocosa ha provocado inestabilidad en los taludes, para solucionar este problema debe dársele estabilidad mediante bermas cuyos volúmenes excavados se colocarán al pie de esas

zonas. La segunda también ubicada aguas arriba del cierre puede considerarse estabilizada.

Las pérdidas por filtración tienen un valor de 100 000 m^3 al año.

3.3 Parámetros Hidrológicos.

Los parámetros hidrológicos fundamentales para llevar a efecto el trabajo en cuestión, fueron obtenidos del estudio hidrológico elaborado por el ing. Iván Gómez Ojea, el cual sustenta sus análisis sobre la base de los métodos propuestos por José Luis Batista (escurrimiento medio) y V. Raziano (coeficiente de variación) a partir de las condiciones reales de escurrimiento natural, así como el alterado en cada cuenca. (Ver Tablas 3.2 y 3.3).

Tabla 3.2 Parámetros del escurrimiento medio alterado.

Parámetros del escurrimiento medio alterado	Valores
Coeficiente de variación del escurrimiento medio alterado (Cv)	0.74
Coeficiente de asimetría (Cs)	2 Cv
Escurrimiento medio hiperanual alterado (Wo a)	24.342 hm^3/año
Escurrimiento al 75 % de probabilidad (W75 a)	13.565 hm^3/año
Lluvia Media (Po)	1590.000 mm
Módulo del escurrimiento liquido alterado (Moa)	10.900 l/s/km^2
Módulo del escurrimiento Sólido (Ms)	162.300 T/ km^2/año
Evaporación media (Estación El Toro)	1687 .000 mm / año

Fuente: Ing. Iván Gómez, 2017.

Tabla 3.3. Distribución típica del escurrimiento alterado en la presa Los Asientos.

U/m	Total	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
W_{75} hm^3	13.565	0.652	2.349	0.988	0.591	4.170	1.867	1.398	0.648	0.311	0.193	0.262	0.136
%	100	4.80	17.32	7.28	4.36	31.3	13.76	10.30	4.78	2.29	1.42	1.93	1.00

Fuente: Ing. Iván Gómez, 2017.

3.4 Regulación del escurrimiento alterado en la presa Los Asientos con uso múltiple [Hidroenergía, (85 %) y Riego (75 %)]

La regulación del escurrimiento del río Sabanalamar a través de la presa Los Asientos, juega un papel importante en la explotación de la infraestructura hidráulica creada, pues se encuentra en una zona pre montañosa, tiene influencia indisoluble las condiciones topográficas e hidrológicas así como los requerimientos de su principal usuario (riego), la conversión de energía hidráulica en energía eléctrica con caudales y cargas relativamente pequeñas, motivo por el cual la generación está ubicada a pie de presa, aprovechando las diferentes cargas creadas debido a los niveles que toma el agua en el reservorio, conservando un potencial hidroenergético almacenado, favorecido por los períodos de mayor escorrentía.

3.4.1 Determinación de la demanda planteada por los usuarios y su distribución interanual (Riego, Escurrimiento Ecológico e Hidroenergía) para diferentes períodos de generación. (24, 10,6) hrs/día.

Variante I

Con un régimen de explotación de 24 hrs/día, gasto de 1.60 m^3/ s. (Ver Tabla 3.4).

1. Mes de 31 días

1.600 m^3 / s * 24 / 24 (Horas de Trabajo) * 0.0864 * 10^6 seg. * 31 días = 4.285 hm^3 / mes

2. Mes de 30 días

1.600 m^3 / s * 24 / 24 (Horas de Trabajo) * 0.0864 * 10^6 seg. * 30 días = 4.147 hm^3 / mes

3. Mes de 28 días

1.600 m^3 / s * 24 / 24 (Horas de Trabajo) * 0.0864 * 10^6 seg. * 28 días = 3.871 hm^3 / mes

Tabla 3.4. Distribución interanual de la demanda planteada para 24 hrs / día en hm^3.

Usuarios	Total	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
Hidroener.	50.454	4.285	4.147	4.285	4.285	4.147	4.285	4.147	4.285	4.285	3.871	4.285	4.147
S/Riego	7. 00	0.565	0.273	0.656	0.565	0.425	0.184	0.712	0.712	0.678	0.771	0.803	0.656
Gasto Sanitario	0.805	-	0.07	0.070	0.070	0.070	0..070	0.070	0.070	0.105	0.105	0.105	-
Total	58.259	4.85	4.49	5.011	4.92	4.642	4.469	4.929	5.067	5.068	4.747	5.193	4.803

Variante II.

Con un régimen de explotación de 10 hrs/día, gasto de 1.60 m^3/ s. (Ver Tabla 3.5)

1. Mes de 31 días

$$1.600\ m^3/s \times 10/24(\text{horas de trabajo}) \times 0.0864 \times 10^6 \times 31\ \text{días} = 1.786\ hm^3/mes$$

2. Mes de 30 días

$$1.600 m^3/s \times 10/24(\text{horas de trabajo}) \times 0.0864 \times 10^6 \times 30\ \text{días} = 1.728\ hm^3/mes$$

1. Mes de 28 días

$$1.600\ m^3/s \times 10/24(\text{horas de trabajo}) \times 0.0864 \times 10^6 \times 28\ \text{días} = 1.613\ hm^3/mes$$

Tabla 3.5. Distribución interanual de la demanda planteada para 10hrs/día hm^3.

Usuarios	**Total**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	**I**	**II**	**III**	**IV**
Hidro	21.027	1.786	1.728	1.786	1.786	1.728	1.786	1.728	1.786	1.786	1.613	1.786	1.728
S/Riego	7. 00	0.565	0.273	0.656	0.565	0.425	0.184	0.712	0.712	0.678	0.771	0.803	0.656
Gasto Sanitario	0.805	-	0.07	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.105	0.105	0.105	-
Total	28.832	1.924	1.658	2.085	1.994	1.810	1.613	2.097	2.141	2.142	2.104	2.267	1.971

Variante III.

Con un régimen de explotación de 6 h/día, gasto de 2.03 m^3/ s. (Ver Tabla.3.6).

