Universidad Central
Marta Abreu de Las Villas
Facultad de Química Farmacia

Tesis de Maestría

(Presentado como requisito para optar por el título académico de Máster en Seguridad Tecnológica Ambiental en Procesos Químicos)

Título: Evaluación de Riesgos Hídricos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande.

Autora: Ing. Juana Matilde Cortés Almeida

Tutor: Dr. Rodolfo Sánchez Morales

Santa Clara, diciembre 2013

No podemos dejar que el consumo ilimitado de los seres humanos
Decida que suerte correrá la naturaleza. Después de todo
Es nuestra propia suerte.

Tsetsegee Munkhbayar,
Ganador mongol del Premio Ambiental. Goldman 2007.

A la memoria de mi esposo, quien me incitó, hasta los últimos días de su vida, a la superación constante.

A la memoria de mis padres, por haberme enseñado a luchar para alcanzar lo deseado.

A mis hijos, por darme la fuerza para seguir viviendo cada día.

Quisiera agradecerle a todos los que de una forma u otra han contribuido a la realización de este trabajo, pero muy en especial:

***A mis compañeros** del Departamento Técnico de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos y muy en especial al MSc Luis Beatón, por proporcionarme el tiempo para la dedicarme a esta investigación.*

***Al MSc Roberto Cabrera**, por su sabiduría y por la ayuda brindada para realización de los Anexos con la utilización del SIG.*

***Al Ing. Diego Emilio Abreu**, por sus enseñanzas en el tema de Hidrología.*

***Al MSc Iván Brito**, por su contribución y tiempo brindado.*

***A mi Tutor y amigo de muchos años, Dr Rodolfo Sánchez**, por su tiempo y cooperación.*

***A mis amigos Susy Balmaseda y Rogelio Mora**, por darme el impulso final.*

***A mi familia**, especialmente a mis hermanas Viky, Beatriz, Gloria y hermano Onelito, por su ayuda, comprensión y apoyo.*

*A todos: **MUCHAS GRACIAS**.*

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 presente trabajo se expone la problemática ambiental que presenta la parte baja de la cuenca Sagua la Grande en la provincia de Villa Clara, describiéndose las características del área seleccionada, identificándose los principales peligros a que está expuesto el recurso agua y su repercusión en los recursos naturales suelo-agua-bosque, por lo que se realiza una Evaluación de Impacto Ambiental aplicando la Matriz de Importancia, lo que permitió evaluar los impactos más negativos que inciden en el área de estudio.

Con los resultados de la Matriz de Importancia se identifican y evalúan los peligros, riesgos y vulnerabilidades que afectan la parte baja de la cuenca, analizándose específicamente las afectaciones producidas al ocurrir inundaciones por intensas lluvias y por roturas de embalse. Al analizar los posibles impactos negativos para las distintas situaciones descritas se confeccionaron los Planes de medidas posibilitando la toma de decisiones para minimizar los efectos negativos.

SUMMARY

The basin hydrographical constitute the basic natural unit and logic for the use and integral and rational aprovecamiento of the resource dilute, in function of achieving a satisfaction of the demands of the production and the services in a sustained way, with the minimum of environmental deterioration for the agricultural, industrial administration and economic partner of a territory.

Presently work is exposed the environmental problem that presents the low part of the basin Sagua the Big one in the county of Villa Clara, being described the characteristics of the selected area, being identified the main dangers to that this exposed one the resource dilutes and its recovery of the resources natural floor-water-forest, for what is carried out an Evaluation of the Environmental Impact applying the Womb of Importance, what allowed to evaluate the most negative impacts that impact in the study area.

With the results of the Womb of Importance they are identified and they evaluate the dangers, risks and vulnerabilities that affect the low part of the basin, being analyzed the affectations produced specifically when happening floods for intense rains and for break of reservoirs.

When analyzing the possible negative impacts for the different described situations the Plans of Measures they were made facilitating the taking of decisions to minimize the negative effects.

INDICE

Resumen

Summary

Índice

Introducción	11
CAPÍTULO 1. REVISION BIBLIOGRÁFICA	
1.1. Cuencas Hidrográficas	15
1.2. Cambios observados por el clima y sus efectos	17
1.2.1 Comportamiento del cambio climático en Cuba y su influencia en los recursos hídricos	18
1.3. Peligros hídricos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande	19
1.3.1. Generación de residuos líquidos	19
1.3.2. Generación de residuos tóxicos peligrosos	20
1.3.3. Deforestación	20
1.3.4. Malas practicas agrícolas	21
1.3.5. Intrusión salina	21
1.3.6. Penetraciones del mar	21
1.3.7. Inundación por rotura de presas e intensas lluvias	21
1.3.7.1. Influencia de los cambios climáticos e hidrológicos de una cuenca	22
1.3.7.2. Peligros provocados por lluvias intensas e inundaciones sobre las cuencas hidrográficas	23
1.4. Los embalses y la protección de las cuencas	25
1.4.1. Estructuras que conforman los embalses	26
1.4.2. Embalses en la cuenca del rio Sagua la Grande	27

1.5. La Evaluación del Impacto Ambiental y sus principales herramientas	28
1.5.1. La Matriz de Importancia, una importante herramienta en el EIA	31
1.6. Análisis de Riesgo y sus componentes	31
1.6.1. Amenaza o Peligro	34
1.6.2. Vulnerabilidad y zonas vulnerables	35
1.7. Conclusiones parciales	36
CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO EMPLEADO	
2.1. Descripción del área de investigación	37
2.2. Búsqueda y procesamiento de la información requerida para el análisis de riesgos hídricos	38
2.2.1. Riesgos hídricos y cambios climáticos	39
2.2.2. Obras protectoras contra inundaciones en la cuenca baja del río Sagua la Grande	40
2.3. Aplicación de la Matriz de Importancia para la identificación y evaluación de peligros de origen natural y antrópico	40
2.4. Análisis de riesgos hídricos relacionados con los peligros de inundaciones por intensas lluvias y por rotura de presas	41
2.4.1. Valoración del peligro de inundación por intensas lluvias y rotura de presas	41
2.4.1.1. Valoración del peligro de inundación por intensas lluvias	41
2.4.1.2. Valoración del peligro de inundación por rotura de presas	45
2.4.2. Determinación de las zonas vulnerables a inundación por intensas lluvias y por rotura de presas	45
2.4.2.1. Determinación de las zonas vulnerables a inundación por intensas lluvias	45
2.4.2.2 Determinación de las zonas vulnerables a inundación por rotura de presas	47

2.4.3. Determinación y clasificación de zonas de riesgo por intensas lluvias o por rotura de presas	48
2.4.3.1. Determinación y clasificación de zonas de riesgo por intensas lluvias	48
2.4.3.2. Determinación y clasificación de zonas de riesgo por rotura de presas	49
2.5. Plan de medidas frente al riesgo de inundaciones por intensas lluvias y por rotura de presas	49
2.6. Conclusiones parciales	49
CAPITULO 3. ANALISIS DE RESULTADOS	
3.1. Descripción del área de investigación	50
3.2. Procesamiento de la información recopilada para el análisis de los riesgos hídricos	52
3.2.1. Comportamiento histórico de las variables climáticas e hidrológicas	52
3.2.2. Cambio climático y escenarios temporales para el análisis de riesgo	52
3.3. Aplicación de la Matriz de Importancia para la identificación y evaluación de peligros de origen naturales y antrópicas	54
3.4. Análisis de riesgos naturales relacionados con el peligro de inundación por intensas lluvias	56
3.4.1. Valoración del peligro de inundación por intensas lluvias	61
3.4.1.1. Comportamiento de las precipitaciones y escurrimiento	61
3.4.1.2. Comportamiento de los gastos en función de las precipitaciones	62
3.4.2. Determinación de las zonas vulnerables a inundación por intensas lluvias	63
3.4.3. Determinación y clasificación de zonas de riesgo de inundación por intensas lluvias	65
3.4.4. Plan de medidas frente a riesgo de inundación por intensas lluvias	67
3.5. Análisis de riesgos asociados al peligro de inundación por rotura de presas	70
3.5.1.Valoración del peligro de inundación por rotura de la presa Alacranes	71

3.5.2. Determinación de zonas vulnerables a inundación por rotura de presas	71
3.5.3. Determinación y clasificación de zonas de riesgo de inundación por rotura de presas	73
3.5.4. Plan de medidas frente a riesgo de inundación por rotura de presas	73
3.6. Conclusiones parciales	73
Conclusiones y Recomendaciones	75
Bibliografía	76
Anexos	
No 1. Esquema Lineal Cuenca Sagua la Grande	82
No 2. Red hidrográfica y obras hidrotecnias de la Cuenca Sagua la Grande	83
No 3. Pluviómetros representativos de la cuenca Sagua la Grande	84
No 4. Red hidrográfica desde la presa Alacranes y obras hidrotecnias (diques y canales) que conformas la cuenca Sagua la Grande hasta la costa.	85
No 5. Obras y Diques protectores contra inundaciones de la ciudad de Sagua la Grande, así como la Derivadora y sus canales de riego.	86
No 6. Puertas de Sagua.	87
No 7. Zonas de mayor peligro de inundación por intensas lluvias	88
No 8. Zonas vulnerables a inundación por intensas lluvias	89
No 9. Parámetros Técnicos de la presa Alacranes	90
No 10. Área de zonas afectadas por rotura de la presa Alacranes	91

INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales en deterioro son un factor importante que ha contribuido a la mala salud y baja calidad de vida. La gestión inadecuada de los recursos naturales, la excesiva producción de desechos y las condiciones ambientales vinculadas con efecto para la salud implican retos importantes para el desarrollo sostenible.

Las cuencas hidrográficas están sometidas a un intenso impacto, no todos beneficiosos en términos de su sostenibilidad. Como señala Andrade Pérez (2004), en ellas ocurren múltiples factores desequilibrantes que generan complicaciones causa efecto y que además, se desarrollan de manera acumulativa y sinérgica cumpliendo un rol critico en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, de aguas continentales y marinas, suministrando el hábitat de la mayor parte de las especies y una amplia gama de servicios ambientales.

Entre factores desequilibrantes se citan: la degradación del hábitat por la deforestación, la alteración de los cauces de agua, la modificación de los humedales, el agotamiento de acuíferos, el inadecuado uso de los suelos, la erosión y el agotamiento de nutrientes, el sobre pastoreo, la desertificación progresiva, las malas prácticas asociadas a la minería, la sobre explotación de los acuíferos, el empleo excesivo del agua para la agricultura, la concentración de la población en asentamientos humanos, la descarga de residuales líquidos y sólidos contaminantes y la ausencia de tratamiento adecuado, el mal manejo de la pesca, la introducción de especies exóticas, la perdida de la diversidad biológica en ecosistemas de agua dulce, por citar algunos de significación.