1. Mes de 31 días

$$2.03\ m^3/s \times 6/24(\text{horas de trabajo}) \times 0.0864 \times 10^6 \times 31\ \text{días} = 1.359\ hm^3/mes$$

2. Mes de 30 días

$$1.03 m^3/s \times 6/24(\text{horas de trabajo}) \times 0.0864 \times 10^6 \times 30\ \text{días} = 1.315\ hm^3/mes$$

3. Mes de 28 días

$$2.03\ m^3/s \times 6/24(\text{horas de trabajo}) \times 0.0864 \times 10^6 \times 28\ \text{días} = 1.228\ hm^3/mes$$

Tabla 3.6. Distribución interanual de la demanda planteada para 6 hrs/día hm^3.

Usuarios	**Total**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	**I**	**II**	**III**	**IV**
Hidro	16.00	1.359	1.315	1.359	1.359	1.315	1.359	1.315	1.359	1.359	1.228	1.359	1.315
S/Riego	7. 00	0.565	0.273	0.656	0.565	0.425	0.184	0.712	0.712	0.678	0.771	0.803	0.656
Gasto Sanitario	0.805	-	0.07	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.105	0.105	0.105	-
Total	23.805	1.924	1.658	2.085	1.994	1.810	1.613	2.097	2.141	2.142	2.104	2.267	1.971

Tabla 3.7 Resumen sobre la distribución de la demanda para diferentes períodos de trabajo.

Usuarios	**hrs**	**Total**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	**I**	**II**	**III**	**IV**
Hidro	24	50.454	4.285	4.147	4.285	4.285	4.147	4.285	4.147	4.285	4.285	3.871	4.285	4.147
	10	21.027	1.786	1.728	1.786	1.786	1.728	1.786	1.728	1.786	1.786	1.613	1.786	1.728
	6	16.00	1.359	1.315	1.359	1.359	1.315	1.359	1.315	1.359	1.359	1.228	1.359	1.315
Total	24	58.259	4.85	4.49	5.011	4.92	4.642	4.469	4.929	5.067	5.068	4.747	5.193	4.803
	10	28.832	1.924	1.658	2.085	1.994	1.810	1.613	2.097	2.141	2.142	2.104	2.267	1.971
	6	23.805	1.924	1.658	2.085	1.994	1.810	1.613	2.097	2.141	2.142	2.104	2.267	1.971

Nota: en la columna de usuarios donde aparece hidroenergía se encuentra la demanda planteada por la PCH Los Asientos, más la de los otros (usuarios) como aparece en tablas anteriores.

Determinación del coeficiente de regulación mínimo (∞ mín).

Puede apreciarse, en la (Tabla 3.7), distintas variantes que reflejan diferentes grados de regulación como se expresa a continuación.

Variante I. Para una demanda de 50.454 hm^3/año.

$$\alpha\,\text{mín} = \frac{\text{Rt}}{\text{Woa}} = \frac{58.259}{24.342}\,\text{hm}^3\text{año} = 2.39$$

Variante II. Para una demanda de 28.832 hm^3/año.

$$\alpha \text{ mín} = \frac{\text{Rt}}{\text{Woa}} = \frac{28.832}{24.342} \text{hm}^3/\text{año} = 1.18$$

Variante III. Para una demanda de 23.805 hm^3/año.

$$\alpha \text{ mín} = \frac{\text{Rt}}{\text{Woa}} = \frac{23.805}{24.342} \text{hm}^3/\text{año} = 0.98$$

Tabla 3.8 Resumen de los grados de regulación mínimo determinados.

Gasto (m^3 / s)	**Trabajo hrs/día**	**Esc (hm^3 / año)**	**Dem (hm^3 / año)**	**α mín**	**Regulación**
1.60	24	24.342	58.259	2.39	Imposible
1.60	10	24.342	28.832	1.18	Imposible
2.03	6	24.342	23.805	0.98	Imposible

El resultado de la determinación de los diferentes coeficientes de regulación mínimo, indica que la regulación independientemente de ser hiperanual, es imposible demostrado en las dos primeras variantes y antieconómica en la tercera. Sobre la base de estas conclusiones, con vista a demostrar la solución adecuada se plantean nuevas consideraciones.

3.4.2 Nuevas consideraciones en la determinación del coeficiente de regulación mínimo partiendo de una demanda de 23.805 hm^3 / año.

Con un régimen de trabajo de 6 hrs/día, vinculados todos los usuarios a la misma obra de toma y una demanda total de 23.805 hm^3 / año (Variante III), debe crearse un grado de regulación de 0.98, aunque es menor que 1, sigue siendo imposible, pues el volumen útil a que da lugar en el embalse es mucho mayor que el creado (17.5 hm^3), por tanto:

Teniendo en cuenta que las áreas de riego están ubicadas aguas abajo de la generación, puede considerarse en lo adelante como demanda total (hidroenergía =

21.027 hm^3 / año), la cual responde a 10 hrs de generación, suponiéndose que esta misma entrega, lleve implícito el volumen demandado por los usuarios restantes (riego y escurrimiento ecológico), de comportarse así, resultará lo siguiente:

1. Para 10 hrs de generación

$$\alpha \text{ mín} = \frac{\text{Rt}}{\text{Woa}} = \frac{21.027 \text{ hm}^3/\text{año}}{24.342 \text{ hm}^3/\text{año}} = 0.86$$

2. Para 6 hrs de generación

$$\alpha \text{ mín} = \frac{\text{Rt}}{\text{Woa}} = \frac{16.00 \text{ hm}^3/\text{año}}{24.342 \text{ hm}^3/\text{año}} = 0.66$$

Como la demanda sigue siendo mayor que el escurrimiento alterado al 75% de probabilidad (W 75% = 13.565 hm^3), la regulación resultante es hiperanual.

Cálculo de los parámetros de la regulación del escurrimiento.

Para el cálculo de los índices de regulación del escurrimiento alterado en la presa Los Asientos, se utilizará el Segundo Método estadístico de Kristski y Menkel el cual sustenta sus análisis en la adicción de Curvas de Probabilidades con el auxilio de los monogramas de Svanize, basándose en las características generalizadas del escurrimiento y la entrega, ofrecen resultados bien fundamentados, el proceso sigue los siguientes pasos:

Determinación de la garantía de cálculo.

1) Para 10 hrs de generación con una demanda de 21.027 hm^3/año.

$\text{Rr} = 7.805 \text{ hm}^3$

$\text{Rh} = 21.027 \text{ hm}^3$

$$\text{Gc} = \frac{(Rr \times gr) + (Rh \times gh)}{(Rr + Rh)} = \frac{(7.805 \times 75) + (21.027 \times 85)}{(7.805 + 21.027)} = \frac{2372.67}{28.832} = 82.29\ \%$$

2) Para 6 hrs de generación con una demanda de 16.00 hm^3/año.

$\text{Rr} = 7.805 \text{ hm}^3$

$\text{Rh} = 16.00\ hm^3$

$$\text{Gc} = \frac{(Rr \times gr) + (Rh \times gh)}{(Rr + Rh)} = \frac{(7.805 \times 75) + (16.00 \times 85)}{(7.805 + 16.00)} = \frac{1940.55}{23.74} = 81.7 \approx 82\%$$

Determinación del período de déficit relativo (dr).

Se aplica el principio de comparación directa entre el escurrimiento y la demanda planteada mes a mes de forma porcentual con igual garantía, además son anotados los casos en que el escurrimiento es menor que la demanda para ese mes. (Ver Tabla 3.9).

$Dr = \Sigma(Dem - W\ 75)\%$

Tabla 3.9 Relación entre el escurrimiento alterado al 75 % en el año medio seco y la demanda planteada en unidades relativas.

	Total	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	**I**	**II**	**III**	**IV**
W %	100	4.80	17.32	7.28	4.36	31.3	13.76	10.30	4.78	2.29	1.42	1.93	1.00
Dem	100	8.494	8.218	8.494	8.494	8.218	8.494	8.218	8.494	8.494	7.675	8.494	8.218
D-W	38.99	3.694	+	1.214	4.134	+	+	+	3.714	6.204	6.255	6.564	7.218

Solamente se dispone de un modelo de distribución, entonces la relación entre la componente anual y la entrega bruta del embalse puede expresarse:

$\text{Ba} = 10^{-2} \times \infty \times dc$ en la que:

dc = Déficit relativo del consumo que se obtiene al comparar la afluencia al 75% con el consumo, ambos por meses e igual a 38.99 %

$\text{Ba} = 0.3899 \times \infty$

Determinación del volumen útil del embalse.

1) Cálculo de la componente anual del volumen útil (βa).

La componente anual del volumen útil se determina en un año de cálculo para el cual la entrega anual bruta es igual al escurrimiento anual.

Teniendo en cuenta que el déficit determinado presenta un valor de 38.99 %, al comparar la demanda total con el escurrimiento por meses y el grado de regulación

mínimo obtenido (0.86), el cual debe oscilar entre (0.85 - 0.90); partiendo de este análisis y aplicando la expresión: $Ba = 0.3899 \times \alpha$ se obtendrán los siguientes resultados (Ver Tabla 3.11).

Tabla 3.10 Componente anual del volumen útil para diferentes grados de regulación.

α	0.85	0.86	0.90
B a = 0.3899 × α	0.3314	0.3353	0.3509

2) Cálculo de la componente hiperanual del volumen útil (βh).

En sentido general, la componente hiperanual es una función creciente de los parámetros Cv, g y α, para diferentes grados de regulación, un Cv = 0.74 y un Wo = 24.342 hm^3 y utilizando el mismo principio basado en los nomogramas (tablas), dispuestos para estos casos, los resultados son. (Ver Tabla 3.11).

$Bh = \int (Cv, g, \infty)$

Tabla. 3.11 Determinación de las componentes anual e hiperanual del volumen ùtil en unidades relativas.

Fórmulas		**Grado de regulación**		
		0.85	**0.86**	0.90
1	$B_a = 0.3899\ \alpha$	0.3314	**0.3353**	0.3509
2	G = 80 B_h (tabla)	0.9819	**1.0403**	1.2737
3	G = 82 B_h (Ponderada)	1.1051	**1.1719**	1.4393
4	G = 85 B_h (tabla)	1.2899	**1.3695**	1.6878
5	G 80 = $B_u = B_a + B_h$	1.3133	**1.3756**	1.6246
6	G 82 = $B_u = B_a + B_h$	1.4365	**1.5072**	1.7902
7	G 85 = $B_u = B_a + B_h$	1.6213	**1.7048**	2.0387

Con estos valores ya determinados, pueden conocerse los parámetros de la regulación del escurrimiento en la presa Los Asientos.

Determinación de las pérdidas desde el espejo libre del embalse.

Para darle cumplimiento a este aspecto, después de hacer un análisis sobre los diferentes métodos propuestos, como no se dispone de la información necesaria, el estudio ha sido realizado partiendo de la lámina de evaporación media obtenida en la Estación El Toro con un período de observación de 19 años (Em = 1687 mm / año) y el área media del espejo del embalse obtenida en la Curva de Almacenamiento teniendo en cuenta el grado de regulación, para ello se propone la aplicación de la siguiente expresión y cuyo resultado está reflejado en la (Tabla 3.12)

$$Pe = Em \times Am \times 0.8/1000$$

Donde:

Pe ------- Pérdidas por evaporación (Hm^3).

Em. ------- Evaporación media (mm/año).

Am -------- Área media del espejo de la superficie libre del embalse.

En el caso de las pérdidas por filtración, ha de emplease el dato propuesto por el estudio Geológico, el cual considera una pérdida por filtración de: $Pf = 0.10\ hm^3$/año

Pérdidas totales $Pt = Pe + Pf$.

Determinación de los parámetros de cálculo de la regulación del escurrimiento.

Tabla 3.12 Resumen de los índices de la regulación del escurrimiento determinados en la presa Los Asientos.