En un inicio, se polemizaba sobre el agua como un recurso inagotable, en la actualidad, resulta indiscutible su carácter finito. Sus proporciones han variado poco, el 97.5 % del agua total del planeta es salada, el 2.5% es agua dulce. Los ríos, lagos y embalses, contienen el agua que usa el hombre y los ecosistemas. Este solo equivale al 0.007% de toda el agua del planeta.

La vulnerabilidad representa la interfaz entre la exposición a amenazas físicas para el bienestar humano y la capacidad, de las personas y comunidades, para controlar tales amenazas, las que pueden surgir de una combinación de procesos físicos y sociales. En la vulnerabilidad humana se integran muchos procesos ambientales. Reducir la vulnerabilidad implica detectar los puntos en donde se puede intervenir en la cadena de causas entre la aparición de un peligro y sus consecuencias humanas (Clark y otros, 1998).

Como es conocido en las cuencas hidrográficas ocurren de forma sistemática dos tipos de impactos ambientales según su origen (fenómeno o peligro que o causa): unos naturales causados por fenómenos que ocurren en la naturaleza, sin que intervenga directamente la mano del hombre, y otros provocados por la actividad humana.

La Política Nacional del Agua (INRH 2012) contempla en su contenido, el desarrollo de la gestión integrada de los recursos hídricos. En esta se ratifica como objetivo de relevancia nacional, el continuar impulsando 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.

La cuenca hidrográfica del río Sagua la Grande, pertenece a la macro cuenca septentrional del centro de Cuba, ocupando gran parte de la porción central, oeste y norte del territorio. Presenta una extensión superficial de 2164 km^2 y en ellas se ubican de forma total o parcial siete de los 13 municipios en que se divide la provincia y en ella residen un total de 41 726 habitantes radicados en las ciudades de Santa Clara, Sagua la Grande y poblados cabeceras de los municipios que la conforman, lo que determina la singularidad de la unidad.

El territorio ocupado por la cuenca del río Sagua la Grande, en Villa Clara, presenta desde el punto de vista físico geográfico y ambiental una situación desfavorable, provocada por los años de explotación de sus recursos y las actividades económicas y sociales que se han desarrollado a lo largo del tiempo, además de la acción antrópica, por lo que se define como una cuenca endorreica fuertemente modificada.

El río principal Sagua la Grande, con una extensión de 163.0 km tributa al acuatorio marino al norte de la provincia. En su estratégica cayería de Sabana y Sabaneque, alberga la asombrosa cifra de 2515 cayos, por lo que muchas actividades socioeconómicas vinculadas con la pesca y la industria procesadora de pescado entre otras en la región, se relacionan directamente con la contaminación arrastrada por el río.

La parte baja de la cuenca en estudio tiene zonas vulnerables y de riesgos hídricos, lo cual ha originado una situación problemática desde hace tiempo, que se mantiene en la actualidad. Demostradamente, la ciudad de Sagua la Grande ha sufrido los efectos de las inundaciones provocadas por intensas lluvias, las que en reiteradas ocasiones alcanzaron niveles de agua entre 0.5 y 2.0 m de altura, lo que motivó el diseño y construcción de un sistema de protección para la misma.

El deficiente mantenimiento de los diques y canales que forman estos sistemas de protección, acentuado por la variabilidad de las precipitaciones debido a los efectos del cambio climático ha originado en fechas recientes (octubre 2012), efectos inesperados al igualarse en 24 horas los valores históricos promedios de precipitación ocurridos en un mes. Esto pudiera acentuarse en escenarios futuros, debido al cambio climático global, propiciándose la ocurrencia de efectos no deseados superiores en magnitud a los ocurridos precedentemente.

Otro de los problemas fundamentales en el área de estudio es la contaminación química de las aguas del río con metales pesados, causado por el vertimiento de la industria química dentro de la ciudad, además de la contaminación orgánica procedente de fuentes similares, como el Matadero Lorenzo González, la salinización de los suelos motivada por el alto grado de deforestación y la deficiente gestión de los sistemas de riego y drenaje, además de la deforestación de la faja protectora del embalse Alacranes y el cauce del río principal.

En el presente trabajo titulado "**Evaluación de riesgos hídricos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande**", se entiende por peligros hídricos a aquellos peligros ambientales, de origen natural y antrópico, que tienen una incidencia sobre la calidad y cantidad de los recursos hídricos, incluyéndose también a los peligros derivados de estos cambios de calidad y cantidad; como por ejemplo: salinización de cuerpos de agua e inundaciones.

Atendiendo a los aspectos antes señalados, se puede enunciar el siguiente problema científico:

Problema científico: Históricamente, la parte baja de la cuenca Sagua la Grande ha estado sujeta a riesgos de inundaciones provocadas por intensas lluvias o posibles rotura de presas, la contaminación proveniente de las acciones negativas del hombre y otros peligros de origen natural o antrópico relacionados con el agua. Esta situación se hace más compleja en el escenario actual de cambio climático.

A partir del problema científico enunciado, se plantea la siguiente hipótesis, la que, a su vez, nos ha permitido definir los objetivos de este trabajo.

Hipótesis: Si se realiza una evaluación de los peligros actuales relativos al recurso agua, analizando además el efecto del cambio climático global sobre estos, se podrían prever los riesgos a que se exponen las personas, infraestructura creada y el entorno natural en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande; así como, implementar medidas dirigidas a la mitigación de los riesgos identificados y las afectaciones asociadas a ellos.

Objetivo General: Evaluar los principales riesgos hídricos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande.

Como **objetivos específicos** se precisan:

- Valorar la problemática ambiental en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande mediante la identificación de los peligros hídricos de mayor incidencia.
- Analizar los peligros hídricos de mayor incidencia, en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande, incluyendo los posibles impactos del cambio climático sobre estos.
- Determinar las zonas vulnerables y de riesgo frente a los principales peligros hídricos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande.

- Realizar la propuesta de medidas para minimizar los riesgos frente a los peligros hídricos, y los daños asociados a estos, en el área bajo estudio.

En el desarrollo de la investigación se utilizan datos e informaciones, tales como: análisis técnicos precedentes, bases de datos históricas del INRH y el CITMA; así como los métodos de síntesis, deducción, abstracción, la observación y la consulta a expertos.

El trabajo consta de tres capítulos dedicados a:

Capitulo 1: "Revisión Bibliográfica". Se hace una búsqueda y recopilación de la bibliografía relacionada con el tema de estudio.

Capítulo II: "Procedimiento Metodológico empleado". Como parte principal del capítulo se describen los materiales y el procedimiento metodológico empleados para el desarrollo de la investigación.

Capítulo III: "Análisis de resultados". Se aplica el procedimiento metodológico elaborado. Se identifican los principales peligros hídricos, para los cuales se determinan las zonas vulnerables y de riesgos sobre la base de un análisis histórico y considerando, al menos cualitativamente, la posible influencia de los cambios climáticos en la cuenca baja del río Sagua la Grande. Además, se presentan Planes de Medidas para la eliminación o mitigación de los peligros seleccionados para ser evaluados en este trabajo.

En cada capítulo se realizan conclusiones parciales y como aspecto final se puntualizan las "**Conclusiones y Recomendaciones Generales**" derivadas de la investigación. Se incluye, igualmente, la descripción de la Bibliografía utilizada y se incorporan aquellos documentos anexos que se han considerado imprescindibles para la comprensión del trabajo desarrollado.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Cuencas hidrográficas

Existen diversas definiciones de cuencas hidrográficas. Por ejemplo, según el Departamento de Cuencas Hidrográficas del INRH en Cuba, estas constituyen el "Área territorial de drenaje natural donde todas las aguas pluviales confluyen hacia un colector común de descarga (INRH, 2009). Según este punto de vista, los límites de una cuenca están determinados por la línea de *divortium aquarum* o divisoria de aguas. Además, se plantea que las cuencas son espacios socio geográficos donde las personas y sus organizaciones comparten el territorio, sus identidades, tradiciones y culturas; socializan y trabajan en función de la disponibilidad de recursos. Es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre los terrenos, las profundidades del suelo y el entorno divisorio de la línea de las aguas.

En la cuenca hidrográfica se encuentran los recursos naturales y la infraestructura creada por las personas, en las cuales desarrollan sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables o no para el bienestar humano., a su vez está integrado por los siguientes subsistemas: **Biológico**, que integran esencialmente la flora y la fauna, y los elementos cultivados por el hombre. **Físico**, integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima (temperatura, radiación, evaporación entre otros). **Económico**, integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre, en agricultura, recursos naturales, ganadería, industria, servicios (caminos, carreteras, energía, asentamientos y ciudades). **Social**, integrado por los elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, salud, educación, vivienda, culturales, organizacionales, políticos, y legal.

El agua es el recurso integrador de la cuenca, pues las zonas altas garantizan la captación inicial de las aguas y el suministro de la misma a las zonas inferiores durante todo el año.

Las cuencas hidrográficas están sometidas a un intenso impacto, no todos beneficiosos en términos de su sostenibilidad. En ellas se pueden dar simultáneamente todos los impactos y fenómenos negativos.

Como señala Andrade Pérez (2004), en ellas ocurren múltiples factores desequilibrantes que generan complicaciones causa-efecto y que además, se desarrollan de manera acumulativa y sinérgica. Por ejemplo, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas.

Al ser unidades territoriales de planificación y ordenamiento, la cuenca hidrográfica es la base para el manejo integrado del recurso hídrico. En ella ocurren las observaciones del ciclo hidrológico, se

evalúan sus potencialidades y se define el desarrollo hidráulico; se establecen las medidas de alerta y prevención contra las inundaciones; el uso del agua para riego, para el consumo humano, entre otras también importantes. (García Fernández y Fontova de los Reyes, 2012).

Las cuencas hidrográficas suministran recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento de forma directa o indirecta a la población a través de los denominados servicios ambientales. Así, en las cuencas se desarrolla actividades por el hombre sobre sus recursos naturales como la agricultura, la industria, se captan el agua para el consumo humano, la depuración de contaminantes, se genera electricidad, se regulan los flujos de aguas naturales y se controlan inundaciones. También ocurren múltiples fenómenos naturales, unos que contribuyen al equilibrio ecológico y la sostenibilidad como la recarga de acuíferos, y otros a su deterioro como la erosión y la sedimentación.