Fórmulas		**Grado de regulación (α)**		
		0.85	**0.86**	0.90
1	$B_a = 0.3899\ \alpha$	0.3314	**0.3353**	0.3509
2	G = 82 B_h Ponderada)	1.1051	**1.1719**	1.4393
3	Bu= Ba + Bh (82)	1.4365	**1.5072**	1.7902
4	$V_u = \beta_u \times$ Woa (hm^3)	34.97	**36.69**	43.73
5	$Vo = 0.5 \times V_u$ + Vaz	17.99	**18.84**	22.37
6	Pt = Pe +Pf	0.809	**0.909**	0.936

7	Vaz = Por Proyecto	0.5	**0.5**	0.5
8	Vt = Vu + V_{az}	35.47	**37.19**	44.23
9	Uo = α × W_o	20.69	**20.93**	21.91
10	R = U_0 - pt	19.881	**20.021**	20.974

Haciendo un análisis sobre el proceso de cálculo el cual dio lugar a la conformación de la (Tabla 3.12), considerando elementos reales, aún el grado de regulación obtenido sigue siendo imposible, aunque éste sea menor que la unidad, representa un volumen útil igual a (36.69 hm^3) que no es correcto por las razones siguientes:

1- El volumen útil del embalse ya está creado (17.50 hm^3).

2- Las condiciones topográficas para un embalse con esa magnitud, llevarían consigo inversiones muy costosas incluyendo pérdidas muchos mayores.

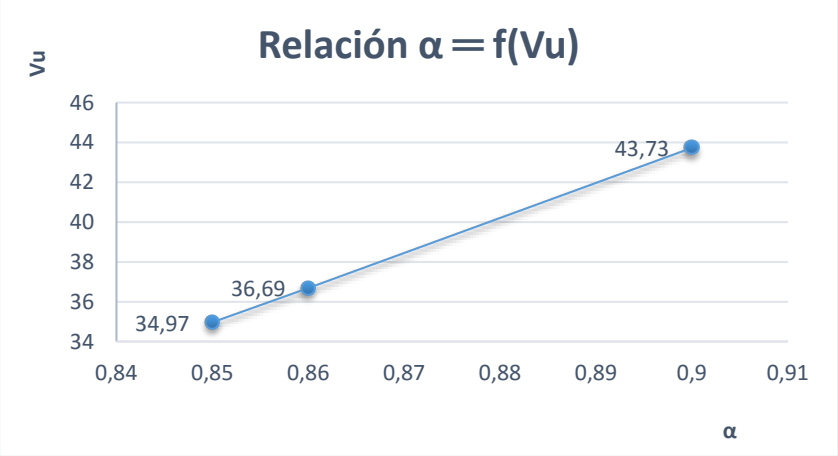

Gráfico 3.1 Relación $\infty = f(Vu)$.

Teniendo en cuenta las observaciones anteriores, se hace necesario realizar un nuevo análisis de la demanda a utilizar, considerando como premisa la solución del abasto de todos los usuarios y preservar las condiciones hídricas del embalse.

3.4.3 Determinación de la demanda planteada por la hidroenergía y su distribución interanual, para 6 horas de generación y un gasto de 2.03 m^3/ seg.

1. Mes de 31 días

$$1.03 \mathrm{m}^3/\mathrm{s} \times 6/24(\text{horas de trabajo}) \times 0.0864 \times 10^6 \times 31 \text{ días } = 1.359 \ \mathrm{hm}^3/\mathrm{mes}$$

2. Mes de 30 días

$2.03 \mathrm{m}^3/\mathrm{s} \times 6/24(\text{horas de trabajo}) \times 0.0864 \times 10^6 \times 30 \text{ días } = 1.315 \mathrm{hm}^3/\mathrm{mes}$

2. Mes de 28 días

$1.04 \mathrm{m}^3/\mathrm{s} \times 6/24(\text{horas de trabajo}) \times 0.0864 \times 10^6 \times 28 \text{ días } = 1.228 \mathrm{hm}^3/\mathrm{mes}$

Tabla 3.13. Demanda planteada para 6 hrs/día y 2.03 m ^{3}/seg.

Usuarios	**Total**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	**I**	**II**	**III**	**IV**
Hidro	16.00	1.359	1.315	1.359	1.359	1.315	1.359	1.315	1.359	1.359	1.228	1.359	1.315
S/Riego	7. 00	0.565	0.273	0.656	0.565	0.425	0.184	0.712	0.712	0.678	0.771	0.803	0.656
Gasto Sanitario	0.805	-	0.07	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.105	0.105	0.105	-
Total	23.805	1.924	1.658	2.085	1.994	1.810	1.613	2.097	2.141	2.142	2.104	2.267	1.971

Determinación de la componente anual del volumen útil (βa).

Tabla 3.14 Componente anual del volumen útil para diferentes grados de regulación.

α	0.65	0.66	0.70
B a = 0.3899 × α	0.2534	0.2573	0.2729

Determinación de la componente hiperanual (βh).

Tabla 3.15. Resumen de las componentes anuales e hiperanual del volumen útil**.**

Fórmulas		Grado de regulación		
		0.65	**0.66**	0.70
1	B_a = 0. 3899	0.2534	**0.2573**	0.2729
2	G = 80 B_h (tabla) Cv =74	0.3945	**0.4150**	0.4971
3	G = 82 B_h (Ponderada)	0.4380	**0.4596**	0.5450
4	G = 85 B_h (tabla)Cv = 74	0.5033	**0.5264**	0.6168
5	G 80 = B_u= B_a+ B_h	0.6479	**0.6723**	0.7700
6	G 82 = B_u= B_a+ B_h	0.6914	**0.7169**	0.8179
7	G 85 = B_u= B_a+ B_h	0.7567	**0.7837**	0.8897

Determinación de los parámetros regulatorios del embalse.

Tabla 3.16. Parámetros regulatorios del embalse.

Fórmulas			Grado de regulación (α)		
		U/m	0.65	**0.66**	0.70
1	B_a = 0. 3899 α		0.2534	**0.2573**	0.2729
2	B_h = G (85 %) B_h		0.4380	**0.4596**	0.5450
3	$\beta_u = B_a + B_h$		0.6914	**0.7169**	0.8179
4	$V_u = \beta_u \times W_o$	hm^3	16.83	**17.45**	19.91
5	V_{az} = Predeterminado	hm^3	0.50	**0.50**	0.50
6	$Vo = 0.5 \times V_u + V_{az}$	hm^3	8.92	**9.23**	10.46
7	$V_t = V_u + V_{az}$	hm^3	17.33	**17.95**	20.41
8	$Pt=P_e+P_f$	hm3/año	0.186	**0.357**	0.571
9	$U_o = \alpha \times W_o$	hm^3/año	15.82	**16.07**	17.04
10	$R = U_0 - P_t$	hm^3/año	15.634	15.713	16.469

Puede apreciarse en tabla anterior, que con el grado de regulación (α = 0.66), se cumple el volumen útil ya creado (17.45 Hm^3) y satisface la entrega bruta planteada,

es decir, esta regulación proporciona un mejor aprovechamiento del escurrimiento y una elevada seguridad en el abastecimiento a los consumidores planificados. (Ver Gráfico 3.2).

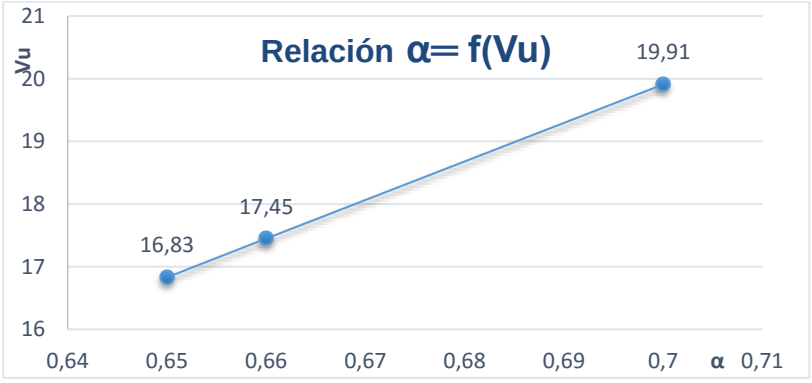

Gráfico 3.2 Relación $\boldsymbol{\alpha = f(Vu)}$**.**

3.5 Estudio Hidroenergético de la Pequeña Central Hidroeléctrica Los Asientos considerando la regulación del escurrimiento alterado en el embalse.

Parámetros generales del conjunto hidráulico.

La Pequeña Central Hidroeléctrica los Asientos, ubicada a pie de presa (Ver Figura 3.1)**,** se encuentra en las coordenadas (N: 713.000, E: 166.500), su tubería de salida mide 244 m y diámetro igual a 121.9 mm, material (abasto-cemento). La turbina instalada es del tipo Francis con una potencia de 500 Kw. (Ver figura 3.1)

Figura 3.1. Pequeña Central Hidroeléctrica Los Asientos.

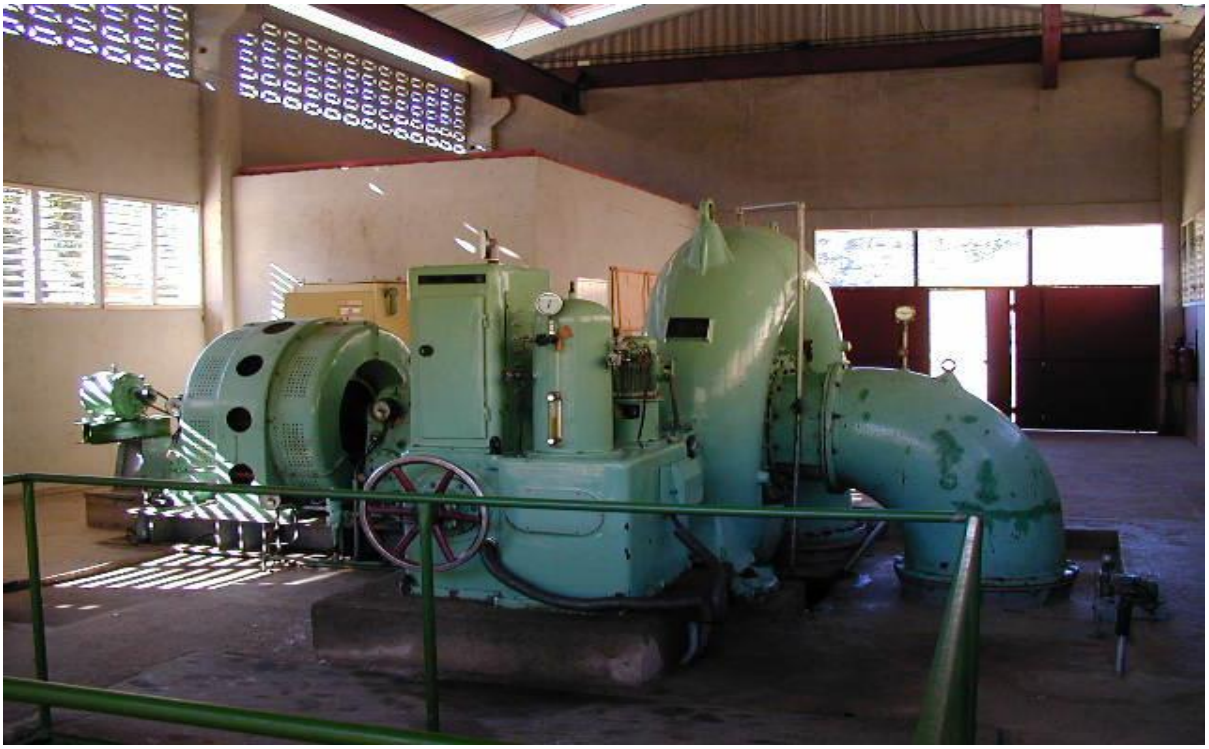

Figura 3.2. Turbina Francis.

Los parámetros hidroenergéticos son determinados por las proposiciones del Ing.S.Chanev en sus conferencias sobre Hidroeconomía, basadas en documentos publicados de la OLADE y la regulación de proyectos, específicamente cuando estos están ubicados a pie de presa.