Los procesos en las partes altas de la cuenca invariablemente tienen repercusión en la parte baja dando el flujo unidireccional del agua y por lo tanto toda la cuenca se debe manejar de manera integral, como una sola unidad. Al interior de la cuenca, el agua funciona como distribuidor de insumos primarios (nutrientes, materia orgánica, sedimentos) producidos por la actividad sistémica de los recursos. En las zonas de emisión de cauces, el agua regula el funcionamiento de los ecosistemas costeros marinos.

El movimiento de agua de lluvia y los flujos superficiales, a través de la red de drenaje, desde la parte alta de la cuenca hasta la parte baja promueve el desprendimiento y arrastre de las partículas (sedimentos orgánicos y minerales). El sistema hídrico también refleja un comportamiento de acuerdo a como se están manejando los recursos agua, suelo y bosques, así como a actividades o infraestructuras que afectan su funcionamiento.

El enfoque de cuencas permite el análisis de las interacciones entre el uso de la tierra, el agua y sus efectos ambientales. En la actualidad, no se concibe el manejo de cuencas de forma aislada, sino concebido integralmente, creándose al respecto diferentes organismos, asociaciones, consejos, comités de cuencas, etc. Estas entidades pueden ser organizaciones grandes o pequeñas o simplemente grupos informales de personas. Las organizaciones de gestión de cuencas varían en función y propósito de acuerdo con los mandatos y acuerdos legales usados para su establecimiento.

El primer Órgano de Cuenca en el mundo se creó en 1926 en la cuenca del río Ebro, (España y Francia) llamándose entonces Confederación Sindical del Ebro. A nivel internacional se han creado diferentes organizaciones, comités, consejos de cuencas, con el objetivo de fortalecer y planificar los

elementos de la gestión del agua, su aporte del desarrollo social y económico, así como la identificación de los retos para su administración.

En el mes de mayo de 1997 se constituyó en Cuba el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH), iniciándose un nuevo estilo de trabajo que posibilitó variar los conceptos del manejo integrado de cuencas, en la cual se integran todos los componentes naturales del medio ambiente, junto al desarrollo económico y social, en función de alcanzar el desarrollo sostenible.

En Cuba, las cuencas hidrográficas están caracterizadas por una densa red de más de 2200 ríos y arroyos de cursos cortos y de pequeños y medianos caudales, que se deprimen durante la época de seca hasta convertirse en corrientes fluviales intermitentes. (García Fernández, 2009).

García Fernández, (2012) significa que en el país se ha venido desarrollando una aproximación integral para contribuir a la mitigación, solución y satisfacción paulatina de las 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 Fernández, JM., Fontova de los Reyes, M: PNA 2012).

El Consejo Territorial de Cuencas de Villa Clara desde sus inicios decidió priorizar las cuencas más importantes del territorio, siendo designada la cuenca del río Sagua la Grande como de Interés Provincial. Ese nivel de prioridad obedeció a su complejidad económica, social y ambiental, el grado de afectación a sus recursos naturales y sus características generales.

1.2. Cambios observados en el clima y sus efectos.

Observaciones efectuadas en todos los continentes y en la mayoría de los océanos evidencian que numerosos sistemas naturales están siendo afectados por cambios del clima, particularmente en el aumento de la temperatura.

Con un grado de confianza medio, están empezando a manifestarse los efectos del cambio climático sobre el medio ambiente natural y humano, aunque mucho de ellos son difíciles de identificar a causa de la adaptación y de otros de origen no climáticos. (CESAM, 2009).

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático (IPCC, 1996), que fuera establecido conjuntamente en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con el mandato de analizar la información científica necesaria para abordar el Programa del Cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, así como de formular estrategias de gestión de respuesta analíticas, hay un alto nivel de coincidencia y abundante incidencia que indican que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero seguirán aumentando en los próximos decenios.

De proseguir las emisiones de gases de efecto invernadero de una tasa igual o superior a la actual, el calentamiento aumentaría y el Sistema Climático Mundial experimentaría durante el Siglo XXI numerosos cambios muy probablemente mayores a los observados durante el Siglo XX.

El grado de confianza actual es superior al del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos (IPCC, 2007) respecto a las pautas proyectadas del calentamiento y otros aspectos de escala regional, como la alteración de las pautas de vientos o de precipitaciones y ciertos aspectos de los valores extremos y de los hielos marinos. Los estudios realizados en el referido informe han permitido comprender de manera más sistemática la cronología y magnitud de los impactos vinculados a diferentes magnitudes y tasas de cambio climático.

1.2.1. Comportamiento del cambio climático en Cuba y su influencia en los recursos hídricos.

Los escenarios de cambio climático desarrollados dentro de la evaluación del impacto del cambio climático y las medidas de adaptación en Cuba, indican que las magnitudes de la temperatura media anual del aire pudieran incrementar paulatinamente hasta alcanzar magnitudes entre 1.6 ^{o}C y 2.5 ^{o}C para el año 2100. (Lecha Estela, 2011).

En el caso de las precipitaciones el panorama presenta mayor incertidumbre, pues cuando unos modelos indican la reducción de los totales anuales, otros producen incrementos. A pesar de esto último se estima que el incremento de la temperatura sea notable, que aún en los casos donde se proyectan incrementos de las precipitaciones, podría ocurrir una intensificación y expansión de los procesos de aridez y sequía. En el caso del nivel del mar, las proyecciones futuras indican incremento en el orden de los 8 a 44 cm. para el año 2050 y el de 20 a 95 cm. para el año 2100.

En concordancia con los escenarios climáticos adoptados, los impactos sobre los sectores seleccionados podrían ser notables. El hecho de que Cuba sea un archipiélago, hace que los impactos asociados con el ascenso del nivel del mar puedan clasificar como el más importante. Las proyecciones climáticas muestran, además, la posible intensificación y extensión espacial de la aridez, así como una mayor frecuencia de los procesos de sequía. En tales circunstancias la disminución de los recursos hídricos potenciales será notable, lo cual afectaría sensiblemente la relación disponibilidad – agua – demanda – entrega de agua y como consecuencia afectaría todos los usos del recurso, en especial la producción de alimentos y el consumo humano.

El incremento de la aridez tendrá un peso muy importante en la reducción de las áreas boscosas del país y por ende en la pérdida de la diversidad a ellos asociada. Lo anterior podría imponer la necesidad de realizar cambios sustanciales en el uso de la tierra y un mayor riesgo de inundaciones ante el peligro de lluvias intensas al disminuir la acción reguladora de la escorrentía debido a la baja cobertura boscosa.

Recursos naturales de gran importancia económica y social, incrementaría su vulnerabilidad ante la afectación de eventos meteorológicos extremos a causa del ascenso del nivel del mar. También

podrían verse afectado los recursos bióticos marinos, los que al reducirse limitarían su empleo en la alimentación a la población. Este hecho sería grave ante la situación de reducción de los rendimientos agrícolas a causa de las condiciones climáticas adversas.

Teniendo en cuenta los posibles impactos que pudieran ocurrir en nuestro país ante la ocurrencia del cambio climático, lo que tiene incidencia directa en el recurso hídrico, se pronostica un cambio en los patrones de comportamiento de las precipitaciones. Además de la modificación de la dinámica de la relación hidráulica de los acuíferos costeros con el mar, estos tendrían incidencia relativa en las disponibilidades cualitativas del recurso agua. (García Fernández, 2009).

Estos cambios se han visto reflejados en la provincia, con la incidencia de lluvias intensas producidas por eventos meteorológicos, por ejemplo, el Huracán Sandy (22 al 25 de octubre 2012), donde las máximas precipitaciones caídas en 24 horas (152.6 mm) casi igualaron el promedio histórico del mes (153.7 mm). (DPRH VC, 2012).

1.3. Peligros hídricos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande

Los principales peligros hídricos identificados en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande son discutidos a continuación.

1.3.1. Generación de residuos líquidos.

La carga contaminante de tipo orgánica dispuesta en la parte alta de la cuenca Sagua la Grande, repercute en la parte baja, proviniendo estas de las 57 fuentes contaminantes, identificadas en el Inventario Provincial. Esta carga, ascendiente al cierre del año 2012 a 2319 ton/año, lo que representa el 25.0% de la carga total dispuesta en la provincia. Las causas principales de dicha contaminación están dadas por el deterioro de los sistemas de tratamiento de residuales existentes, el mal diseño de los sistemas o la no existencia de los mismos, influyendo también la falta de conciencia ambiental y la pobre búsqueda de soluciones para la minimizar la agresividad de los residuales líquidos vertidos al medio. (CITMA, 2012)

Los principales generadores de carga contaminantes son los asentamientos humanos, entre los que se señalan Santa Clara (1171 ton/año), Santo Domingo (141 ton/año), Ranchuelo (129 ton/año), Esperanza (99 ton/año), Cifuentes (83 ton/año) y Manacas (71 ton/año).

En el área de estudio se ubican 13 focos contaminantes, los que disponen al medio carga contaminante de tipo orgánica, siendo el más representativo la ciudad de Sagua la Grande (193 ton/año) y el Matadero Lorenzo González (55 ton/año) que vierten sus residuales directamente al río (CESAM, 2012)

Tabla 1. Focos contaminantes en la Cuenca Hidrográfica Sagua la Grande.

No	Fuente	Cuerpo hídrico	Residual	Afectación
1	R. Albañal S. Grande	Río Sagua la Gde	Municipal	(Doméstico e industrial)
2	Matadero Res L. González	Río Sagua La Gde	Industrial	Excretas, Sangre
3	Fca "Cloro Sosa	Río Sagua La Gde	Industrial	Metales y S. Quím
4	Elect. Elpidio Sosa	Río Sagua La Gde	Industrial	Sust. Químicas
5	Ferrot. Sagua la Grande	Río Sagua La Gde	Industrial	Hidrocarb. Grasa
6	CAI Héctor Rodriguez	Río Sagua la Gde	Industrial	I (I.Azucarera)
7	Matadero Emp. MACUN	Manto Freático	Agropecuario	Excretas, Sangre
8	Fábrica de Bujías	Río Sagua La Gde	Industrial	Sust. Químicas
9	Hospital 9 de abril	Río Sagua La Gde	Doméstico	RD y Hospitalarios
10	Pasteurizadora Sagua la Gde	Manto Freático	Industrial	I (Lácteo)
11	EMPROMET "9 de Abril"	Río Sagua la Gde	Industrial	Grasa y Hidrocarburo
12	Residual Dom. Nueva Isabela	Subsuelo	Doméstico	D(excretas yR. Dom.)
13	Porcino Héctor Rodríguez	Canal de riego	Agropecuario	A (Excretas Porcinas)

1.3.2. Generación de residuos tóxicos peligrosos.

En la cuenca Sagua la Grande se ubican cinco fuentes contaminantes que disponen una carga orgánica expresada en contenido metálico equivalente a 280 ton/año. Según estudios realizados por especialistas del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos a todo lo largo del río, la carga contaminantes de estos ha ido en aumento (CESAM Cienfuegos, 2009).

De forma general, se observan valores elevados de todos los metales pesados analizados. En especial se observan valores muy significativos para el Cromo (Cr), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg), las cuales están asociadas a fuentes contaminantes existentes en la zona.

Para el Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Mercurio (Hg) se obtiene valores muy elevados propios de zonas ricas en estos metales o con altos niveles de contaminación. Además, eL Zin (Zn) y el Cobre (Cu) presentan valores típicos de sedimentos moderadamente contaminados. Estos metales suelen ser propios de pequeños procesos tecnológicos como fundiciones y recubrimientos metálicos de piezas, además de los propios residuales domésticos que a través del cauce del rió se vierten descontroladamente (CESAM Cienfuegos., 2009).

1.3.3. Deforestación.

Del área total de la cuenca, sólo un 4.8% está destinado a plantaciones y bosques naturales, ubicados una pequeña parte de estos en el área de estudio y en la zona costera del municipio de Sagua la Grande, donde se incluye la desembocadura del río principal del mismo nombre, constituida fundamentalmente por manglares El potencial de la faja protectora del río principal en esta área de la cuenca, no está cubierto totalmente. (CESAM, 2012).

1.3.4. Malas prácticas agrícolas.

La incidencia de factores limitantes tales como: compactación, mal drenaje, erosión, acidificación, salinidad y pedregosidad han sido agudizados por las practicas agrícolas inadecuadas, la sobre explotación de los suelos, la inutilización de los canales de drenaje, el uso excesivo de fertilizantes químicos y de maquinas agrícolas pesadas; así como la no aplicación de medidas de conservación y mejoramiento de los suelos por las diferentes ramas de la agricultura que tienen incidencia en la cuenca.

El aumento del empantanamiento a lo largo del lugar que ocupa el canal de desagüe en la red de drenaje de Macún, altera el funcionamiento ecológico y con ellos los niveles de escurrimiento de las aguas pluviales incitando el surgimiento de nuevos hábitats acuáticos por represamiento; así como en otros lugares, la conversión de zonas bajas a cenagosa (DPRH-VC, 2011).

1.3.5. Intrusión salina.

El área de estudio se enmarca dentro del tramo hidrogeológico costero Tramo VC-III-4 “Costero”, ubicado en el extremo norte entre la ciudad de Sagua la Grande y la costa. Las aguas subterráneas presentes en estas rocas colectoras se caracterizan por tener gastos generalmente mayores de 25 L/s y un alto grado de mineralización, con valores de Sales Solubles Totales mayor de 1g/L, lo que demuestra la presencia de la instrucción salina en esta zona de la cuenca. Por la salinidad que presenta el agua subterránea no se autoriza la explotación de este recurso y se dejan como un recurso ecológico, para proteger el acuífero de la cuña salina (del Toro Sánchez, 2009).

1.3.6. Penetraciones del mar.

Las penetraciones del mar constituyen un componente antropogénico debido a las transformaciones que de una forma u otra inciden en la susceptibilidad a la ocurrencia e intensidad a que ocurran estas, destacándose entre ellas: la intensa deforestación que caracteriza la faja litoral por eliminación de fajas de manglar en sitios de asentamientos costeros y la destrucción casi total del bosque y matorrales subcosteros en toda la extensión de la llanura colindante (CESAM, 2012).

1.3.7. Inundación por rotura de presas o intensas lluvias.

Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de esta, bien por desbordamiento de ríos por subida de las mareas por encima del nivel medio habitual. Las inundaciones son procesos naturales que se producen periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras de los valles de los ríos, tierras fértiles donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura en sus riberas (Colectivo de autores, 2002).

Desde la antigüedad, debido a la ocupación de zonas llanas costeras o de los valles fluviales, el hombre se ha encontrado con el reto de hacer frente a las inundaciones. En Egipto y Mesopotamia se construyeron importantes defensas fluviales como diques, canales para desviar las aguas y mejora de los cauces en los entornos urbanos. Las obras hidráulicas se desarrollaron también en Grecia y Roma, tanto para obtener agua para el consumo como para evitar riesgos a los asentamientos en entornos vulnerables.

Las inundaciones son una de las catástrofes naturales que mayor número de victimas produce en el mundo. Se ha calculado que en el Siglo XX unas 3.2 millones de personas han muerto por este motivo, lo que es mas de la mitad de los fallecidos por desastres naturales en el mundo en este periodo (Borge Ruiz *et al*., 2002).

El peligro fundamental que provoca las inundaciones son las intensas lluvias derivadas de la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos, de huracanes fundamentalmente, en el Continente Americano. Debido a la ubicación de Cuba en el Caribe, los ciclones tropicales y otras tormentas acompañadas de lluvias intensas amenazan el territorio en la temporada ciclónica y periodo lluvioso.

1.3.7.1. Influencia de los cambios climáticos e hidrológicos en las inundaciones de una cuenca.

Según informes sobre el comportamiento de las variables meteorológicas relacionadas con el cambio climático en los últimos años (IPCC, 1996; OMM, ONU, 2007; García Fernández, 2010; Centella *et al*, 2001), se ha venido incrementando la frecuencia e intensidad del período de lluvia, por lo que la ocurrencia de inundaciones en las zonas bajas se ha intensificado de forma significativa; siendo ésta, otra de las problemáticas que se presenta, significando un riesgo potencial de afectación a las personas y la infraestructura en general; con afectación a la población, la producción y los servicios.

El cambio climático es uno de los desafíos más complejos. Ningún país está inmune, ni por si solo puede afrontar los desafíos interconectados que plantea el cambio climático, entre los que se incluyen decisiones políticas controvertidas, un cambio tecnológico impresionante y consecuencias mundiales de gran alcance.

A medida que se calienta el planeta, cambian las pautas de precipitaciones y se multiplican los episodios extremos como sequías, inundaciones e incendios forestales. Millones de personas de las zonas costeras densamente pobladas de los países insulares perderán sus hogares a medida que se eleve el nivel del mar, según plantea el Informe sobre Desarrollo y Cambio Climático (2010).

Se define al tiempo como “el conjunto de todos los parámetros físicos y químicos de la atmósfera en un lugar y momento determinado. Estos parámetros se pueden medir (temperatura, velocidad del viento, cantidad de lluvia, etc.). El clima, no se puede medir, no se refiere a una realidad física sino virtual, es un promedio (Organización Meteorológica Mundial, 2008).

Es probable que aumenten los fenómenos meteorológicos extremos como los grandes huracanes, que obtienen su energía del calor de las aguas tropicales. Desde 1970 no ha crecido el número de huracanes por años, pero si se han duplicado los huracanes de máxima intensidad, como el Katrina, ocurrido en agosto de 2005. Este huracán de Categoría 5, arrasó la zona costera de Florida, Alabama, Misisipi y Luisiana (sobre todo la de Gran Nueva Orleans). Se perdieron por lo menos 1.336 vidas y más de 4.000 personas siguen aun desaparecidas. Las pérdidas económicas y los daños en las infraestructuras superan los 75.000 millones de dólares estadounidenses, 200.000 hogares y negocios quedaron gravemente dañados y más de 4000.000personas tuvieron que ser desplazadas. Este fue el huracán más costosos y uno de los cinco más mortales de los que han azotado Estados Unidos. (OMM, 2007).

1.3.7.2. Peligros provocados por lluvias intensas e inundaciones sobre las cuencas hidrográficas.

La principal causa de las inundaciones suelen ser las lluvias intensas, la gravedad de estas estará en función de diversos factores meteorológicos.

En las inundaciones producidas por huracanes, tormentas tropicales, bajas extratropicales, tormentas locales severas, intensas lluvias por otras causas e inundaciones costeras, no sólo intervienen las condiciones meteorológicas que pueden ocasionar lluvias intensas, sino también otros factores que influyen negativamente, pudiendo agravar en extremo sus consecuencias. Entre estos factores se encuentran: (a) las obstrucciones en los desagües naturales o artificiales, entre otras causas por el cúmulo de gran cantidad de sedimentos, piedras, árboles y otros materiales que reducen sus capacidades de circulación; (b) las características de los terrenos montañosos; (c) el estado técnico y de mantenimiento de las obras hidráulicas en especial, de los embalses y micro embalses, pudiéndose originar fallas en sus cortinas y mecanismos de seguridad; (d) la construcción sin previa compatibilización, de viales u otras obras civiles pueden influir negativamente en los drenajes naturales.

Las lluvias asociadas a estos fenómenos meteorológicos, pueden ser intensas durante un largo período y sus efectos pueden traducirse rápidamente en inundaciones fluviales.

La pérdida de vidas y las afectaciones atribuías a las mismas, después de la ocurrencia de estos fenómenos, constituyen los principales daños. Por este motivo, existe la tendencia a menospreciar los daños que pueden ser consecuencia directa de las lluvias, por lo que es conveniente reconocer que aún cuando no se hayan producido inundaciones fluviales, las aguas que penetran en las edificaciones y viviendas producto de las lluvias, atacan los cimientos y las estructuras, causando enormes daños

Esta situación se agrava cuando las intensas lluvias se producen en un intervalo de tiempo corto, lo que obliga a una respuesta rápida.

El análisis anterior permite comprender las principales consecuencias de las inundaciones:

- Destrucción de viviendas, en algunos casos dependiendo de sus características constructivas, las que pudieran ser arrastradas por las corrientes de agua.
- Destrucción parcial o total de la infraestructura vial, incluyendo puentes, lo que provoca la inutilización de carreteras y caminos, y por consiguiente, la incomunicación de determinadas comunidades.
- Deslizamientos de tierra pudiendo dejar sepultadas a cientos de personas y recursos que no hayan sido evacuados hacia lugares seguros, generalmente en lugares más altos.
- Destrucción de los sistemas de recolección de residuales líquidos, entre ellos los alcantarillados y fosas principalmente, por lo que las aguas residuales pueden contaminar las aguas limpias y provocar elevadas concentraciones de bacterias coliformes de origen fecal y con ello aumentar los riesgos de epidemias.
- Daños de consideración a los sistemas de riego, producto a la sedimentación y erosión, especialmente en los canales de drenaje.

Este factor destructivo de las inundaciones, considerado un efecto directo de estos fenómenos, no puede obviarse, por cuanto en los últimos años ha representado la principal causa de muerte para nuestro país.