Se producen diferentes cargas producto a las fluctuaciones de los niveles en la presa debido a los embalses y desembalses, dividiéndose en tres tipos: (Máxima, Mínima, Nominal), siendo ésta última la más producida y para su determinación han de emplearse las Investigaciones Topográficas específicamente, la curva de almacenamiento del embalse, como se expresa a continuación:

Tabla 3.17. Parámetros generales del conjunto hidráulico.

Parámetros	Valores
Cota de Fondo	132.20 m
Cota del Nivel de Aguas Muertas	149.00 m
Cota del Nivel de aguas Normales	173.30 m

Cota de la Corona	176.90 m
Cota de Ubicación de Central (Cu)	140.21 m
Escurrimiento Medio alterado	24.342 hm^3/
Carga Mínima = (149 – 140.21)	8.79 m
Entrega neta garantizada	16.00 hm^3/año
Gasto	2.03 m^3/s

3.5.1 Valores característicos de las diferentes cargas producidas en el embalse.

Carga Máxima ($H_{máx}$).

Es la carga máxima que se obtiene como diferencia entre la cota de Nivel de las aguas Normales (NAN) y la cota de ubicación de la PCH (C.U.), ésta representa una carga bruta.

$$\text{Hmáx} = \text{N.A.N} - \text{C.U}$$

Carga Mínima (Hmin).

Es la diferencia entre la cota de las aguas muertas (N.A.M.) y la cota de ubicación de la PCH (C.U.).

$$\text{Hmín} = \text{N.A.Mtas} - \text{C.U} = 149 - 140.21 = 8.79 \text{ m}$$

Carga Nominal (Hc).

La más frecuente en el transcurso de la explotación de la presa y su valor se determina con el empleo de la siguiente expresión:

$$\text{Hc} = 2(\text{Hmáx} + \text{Hmín})/3$$

Tabla 3.18. Determinación de las diferentes cargas que se producen en el embalse según el grado de regulación.

	Fórmulas	**U/m**	**Grado de regulación (α)**		
			0.65	**0.66**	0.70
1	Cota de NAN (Curva A/C)	m	173.00	**173.30**	175.00

2	Volumen Útil	hm^3	16.83	**17.45**	19.61
3	NAN – $C._{Fondo}$ + 3.8 m	m	44.6	**44.9**	46.6
4	$H_{máx.B} = NAN - C_u$	m	32.79	**33.09**	34.79
5	Pérdidas Hidráulicas (P_H) (5-10) % x $H_{máx.\ B}$ (5 %)	hm^3	1.64	**1.65**	1.74
6	$H_{máx.N} = H_{máx.} B - P_H$	m	31.15	**31.44**	33.05
7	Carga Nominal de Cálculo $H_c = \{2 \times (H_{máx.N} + H_{mín})\} / 3$	m	26.63	26.82	27.89

3.5.2 Determinación del gasto instalado en la Pche.

El gasto con el cual se diseña una obra hidroenergética de régimen subordinado, debe ser igual al gasto máximo requerido para el otro usuario, principio aplicado en el caso de estudio, donde la PCH Los Asientos está subordinada al sistema de riego, con la diferencia de que el volumen demandado por este último es menor que el de hidroenergía. (Ver Tabla 3.19)

Gasto demandado por la Pche Los Asientos igual a 2.03 m^3/s en un tiempo de trabajo de 6 hrs/día.

Tc =Tiempo de funcionamiento de Pche en el año medio seco = 6 hrs / día = 2190 hrs / año.

3.5.3 Determinación de las potencias en Kw, partiendo de la entrega garantizada.

La potencia es la relación entre el valor que adquiere la fuerza de gravedad, el gasto en m^3/s y las diferentes cargas que se producen en la presa, además tiene en cuenta las pérdidas (son aquella parte de la energía mecánica convertida en energía calorífica). Los coeficientes de eficiencia son:

- Eficiencia de la turbina: $\eta t = 0.85 \ldots \ldots 0.90$
- Eficiencia del generador: $\eta g = 0.90 \ldots \ldots 0.98$

Estos coeficientes son directamente proporcionales a la potencia, y en correspondencia con las cargas existentes en el embalse, del mismo modo surgen las

potencias (máxima, mínima y nominal). En la tabla 3.19 pueden observarse los resultados para diferentes grados de regulación.

Tabla 3.19. Cálculo de las potencias.

	Fórmulas	**U/m**	**Grado de regulación (α)**		
			0.65	**0.66**	0.70
1	Entrega Neta (R)	hm^3/año	15.634	**15.713**	16.469
2	Gasto de Diseño Gd = R / Tc	m^3/s	1.983	**1.993**	2.089
3	$Nmáx=9.81\times Ef_t\times Ef_g\times H_{máxN}\times G_d$ $Ef_t = 0.85 \quad Ef_g = 0.96$	Kw	494.47	**501.59**	552.67
4	$N_{nom} = 9.81\times Ef_t \times Ef_g\times Hc \times G_d$	Kw	422.72	**427.88**	466.39
5	$N_{mín} = 9.81\times Ef_t \times Ef_g\times H_{mín} \times G_d$	Kw	139.53	**140.23**	146.98

3.5.4 Determinación de la Energía Generada en kwh.

Para el cálculo de la energía, el referido autor parte de la utilización de las aguas aprovechables, así como su relación con las diferentes cargas en la presa, en este caso y de forma sencilla se considera como aguas aprovechables, la entrega neta garantizada, según fue determinada en el estudio sobre la regulación del escurrimiento alterado, por otro lado, ha de tenerse en cuenta las condiciones hidrológicas de trabajo (año medio seco 75%).

Es aplicada la expresión:

$$Em = (W \times Hc)/450 \text{ en kwh /año}$$

Donde:

W = Aguas aprovechables por la central.

Hc = Es la carga nominal de cálculos,

El valor 450, representa la presencia de una Pequeña Central Hidroenergética.

3.5.5 Determinación del Factor de Carga (T) en hrs.

El factor de carga es el tiempo del funcionamiento diario de la (PCH) en horas por el número de días que trabaja al año teniendo en cuenta los días de reparación y mantenimiento. De otra forma es la relación existente entre la energía producida anual en (Kwh) y la potencia instalada en (Kw). (Ver Tabla 3.20).

Tabla 3.20. Energía generada según el grado de regulación del escurrimiento alterado en la presa.

	Fórmulas	**U/m**	**Grado de regulación (∞)**		
			0.65	**0.66**	0.70
1	Pérdidas desde el embalse	hm^3	0.086	**0.257**	0.471
2	Aguas Aprovechables W = U - Pt	hm^3	15.634	**15.713**	16.469
3	Em = (W x Hc) / 450	Gwh/año	0.925	**0.963**	1.021
4	Factor de carga (T) T = Em / N máx	hrs/año	1870.69	1919.89	1847.39

La tabla 3.21 muestra los diferentes tipos de energía existentes en dependencia del horario de generación.

Tabla 3.21 Diferentes tipos de energías producidas.

Tipo de energía	Horario
Pico	6.00 am - 10.00 pm
Noche	10.00 pm – 6.00 am
Día	6.00 am - 6.00 pm

Los datos presentados en la tabla 3.22 se obtuvieron del Centro Provincial de Hidroenergía Guantánamo, reflejan la energía generada y el agua turbinada por la PCHE Los Asientos durante un período de 14 años.

Tabla 3.22 Control sobre el registro anual de producción de energía por la Peche Los Asientos.

Año	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2009**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Mwh/año	382.1	85.6	411.4	2152.2	1156.7	1141.8	1.886	1.3099	760.43	0.76	1682.1	1707.93	5648.59	6200.31
hm^3	7.20	1.61	7.78	40.54	21.79	16.3	0.151	0.021	12.75	0.013	28.223	28.656	94.775	104.032

Conclusiones

Conclusiones

1. Los parámetros de regulación del escurrimiento medio alterado determinado en la presa Los Asientos son:

- Grado de regulación: 0.66.
- Demanda: 16.00 hm^3/año.
- Garantía: 82%.
- Entrega neta: 15.71 hm^3/año.
- Componente anual: 0.26
- Componente hiperanual: 0.46.
- Componente del volumen útil: 0.72.
- Volumen útil: 17.45 hm^3.
- Gasto: 2.03 m^3/seg.

2. Partiendo de estos resultados se determinaron los índices técnicos de la Pequeña Central Hidroeléctrica Los Asientos:

- Grado de regulación: 0.66.
- Entrega neta garantizada: 16.00 hm^3/año.
- Potencia instalada: 501.59 KW.
- Producción de energía: 0.963 GWh/año.
- Horario de generación: 6 h/ día.

3. Queda demostrado que la regulación del escurrimiento alterado en la presa Los Asientos, bajo las condiciones de la demanda planteada y afluencia del río Sabanalamar para un año medio seco, están garantizados, pudiéndose presentar períodos más favorables.

4. El régimen de trabajo de la PCH depende de las posibilidades de regulación teniendo en cuenta la magnitud de la afluencia según el período de ocurrencia (Ver Tabla 3.22).

Recomendaciones

Recomendaciones

1. La generación se realizará 6 hrs/día (8.00 am – 1.00 pm) en caso de un año medio seco, si el año es de otra probabilidad más ventajosa, evidentemente las entregas podrán prolongarse y por ende la producción de energía. Esto necesariamente debe trabajar así producto al funcionamiento del Sistema de Riego.
2. Es necesario pensar en la ubicación y construcción de un regulador diario aguas abajo de la PCH, con el propósito de obtener mayor eficiencia económica en la producción energética.
3. Sólo se admitirá generar fuera del régimen de explotación previsto, cuando existan excedentes de agua en el embalse (períodos de mayor escurrimiento).

Bibliografía

Bibliografía

Rodríguez, J. B. (2003). Ingeniería Hidráulica y Ambiental. La Habana, Cuba.

Merlo, R. G. (1980). Hidroeconomía. La Habana, La Habana, Cuba : Pueblo y Educación.

Duranza, I. A. (1984). Hidroeconomía (Fundamentos y Cálculos). La Habana, Cuba: Ministerio de Educación.

Grigorov, S. (1984). Estudios Hidroeconómicos. . La Habana : Pueblo y Educación. .

World Wildlife Fund (WWF). (2010). Caudal ecológico: salud al ambiente, agua para la gente. Facts Sheet. Recuperado el Octubre de 2011

Soria, E. (2007). Energìa Hidáulica. Energías Renovables para todos, 20. Obtenido de www.energias-renovables.com

Arrastía. (13 de Junio de 2015). Desarrollo de la Hidroenergía. Obtenido de https://accounts.google.com/ServiceLogin?continue=https://sites.google.com/site/bmenergiahidroelectrica/desarrollo-de-la-energia-hidroelectrica&service=jotspot

Méndez. (4 de Mayo de 2017). Agencia Internacional de Energía. Obtenido de http://www. agencia. internacional. energia. com

Garrón, M. (19 de Enero de 2017). Banco de Desarrollo de Améric Latina. . Obtenido de http://www.caf.com

Alarcón, A. D. (Junio de 2018). El Sector hidroeléctrico en Latinoamérica:Desarrollo, potencial y perspectivas. División de Energia. Sector de Infraestructura y Energia., 62. Obtenido de http://www iadb org

Rosco. (25 de Marzo de 2018). Agencia Internacional de Energía . Obtenido de http://www.iea.com

Enrique., A. F. (1986). Segundo Forum Nacional de Energia. Mini Micro y Pequeñas Centrales Hidroelectricas. La Habana, Cuba.