En el Informe Mundial sobre Desastres (1999), suministrado por la Federación Internacional de la Cruz Roja y la Media Luna Roja, se puede apreciar que entre las principales afectaciones de los desastres naturales, en el período comprendido de 1972 a 1996, las inundaciones ocuparon uno de los primeros lugares en el planeta, y aunque en el mismo no se tienen en cuenta las estadísticas de los ciclones, las cifras brindadas como promedio anual, son altamente ilustrativas por su mensaje; 12 846 muertes, 65 876 497 afectados y daños por valor de $24 984 795 USD.

Respecto a las micropresas, los diques y otras obras hidráulicas para el riego y drenaje, es preciso tener en cuenta que son muy vulnerables a las grandes avenidas producidas por las intensas lluvias, en especial en las cuencas hidrográficas, por lo que se requiere realizar un estudio bien fundamentado del escenario que se crearía en la zona por el impacto del referido fenómeno y derivado del mismo, prever qué medidas adoptar y en que momento, a fin de que el daño sea mitigado lo más posible.

De acuerdo a lo planteado por IPCC (2007), entre los impactos previstos para el siglo XXI en el recurso agua “las áreas afectadas por la sequía probablemente se extenderán. La frecuencia de eventos extremos de precipitaciones se elevará, ocasionando aumento del riesgo de inundaciones” por lo que el peligro de la ocurrencias de intensas lluvias será mayor.

Como consecuencias de los efectos del Cambio Climático y sus posibles impactos en los recursos hídricos en el archipiélago cubano, se pronostica una mayor incidencia en la ocurrencia de eventos extremos, en las disponibilidades cuantitativas del recurso agua y en el deterioro de la calidad de las mismas.

Asociado a los eventos hidrometeorológicos, según el análisis realizados en el "Estudio preliminar de peligro, vulnerabilidad y riesgo en los escenarios de Villa Clara" (CITMA-VC, 2008), los meses más peligrosos son agosto, septiembre y octubre, mientras que junio y julio son los de menos incidencia de ciclones tropicales. De igual forma, se considera que los ciclones tropicales que provienen del Atlántico, si cruzan paralelo a la costa o sobre tierra, son muy peligrosos por los vientos y lluvias, pero fundamentalmente por las penetraciones del mar. Los ciclones tropicales que provienen del Caribe, si cruzan al oeste o sobre la localidad, son muy peligrosos por los vientos y lluvias, y al rebasar la costa, ocurrirán penetraciones del mar.

1.4. Los embalses y la protección de las cuencas.

El embalse es una gran masa de agua depositada en una depresión u hondonada del terreno. Este depósito de agua se forma en lugares donde las fuerzas geológicas han actuado de tal forma que la depresión del terreno impide la salida total del agua de su cuenca. (Cárpoforo Olivares, 2010).

El hombre ha construido embalses desde la antigüedad, pero no ha sido hasta muy recientemente cuando este tipo de construcciones ha tenido un auge considerable. La creciente demanda de agua y energía hidroeléctrica, así como las múltiples aplicaciones adicionales de los embalses ha impulsado considerablemente su construcción.

En el mundo actual, las represas destinadas a producir energía hidroeléctrica son las que resaltan más por ser las de mayor tamaño. Estas son cada vez más altas y anchas, lo que ha permitido almacenar una cantidad cada vez mayor de agua.

Los embalses son estructuras de construcción de mucha utilidad. En el control de inundaciones previenen los daños causados por desbordamientos durante la creciente, en protegiendo poblaciones y áreas cultivadas o industriales. (Carpóforo Olivares, 2012).

Según su origen, los embalses se clasifican en naturales o artificiales. Un embalse de origen natural (como un valle inundado) se lo puede clasificar de acuerdo con su tamaño, su profundidad, su localización geográfica como: lago, charca, laguna o estanque. Si es de origen artificial, puede ser cavado en el suelo (por ejemplo, en las gravas), o ser consecuencias de una represa en tierra

(estanque de piscicultura, por ejemplo), de piedras o de hormigón (por ejemplo, las grandes represas).

1.4.1. Estructuras que conforman los embalses.

García Fernández (2009) clasifica a los embalses, teniendo en cuenta su estructura, de la siguiente forma:

1. La presa, dique o represa, es la estructura de retención de las aguas y resiste un empuje. Debe ser por lo tanto, impermeable y estable, conjuntamente con su fundación y sus estribos.
2. El aliviadero o estructura de alivio o descarga de los excedentes que llegan al embalse, los cuales no se desean almacenar. Sus características más importante es la de evacuar con facilidad las máximas crecientes que llegan al vaso de almacenamiento. Su insuficiencia provoca el desborde del agua por encima de la cresta de la presa y el posible colapso de esta estructura si se trata de una presa de tierra o enrocado.
3. Las obras de toma son un conjunto de estructuras formado por una estructura de entrada o toma, un túnel o conducto a través de un estribo o de la presa y una estructura de salida. Este conjunto permite tomar las aguas del embalse y pasarlas al canal principal. Debe tener suficiente capacidad para descargar las aguas, abastecer a la zona de riego con el gasto necesario, de acuerdo a los requerimientos de los suelos para niveles mínimos del embalse.
4. En algunos embalses se construyen diques o presas adicionales, para el cierre de alguna depresión en la divisoria de aguas del vaso de almacenamiento. Algunos de estos diques se diseñan como diques fusibles, es decir, que pueden destruirse con el paso de las aguas sobre los mismos, aumentando así la seguridad de la presa principal.

Por esta razón, en la actualidad los sistemas de prevención en países desarrollados, se basan en diques, barreras metálicas, embalses reguladores y mejora de las capacidades de desagües de los cauces fluviales, ya que las inundaciones son muy avanzadas.

La defensa contra inundaciones marinas provocadas por las mareas está muy extendida en los países bajos, donde una red de diques regula las aguas tanto interiores como exteriores. Países como Venecia y Londres cuentan con defensas similares. Otras actuaciones han ido encaminadas a alejar el peligro de las ciudades mediante el desvío del cauce fluvial dotándolo a su vez de mayor capacidad de desagüe, como en Valencia o Sevilla.

No obstante a lo anterior, las inundaciones pueden producirse también como resultado de rupturas en las cortinas de las presas. De acuerdo con sus características, las áreas de inundación (territorios que se afectan a consecuencia de lluvias intensas y/o prolongadas que provocan desbordamientos de ríos, cañadas, presas e inundaciones en zonas bajas con poco escurrimiento), se clasifican en:

- **Peligrosas**: cuando la inundación no se produce de forma súbita y la altura de las aguas no sobrepasa un metro.
- **Muy peligrosas**: cuando la inundación se produce súbitamente y la altura de las aguas sobrepasa un metro.

Estas zonas de inundación aguas abajo de las presas constituyen el territorio que se calcula pueda ser inundado, y que se encuentra en un nivel inferior a la cortina de una presa (o micropresa), como consecuencia de la ruptura de la misma.

1.4.2. Embalses en la Cuenca del Río Sagua la Grande.

La Provincia de Villa Clara cuenta con 12 embalses, construidos desde 1917 hasta 1992. En la tabla 2, se muestran los embalses que se ubican en la cuenca Sagua la Grande: (INRH VC., 2013).

Tabla 2. Embalses de la cuenca Sagua la Grande.

No	Embalse	Término de construcción	NAN (hm^3)	NAM (hm^3)	Río principal
1	Alacranes	1972	352.40	680.0	Sagua la Grande
2	Arroyo Grande II	1972	12.0	19.80	Sagua la Grande
3	Palmarito	1991	80.0	85.47	Sagua la Grande

Aunque nunca ha ocurrido una rotura de embalse que haya provocado desastres significativos en el territorio central, si se pueden mencionar algunos ejemplos de situaciones tensas, como son los siguientes casos:

Embalse La Felicidad: Concluida en 1991, con un volumen total de 57.6 hm^3. En el año 1993 sufrió rotura una de sus losas del aliviadero a causa de lluvias de gran intensidad caídas en la parte norte de la provincia de Sancti Spiritus. (DPRHVC, 2008)

Embalse Lebrije: También en la provincia de Sancti Spiritus, se concluyó en el 1970 y recrecida en los años 1979-1980, con un volumen total de 129.0 hm^3. En el mes de junio del año 2002 sufrió rotura parcial en la berma seca del dique, provocada por la subpresión de la misma, al llenarse bruscamente el vaso al ocurrir intensas lluvias causadas por el huracán Irene. (DPRHVC, 2008).

Según el "Informe sobre las experiencias derivadas de las afectaciones de fenómenos meteorológicos acompañados por intensas lluvias" en el año 2008 (EIPH-VC, 2008), tras el paso de los huracanes Gustav e Ike por nuestro territorio, se reportaron afectaciones en los siguientes embalses:

Embalse Palmarito: Erosión en el talud húmedo. Afectaciones en el enrrocamiento. A los 10 días de ocurrido el fenómeno meteorológico aparecieron vetas húmedas en el talud seco en la zona de la obra de toma, lo que dio indicios de filtraciones.

Embalse Alacranes: Se observó humedecimiento en el talud seco en las zonas habituales. Esto ocurre cuando el nivel del embalse supera los 30 cm por encima del nivel de aguas normales (NAN).

Embalse Minerva: Se destruyó la sección de escala por el fuerte oleaje. Aumentó el deterioro del enrrocamiento y la erosión del talud aguas arriba de la cortina principal. En el dique auxiliar izquierdo, en el talud seco, se produjo un deslizamiento de 36.0 m de longitud y de profundidad entre 1 y 1.5 m, en una franja de ancho promedio de 6.0m. Este deslizamiento, según los especialistas, no ofreció peligro a la estabilidad del dique ni al embalse. Apareció una veta húmeda en el túnel seco del dique principal, en forma de media luna, donde la vegetación se mostró diferente en coloración y altura, temiéndose que ocurriera un deslizamiento.

Siempre que esto ocurre y se detectan las afectaciones, los especialistas de conjunto con las direcciones principales del territorio establecen los planes de rehabilitación en las obras para su mantenimiento en plazos mínimos, dado el caso de que en corto periodo de tiempo pudiera ocurrir otro evento meteorológico que pudiera aumentar el peligro de rotura de los embalses.

Es imprescindible la sistematicidad y el monitoreo mediante el Sistema de Vigilancia Técnica en las obras hidráulicas para corregir a tiempo las deficiencias que se observan en cuanto a su estado técnico para una debida protección y funcionamiento del mismo.

1.5. La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) y sus principales herramientas

Es fundamental una adecuada gestión para la protección ambiental, y para ello deben utilizarse adecuadamente los instrumentos que ella posee, ya que en muchos casos existen actualmente innumerables problemas ambientales a los cuales hay que darles solución para evitar que los daños sean mayores.

En este sentido es significativa la Evaluación del Impacto Ambiental asociado a la Evaluación de los Riesgos que se puedan presentar derivados de los peligros hídricos, de origen natural o antropogénico, y de la influencia del cambio climático en su intensidad y frecuencia de ocurrencia.

Por impacto ambiental se entiende el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea de base (medio ambiente), debido a la acción antrópica o de eventos naturales. (www.urbipedia.org. Impacto Ambiental 2010).

Según las fuentes consultadas, los impactos ambientales pueden ser clasificados por su efecto en el tiempo, en cuatro grupos principales:

- **Impacto Ambiental Irreversible**: Es aquel impacto cuya trascendencia en el medio, es de tal magnitud que es imposible revertirlo a su línea de base original. Ejemplo: Minerales a cielo abierto.
- **Impacto Ambiental Temporal**: Es aquel impacto cuya magnitud no genera mayores consecuencias y permite al medio recuperarse en el corto plazo hacia su línea de base original.
- **Impacto Ambiental Reversible**: El medio puede recuperarse a través del tiempo, ya sea a corto, mediano o largo plazo, no necesariamente restaurándose a la línea de base original.
- **Impacto Ambiental Persistente**: Las acciones o sucesos practicados al medio ambiente son de influencia a largo plazo, y extensibles a través del tiempo. Ejemplo: Derrame o emanaciones de ciertos químicos peligrosos sobre algún área geográfica ocupada por una comunidad de plantas y/o que se caracterizan por un alto grado de uniformidad ambiental.

Por tanto, el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) comprende la descripción pormenorizada de las características de un proyecto de obra o actividad que se pretenda llevar a cabo, incluyendo su tecnología y que se presenta para su aprobación en el marco del proceso de evaluación de impacto ambiental. Debe proporcionar antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación del impacto ambiental del proyecto y describir las acciones que se ejecutarán para impedir o minimizar los efectos adversos, así como el programa de monitoreo que se adoptará. (UCP "Félix Varela", 2012).

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es el proceso formal empleado para predecir las consecuencias ambientales de una propuesta o decisión legislativa, la implantación de políticas y programas o la puesta en marcha de proyectos de desarrollo.

Este tipo de evaluación se introdujo por primera vez en Estados Unidos en 1969 como requisito de la National Environmental Policy Act (ley nacional de políticas sobre el medio ambiente, comúnmente conocida como NEPA). Desde entonces, un creciente número de países (incluida la Unión Europea) han adoptado la EIA, aprobando leyes y creando organismos para garantizar su implantación.

El impacto ambiental de los peligros naturales, en particular la pérdida de servicios ambientales (agua, bosques, biodiversidad, función de los ecosistemas, etc.) también es difícil de evaluar y a menudo se subestima. Las pérdidas indirectas en el comercio, luego de un desastre, tales como la

pérdida de participación en el mercado, con frecuencia tampoco se perciben. (Defensa Civil de Cuba, 1999).

Una Evaluación de Impacto Ambiental suele comprender una serie de pasos (Centro Asiático de Preparativos de Desastres, 2012):

1. Un examen previo, para decidir si un proyecto requiere un estudio de impacto y hasta qué nivel de detalle.
2. Un estudio preliminar, que sirve para identificar los impactos clave y su magnitud, significado e importancia
3. Una determinación de su alcance, para garantizar que la EIA se centre en cuestiones clave y determinar dónde es necesaria una información más detallada.
4. El estudio en sí, consistente en meticulosas investigaciones para predecir y/o evaluar el impacto, y la propuesta de medidas preventivas, protectoras y correctoras necesarias para eliminar o disminuir los efectos de la actividad en cuestión.

Los Estudios de Impacto Ambiental deben incluir, en forma sistemática, una sección sobre la susceptibilidad a peligros y considerar medidas apropiadas para la reducción de desastres, con énfasis en la protección de la infraestructura de las líneas vitales y las instalaciones críticas. En programas rurales y las zonas propensas a la sequía, debe ponerse especial atención a la seguridad alimentaria y el fomento de técnicas agrícolas y de cultivos mixtos que reduzcan las pérdidas agrícolas relacionadas con los peligros naturales. (Colectivo de autores, 2002).
El análisis del impacto de género también debe tomarse en cuenta, destacando la integración entre la equidad de género, las metas del desarrollo sostenible y la reducción del riesgo.
Por otra parte, la Evaluación de impacto ambiental debe ser entendida como un procedimiento que tiene por objeto evitar o mitigar la generación de efectos ambientales indeseables (Santos Abreu, I y otros., 2012).

Los aspectos analizados acerca de las cuencas hidrográficas, los embalses y los riesgos naturales, la matriz de importancia para la identificación y evaluación de peligros de origen natural y antrópico; así como el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) como herramienta para la identificación y priorización de peligros y amenazas en el análisis de riesgos, sirven de soporte teórico para la concepción de la metodología que se presenta en el siguiente capítulo.

1.5.1 La matriz de Importancia una importante herramienta en el EIA

Como se expresó anteriormente, la Evaluación de Impacto Ambiental es el proceso de análisis encaminado a identificar, predecir, interpretar, valorar, prevenir y comunicar el efecto de un plan o proyecto sobre el medio ambiente interpretado en términos de salud y bienestar humano.

La Matriz de Importancia, permite identificar, prevenir y comunicar los efectos del proyecto sobre el medio. Con esta fase del proyecto evaluativo, termina lo que propiamente constituye la esencia del Estudio de Impacto Ambiental, llegando a una evaluación cualitativa, al nivel requerido para una Evaluación del Impacto Ambiental simplificada. (Conesa 2000).

La Matriz de Importancia permite obtener una valoración cualitativa, una vez identificadas las acciones y factores del medio que presumiblemente serán afectados, lo que nos permitirá obtener una valoración cualitativa al nivel requerido por una Evaluación de Impacto Ambiental simplificada. (CITMA, 1999)

La importancia del impacto, mediante el cual mediremos cualitativamente el impacto ambiental, en función, tanto del grado de ocurrencia o intensidad de la alteración producida por la ocurrencia de un peligro hídrico, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativos, tales como extensión, tipo de efecto, plazo de manifestación, persistencia, reversibilidad, recuperatividad, sinergia, acumulación y periodicidad.

1.6. Análisis de riesgos y sus componentes

En términos generales, riesgo es la probabilidad de que ocurra algo con consecuencias negativas. Una definición completa de riesgo tiene que comprender el concepto de exposición a un peligro. La exposición a un peligro puede ser voluntaria., pero también existe la exposición involuntaria a un peligro, como lo es, por ejemplo, la exposición a sustancias tóxicas presentes en el medio ambiente, en el aire que respiramos o en el agua y alimentos ingeridos (CITMA., 2011).

El Análisis de riesgos es el estudio de las causas de las posibles amenazas o peligros, los daños y consecuencias que estos puedan producir. Diferentes autores, presentan versiones similares del análisis de riesgos, aunque con determinadas diferencias, que son más del tipo metodológicas que conceptuales. Entre las diversas alternativas se utilizan instrumentos similares empleados en el análisis de diversos tipos de riesgos como es el caso de los riesgos tecnológicos (son asociados a la actividad humana y son percibidos como fenómenos controlables por el hombre o que son frutos de su actividad) y los riesgos ambientales (posibilidad de que ocurra un daño o catástrofe en el medio ambiente, debido a un fenómeno natural o a una acción humana).

Los riesgos son también clasificados en **antropogénicos** y **naturales**.

Los **riesgos antropogénicos** son producidos por actividades humanas, aunque las circunstancias naturales pueden condicionar su gravedad. Dentro de este tipo de riesgos se encuentra el relacionado con el peligro de contaminación, la cual se ha convertido en las últimas décadas, en un

problema de primer orden para las sociedades modernas. Un ejemplo significativo lo constituye el riesgo relacionado con el peligro de la contaminación por desechos peligrosos, cuya generación ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, sin que exista una solución integral para este problema. La carencia de capacidades con las exigencias técnicas requeridas para el tratamiento y la disposición final de desechos peligrosos y el insuficiente nivel de desarrollo de procedimientos para la caracterización de los mismos, imponen grandes limitaciones en la aplicación de soluciones de disposición segura y en la evaluación de alternativas potenciales de uso para los diferentes tipos de desechos. (Defensa Civil de Cuba, 1999). Aunque se reconoce, que un componente significativo de esta problemática está determinado por las fuertes limitaciones financieras, que prevalecen en la actualidad, se distingue la influencia de otros factores como el bajo nivel de disciplina tecnológica, el incumplimiento de las buenas prácticas de manejo y una deficiente Educación Ambiental por parte de los niveles de la organización productiva. (Borges Ruiz *et al.*, 2002).

Los riesgos naturales son los asociados al peligro de fenómenos geológicos internos, como las erupciones volcánicas y terremotos, o la caída de meteoritos. El número de desastres naturales no ha aumentado en los últimos años, pero al ir creciendo la población, el número de personas a los que afectan está siendo mayor cada vez. Por otra parte, el traslado de muchos habitantes a las ciudades hace que cuando se produzca cualquier incidente en la proximidad de una gran ciudad las consecuencias sean dramáticas.

Las inundaciones, aunque debidas a causas climáticas naturales, suelen ser peligros cuyos riesgos asociados dependen de la presencia y calidad de infraestructuras como las presas que regulan el caudal, o las carreteras que actúan como diques, que pueden agravar sus consecuencias. Los riesgos naturales de acuerdo a su clasificación pueden ser causado por peligros de diferentes tipos, sendo clasificados como: geológicos, meteorológicos e hidrológicos, geomorfológicos, climatológicos, biológicos y cósmicos.

En la actualidad, la explicación científica de riesgos naturales reconoce el papel fundamental del hombre como creador de riesgos debido a sus actuaciones poco acordes con los rasgos del medio físico donde tiene lugar. La balanza del riesgo se ha inclinado, durante las últimas décadas, del lado de la vulnerabilidad y exposición antrópica a los peligros naturales. Esta es la causa actual del incremento del riesgo ante los peligros naturales en muchas regiones. No es un problema de aumento de la peligrosidad; es el efecto de la imprudencia del ser humano a la hora de llevar a cabo acciones sobre el territorio (Olcina Cantos, 2010).