Romero, O. R. (10 de Agosto de 2018). Voluntad Hidraulica. Una obra de la Revolucion cubana. . (E. V. Lobo, Ed.) Obtenido de Solvision. Telecentro Guantanamero: http://www.voluntad hidraulica.cu

Guerra, R. (3 de Febrero de 2016). Desarrollo Hidroeléctrico en Cuba . Obtenido de http://www.desarrollo.hidroléctrico.cuba.cu

Tarrado, C. M. (27 de 4 de 2017). La Hidroenergía en Cuba . Obtenido de La Hidroenergía en Cuba.htm: http://www.la hidroenergia.en cuba .cu

Ramos, M. (25 de Noviembre de 2018). Cuba prevé un incremento de las Fuentes Renovables de Energía. Obtenido de http://www.fuentes.renovables.energia.cu

Canel, D. (Febrero de 2019). Cuba debe aprovechar todas sus potencialidades. Vanguardia. Villa Clara. Cuba. Obtenido de http://vanguardia.htm.cu

Pérez, R. (2013). Diagnóstico hidrológico. Cuenca Sabanalamar. Guantánamo .

Ojea, I. G. (2017). Estudio hidrológico. Presa Los Asientos. . Guantánamo.

Chanev, S. (1884). Conferencias de Hidroeconomía. La Habana : Puebo y Educación.

Anexos

Anexos

Anexo 1. Programa de desarrollo.

Indicadores	2007	2008	2010	2015	2020
Potencia instalada, MW	62	70	100	270	500
Generación bruta anual, MWh	140 000	164 125	292 425	548 425	942 425
Volumen de hidrocarburos dejados de utilizar, toneladas equivalentes	29 400	34 466	61 409	115 169	197 910
Cantidad de CO_2 que se deja de emitir a la atmósfera, toneladas	91 000	106 600	190 100	356 460	612 300

Anexo *2.* Programa de modernización de 4 mini hidroeléctricas.

No.	Instalación	Provincia	I	II	III	IV	V
1	Piloto	Pinar del Río	270	1148	229,6	746,2	0,4
2	El Nicho	Cienfuegos	300	2028	405,6	1318,2	0,8
3	Arroyón I	Guantánamo	260	722	144,4	469,3	2,9
4	El Cuzco	Guantánamo	145	850	170	552,5	2,3
	Total		975	4 748	949,6	3 086,2	1,3

Leyenda: I. Potencia instalada, kW. II. Generación anual de electricidad, MWh. III. Ahorro de combustible, toneladas. IV. Cantidad de CO*2* que se deja de emitir a la atmósfera, toneladas. V. Tiempo de recuperación, años.

Anexo 3. Programa de puesta en marcha de instalaciones paralizadas.

No.	Instalación	Provincia	I	II	III	IV	V
1	Loma de la Cruz	Stgo. de Cuba	360	1 300	260	845	0,1
2	San Blas	Cienfuegos	2 000	2 000	400	1 300	0,17
3	Vicana	Granma	36	50	10	32,5	3,00
4	Barranca	Granma	200	144	28,8	93,6	0,20
5	Jagüeyón	Guantánamo	55	62,4	12,48	40,56	1,74
6	Canaria I	Granma	70,4	50	10	32,5	2,00
7	Canaria II	Granma	48	48	9,6	31,2	0,43
8	Cepillo	Granma	230	52	10,4	33,8	0,45
9	Batalla de Jobito	Guantánamo	30	97,9	19,58	63,63	0,04
10	Los Calderos	Guantánamo	30	12,2	2,44	7,93	20,49
11	Cinco Rancho	Granma	8	18	3,6	11,7	19,44
12	Los Negritos	Guantánamo	12	43,3	8,66	28,145	1,50
13	Maya	Guantánamo	30	59,6	11,92	38,74	2,14
	Total		31 09,4	3 937,4	787,48	2 559,3	0,6

Leyenda: I. Potencia instalada, kW. II. Generación anual de electricidad, MWh. III. Ahorro de combustible, toneladas, IV. Cantidad de CO2 que se deja de emitir a la atmósfera, toneladas. V. Tiempo de recuperación, años.

Anexo 4. Programa inversionista para el incremento de la capacidad instalada con las 21 prioridades.

No.	Instalación	Provincia	I	II	III	IV	V
1	Alacranes	Villa Clara	3 000	13 300	2 660	8 645	2,4
2	Minerva	Villa Clara	1 460	3 000	600	1 950	5,2
3	Lebrijes	S. Spíritus	1 260	3 000	600	1 950	6,5
4	Jimaguayú	Camagüey	800	3 000	600	1 950	4,3
5	Abreus	Cienfuegos	500	2 600	520	1 690	3,2
6	Juventud	P. del Río	900	4 000	800	2 600	3,6
7	La Palla	P. del Río	800	3 600	720	2 340	3,8
8	Tuinicú	S. Spíritus	640	2 600	520	1 690	2,7
9	Los Palacios	P. del Río	600	3 100	620	2 015	2,1
10	Jaibo	Guantánamo	900	2 300	460	1 495	4,4
11	La Felicidad	S. Spíritus	800	2 000	400	1 300	4,5
12	Najasa I	Camagüey	500	1 400	280	910	7,4
13	Najasa II	Camagüey	750	3 200	640	2 080	3,2
14	Porvenir	Camagüey	600	1 700	340	1 105	5,3
15	Pedroso	La Habana	800	2 500	500	1 625	3,4
16	La Yaya	Guantánamo	500	1 000	200	650	5,9
17	Mampostón	La Habana	1 250	3 000	600	1 950	4,5
	Subtotal		16 060	55 300	11 060	35 945	3,7
18	Peladeros I	Stgo. de Cuba	5 000	26 000	5 200	16 900	2,2
19	Peladeros II	Stgo. de Cuba	5 000	26 000	5 200	16 900	2,2
20	Guama Norte	Granma	3 000	13 000	2 600	8 450	3,0
21	Guamá	Stgo. de Cuba	1 100	8 000	1 600	5 200	1,7
	Subtotal		14 100	73 000	14 600	47 450	2,2
	Total		30 160	128 300	25 660	83 395	2,9

Leyenda: I. Potencia instalada, kW. II. Generación anual de electricidad, MWh. III. Ahorro de combustible, toneladas. IV. Cantidad de CO*2* que se deja de emitir a la atmósfera, toneladas. V. Tiempo de recuperación, años.