Los últimos decenios del siglo XX han sido pródigos en la manifestación de episodios naturales de rango extraordinario de consecuencias funestas para la población mundial. Se ha creado la impresión

de una mayor ocurrencia -todavía por comprobar- de eventos excepcionales, cuando lo realmente ocurrido es el incremento de la exposición de las poblaciones del mundo a los peligros naturales. Los umbrales de tolerancia ante los riesgos de la naturaleza han disminuido por el propio crecimiento de la población mundial y la ocupación intensiva del territorio. Se invaden espacios vulnerables a los peligros y, por tanto de riesgo, bajo la premisa del desarrollo colectivo permitiendo que los grupos sociales se tornen vulnerables a la más mínima manifestación de las fuerzas de la naturaleza.

El Análisis de Riesgo es un proceso técnico y científico por el cual los riesgos de una situación dada en un sistema son modelados y cuantificados (Ayuub, 2003). También es denominado como el estudio de las causas de las posibles amenazas y los daños y consecuencias que estas pueden producir.

Entre los Métodos para identificar los riesgos se encuentran los comparativos y los generalizados.

Métodos comparativos: Se basan en la experiencia previa acumulada en un sector industrial determinado. Son muy utilizados en el análisis preliminar de riesgos e incluyen el análisis histórico de accidentes, la lista de comparación y las normas y códigos de diseño.

Métodos generalizados: Se basan en los estudios de las instalaciones y procesos mucho más estructurados, desde el punto de vista lógico deductivo, que los métodos comparativos. Normalmente siguen un procedimiento lógico de deducción de fallos, errores, desviaciones en equipos, instalaciones, procesos operaciones, etc, que traen como consecuencia la obtención de determinadas soluciones para este tipo de eventos. Entre ellos se pueden citar: Análisis ¿Qué sucederá si? (What if?), Análisis de modalidades de fallos y efectos (FMEA), Análisis de Árbol de fallas (FTA), Análisis de Árbol de Eventos (ETA).

Otro de los métodos generalizados que se utilizan es el Análisis de peligros y operatividad HAZOP (Hazard and Operability), el que permite identificar los peligros asociados a una planta o parte de ella, tanto en la fase de diseño (ingeniería básica e ingeniería de detalle), como durante la operación de la planta. Generalmente se utiliza como herramienta en el análisis de riesgo en aquellas unidades u operaciones críticas donde los accidentes pueden revestir serias consecuencias (Santamaría y Braña, 1994).

Para el análisis de riesgo ambiental se utiliza:

- **El tratamiento probabilístico**: Analiza la consecuencia de los siniestros en función de la estimación de la frecuencia del suceso.
- **El tratamiento determinísticos**: En el que el análisis de la consecuencia del suceso se basa en las condiciones más desfavorables, incluso cuando su frecuencia estimada es baja.
- **Los índices estadísticos**: Se reflejan cuantitativamente los efectos de los sucesos sobre las instalaciones y equipos (no sobre las personas) o la sensibilidad de una instalación frente a un determinado accidente.

Para evaluar el riesgo ambiental se estudian los acontecimientos internos (originados dentro de las instalaciones propias) y los acontecimientos extremos de origen naturales (terremotos, inundaciones) o artificial (exposiciones, incendios ocurridos en industrias o vías de comunicación próximas) capaces de originar posteriores emergencias internas. (Cabezas Ares, A., Fernández Cuesta., C,. 2003).

El análisis de riesgo ambiental por lo general está enfocado o limitado a los riesgos que pudieran provocar al ambiente la ocurrencia de un evento no deseado en un proceso tecnológico.

1.6.1. Amenaza o Peligro.

Hay diferentes definiciones conceptuales de amenaza y peligro. Hazard define al peligro como la fuente de origen, una amenaza que puede causar un accidente. Otro esclarecimiento como la que brinda la Organización Meteorológica Mundial, lo clasifica como cualquier situación (acto o condición) que tiene un potencial de producir un daño, en términos de una lesión o enfermedad, daños a la propiedad, daños al ambiente o una combinación de estos. Dada su naturaleza puede ser potencialmente dañino para la vida de las personas, la salud o el medio ambiente. (OMM., 2006). De manera general se puede catalogar como algo que podría, pero no forzosamente, ocasionar un daño a una persona, a un bien inmueble o al ambiente.

El término más simple de amenaza está descrito a la posibilidad de que ocurra algún daño, por lo que de manera general lo relacionan al peligro. La amenaza se refiere al grado de certeza de ocurrencia de un evento particular. Usualmente esta basada en la frecuencia histórica.

Las evaluaciones de amenazas proveen información sobre la posible ubicación y severidad de fenómenos naturales peligrosos y sobre su probabilidad de ocurrencia dentro de un periodo especifico de tiempo y en un área determinada. Estos estudios se basan en gran medida en, información científica ya existente incluyendo mapas geológicos, geomorfológicos, topográficos y de suelos, datos climáticos e hidrológicos, fotografías aéreas e imágenes satelitales. (Flores Valdez, 2001).

La información histórica, obtenida tanto en informes escritos como por intermedio de las narraciones de quienes han habitado el área por mucho tiempo, también ayuda a categorizar los potenciales eventos. (INRH., 2008).

En la provincia de Villa Clara, según investigaciones realizadas, plasmadas en los Estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo, en los últimos se ha visto azotada por 29 organismos tropicales en el periodo 1986-2008, de ellos, cuatro depresiones tropicales, 19 tormentas tropicales y 16 huracanes, lo que han sido ejemplo de los peligros a que ha estado expuesto el territorio ante la amenaza de inundaciones provocadas por intensas lluvias. .

1.6.2. Vulnerabilidad y zonas vulnerables

El término **Vulnerabilidad** puede ser aplicado en diversos campos con distintas acepciones. Una de las definiciones es: la valoración del daño potencial a la vida humana y al ambiente, asociada a la probabilidad de que debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los valores expuestos, ocurran daños en la economía, la vida humana y el ambiente.(La Red. 1988). También se conoce como vulnerabilidad a la predisposición a daños de elementos expuestos (población, infraestructura edificada, redes, áreas de cultivo, etc) ante el impacto de un peligro.

Los estudios de vulnerabilidad estiman el grado de perdida o daño que pueda causar la ocurrencia de un evento natural de determinada severidad. Los elementos analizados incluyen poblaciones, instalaciones y recursos físicos tales como infraestructuras vitales, centros de producción, lugares de reunión pública, patrimonio cultural, actividades económicas y funcionamiento normal de la población. Las técnicas empleadas incluyen trazado de mapas de infraestructuras vitales y análisis sectoriales de vulnerabilidades para actividades tales como energía, transporte, agricultura, turismo y vivienda. (Colectivo de autores, 2002).

Independientemente de la magnitud de las variables representativas consideradas anteriormente, la capacidad de producir daños depende de la existencia de elementos vulnerables en la zona potencialmente afectada por los fenómenos peligrosos desencadenados a consecuencia de un accidente. Por ello se hace necesario establecer un modelo de vulnerabilidad capaz de cuantificar la magnitud de los daños esperados en las zonas de objeto de planificación (efectos) en función del valor de las variables representativas de los distintos fenómenos peligrosos (causa).

La actividad humana puede incrementar o reducir la vulnerabilidad de la sociedad y del medio, ya que las acciones antrópica pueden actuar como catalizadores de los procesos geológicos nocivos y favorecer que se den situaciones desfavorables para las personas y sus bienes. En este caso nos referimos a los riesgos inducidos: la desertificación, los incendios forestales, la contaminación hídrica, edáfica y aérea, la degradación del paisaje, la sequía, los desastres tecnológicos y ambientales, el agotamiento de los recursos geológicos y los riesgos relacionados con la actividad minera son algunos de los riesgos inducidos que pueden aparecer como consecuencia de la mala planificación o de un mal uso del territorio.

Las zonas vulnerables son todas aquellas que se encuentran expuestas a eventos naturales o andrógenos que pueden afectar los diversos usos de un área, considerándose entre las fundamentales: los cauces mayores de los ríos, las llanuras aluviales y las depresiones costeras con cotas inferiores al nivel medio del mar.

La información obtenida al analizar las amenazas y la vulnerabilidad de un área se integra en un análisis de riesgo, que es una estimación sobre las posibles perdidas ante un evento natural determinado.

1.7 Conclusiones Parciales.

1. Actualmente, se presenta un escenario de cambio climático donde se pronostica para Cuba la elevación de la temperatura media anual y del nivel del mar, así como una mayor probabilidad de sequías en el período seco y lluvias más intensas en período húmedo.
2. La cuenca Sagua la Grande ha sido declarada de Interés Provincial por su importancia económica, ambiental y cultural.
3. La parte baja de la cuenca Sagua la Grande está bajo la amenaza de varios peligros hídricos, algunos de los cuales se pueden manifestar de forma simultánea. El uso de zonas vulnerables para actividades antrópicas, aumenta la probabilidad de existencia de zonas de riesgo hídrico, principalmente frente al peligro de inundaciones.
4. La matriz de importancia es una valiosa herramienta que pude ser empleada para la categorización de los peligros hídricos en función de la magnitud de los impactos provocados por estos.
5. El análisis de riesgo asociado a los peligros hídricos permite la definición de zonas vulnerables, zonas de riesgos y la inclusión, al menos de forma cualitativa, de la influencia de los cambios climáticos pronosticados sobre los riesgos hídricos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande.

CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO EMPLEADO

En la presente investigación, se asume la siguiente definición de Cuenca Hidrográfica por responder a los fines del estudio realizado, considerándola como "el espacio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conduce sus aguas a un río principal, a un lago o al mar" (Jiménez, F., (2005).

Para el desarrollo de la evaluación de riesgos hídricos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande, se confeccionó una metodología (Figura 2.1.

Se emplea la Matriz de Importancias (Conesa, 2000) para la identificación y valoración de los impactos que afectan el área de estudio, relacionados con la posible ocurrencia de peligros hídricos, y, finalmente, la selección de los peligros hídricos de mayor impacto para el desarrollo del Análisis de Riesgos, estableciéndose a su vez Planes de Medidas, para minimizar los efectos negativos previstos.

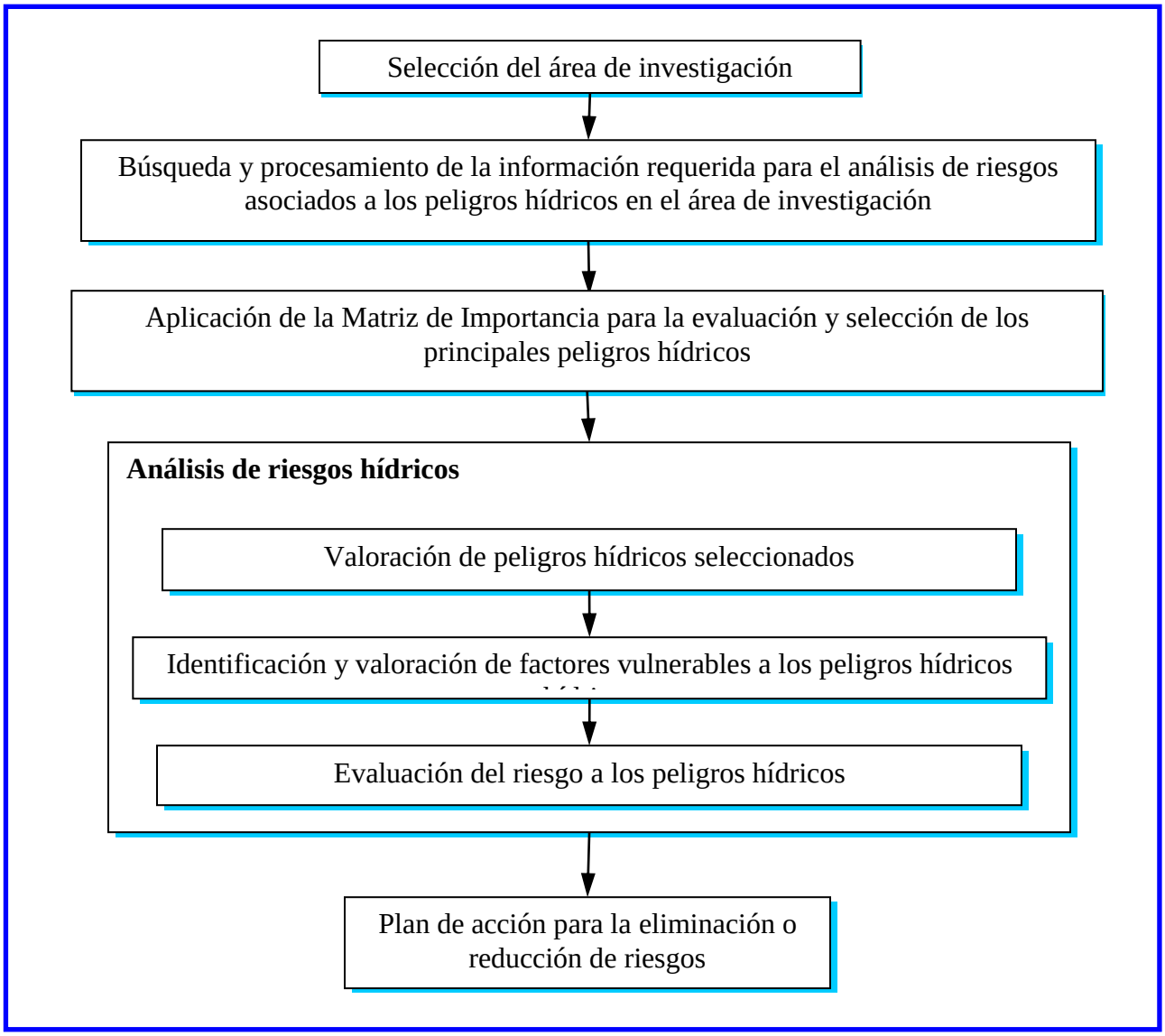


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología empleada.

La metodología elaborada, sus objetivos y acciones realizadas para su consecución se explican a continuación:

2.1. Descripción del área de investigación

La selección de la parte baja de la cuenca Sagua la Grande se basa, sobre todo en la importancia socio-económica-ambiental de la misma, en los antecedentes históricos y los problemas ambientales existentes, que guardan relación con el recurso agua.

Se definen los límites del área de estudio al norte de la provincia de Villa Clara, enmarcadas dentro de la cuenca hidrográfica del río Sagua la Grande, describiéndose principalmente la parte baja, delimitada desde el embalse Alacranes hasta la costa, donde se localiza la ciudad de Sagua la Grande, una de las más importantes de la provincia en población y desarrollo industrial, la que se ha

afectado en varias ocasiones por inundaciones significativas debido a la ocurrencia de eventos meteorológicos acompañados de lluvias intensas. Desde la creación del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas esta cuenca se catalogó como de Interés Provincial respondiendo a su importancia en cuanto a recursos naturales que posee.

Del punto de vista económico se cuenta con una importante actividad industrial fundamentalmente la química y la alimentaria, aunque también se destacan otras actividades económicas de importancia para el territorio y que guardan relación con el cuidado del entorno, como lo son el desarrollo de la actividad pesquera y la ganadera relacionadas éstas con la protección del medio ambiente.

Respecto a la situación ambiental, se visualizan los principales problemas debido a las actividades que constituyen fuentes contaminantes de las aguas terrestres y costeras debido a la carencia o funcionamiento ineficiente del sistema de tratamiento de residuales existente, además de las áreas que se ven afectadas por problemas de salinización, compactación y deforestación.

2.2. Búsqueda y procesamiento de la información requerida para el análisis de riesgos hídricos

Se procede a la búsqueda y procesamiento de información relacionada con los posibles riesgos hídricos en área bajo estudio. Se utilizaron los datos procedentes de las siguientes fuentes:

Diagnóstico Ambiental de la cuenca Sagua la Grande. Se utilizó la caracterización del municipio de Sagua la Grande, teniéndose en cuenta sus peculiaridades y análisis de la integridad física geográfica (ubicación, relieve, hidrografía, costas, clima, suelos, flora y fauna) con lo que se obtuvo una panorámica general del área de estudio, además de las problemáticas relacionadas con la cantidad de focos contaminantes, los que disponen al medio una carga orgánica considerable, la degradación de los suelos y la situación desfavorable de la cobertura boscosa, fundamentalmente en la faja protectora de cauce del río principal y del embalse Alacranes (CESAM Villa Clara, 2012).

Informe Relación Causa Efecto de los problemas ambientales en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande. Se analizaron los vertimientos de los afluentes contaminantes que se generan en los procesos productivos y en la actividad urbana que alcanzan las aguas superficiales de la cuenca, llegando también hasta el ecosistema costero. Se tuvo en cuenta la contaminación del agua que puede afectar los sistemas biológicos naturales, provocando niveles peligrosos de residuos orgánicos y metálicos (CESAM., 2009).

Estudios meteorológicos. Se tuvieron en cuenta las principales características climáticas del área de estudio, así como las condiciones físicas geográficas locales entre los que se destacan la ocurrencia de ciclones tropicales, sistemas frontales, los que condicionan las características del estado del tiempo y las particularidades estacionales del clima local del territorio (Boletín de Vigilancia del Clima, 2012).

Estudios Hidrológicos. Se realizó análisis de las avenidas extraordinarias que han transitado por el embalse Alacranes, lo que constituyen experiencias significativas que son de vital importancia ante

cualquier evento de estas características que debamos afrontar en el área de estudio (Avenidas significativas y su transito por los embalses, 2009).

Estudios de impactos de roturas de presas. Se analizaron las condiciones propicias que pudieran incidir en la rotura del embalse Alacranes derivados de fallos de la infraestructura hidráulica al no cumplirse los mantenimientos planificados a la misma (Cálculo de rotura y tiempo de retardo Presa Alacranes, 1997).

Estudio de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo de Desastre de inundaciones por intensas lluvias, penetraciones del mar y afectación por fuertes vientos. Se recopilaron estudios locales existentes sobre la temática, analizándose los antecedentes de escenarios de peligros ocurridos de forma cronológica, perdidas de vidas humanas, animales y materiales, además de definir probables áreas de influencia, así como la recopilación de mapas que contengan información de inundaciones por intensas lluvias y por penetraciones del mar ocurridas anteriormente en el municipio, realizándose el análisis correspondiente de los estudios realizados (Centro de Estudios Ambientales, 2012).

Con esta información se confeccionó la Matriz de Importancia y se identificaron las zonas vulnerables a los peligros asociados a las acciones más impactantes, evaluándose los riesgos y magnitud de la afectación esperada en caso de su manifestación, cuya evaluación permite tomar medidas para minimizar los daños que pudieran ocurrir.

2.2.1 Riesgos hídricos y cambios climáticos

La visualización de futuros escenarios climáticos permite la inclusión del efecto de los cambios en las condiciones hidrometeorológicas previstos en el análisis de riesgos, a corto y mediano plazos, a partir de los criterios establecidos en los Informes emitidos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), donde se señala una tendencia creciente en los eventos extremos donde se considera probable que las altas temperaturas, las olas de calor y las fuertes precipitaciones continúen siendo más frecuentes en el futuro. Además, se dispone de los resultados del Programa de Análisis y Pronósticos del Tiempo y el Clima (PNUD, 2007) y sus implicaciones socioeconómicas, que trabaja el desarrollo de conocimientos sobre la variabilidad climática a diferentes escalas temporales, sus causas, su impacto social y económico y obtener modelos de predicción climática.

Teniendo en cuenta los estudios de inundaciones, presentes y pasados, debido a eventos extraordinarios ocurridos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande, esta área se considera territorio de riesgo por ocupar espacio cuyas características geográficas propician la ocurrencia de eventos de carácter extraordinario.

2.2.2 Obras protectoras contra inundaciones en la cuenca baja del río Sagua la Grande

Entre las alternativas de proyecto de protección contra inundaciones con el objetivo de reducir los impactos ambientales no deseados se encuentra la infraestructura hidráulica ubicada en el área que analizamos.

Se detallan los diferentes objetos de obra que conforman la infraestructura hidráulica a ambas márgenes del río principal, confeccionándose un mapa donde se expone toda la estructura que lo conforma (Anexo 5. Obras y Diques protectores contra inundaciones en la ciudad de Sagua la Grande, así como la Derivadora Sagua y sus Canales de Riego), además de describirse las características que presenta la zona desde la salida del embalse Alacranes hasta la Derivadora Sagua, destacándose el estado técnico actual que presentan los elementos que forman la infraestructura hidráulica.

2.3. Aplicación de la Matriz de Importancia para la identificación y evaluación de peligros de origen natural y antrópico

Partiendo de las características de la cuenca y de su problemática medioambiental, se identifican y valoran los peligros hídricos y los impactos producidos por estos, con el propósito de identificar aquellos peligros de mayor impacto y su selección para la realización de un análisis de riesgos asociado a ellos.

Se elaboró una relación de peligros impactantes y componentes impactados, que se tuvieron en cuenta para la identificación y valoración de los impactos ambientales debido a los peligros identificados y se asignó el carácter positivo o negativo de su incidencia sobre el medio ambiente.

Los peligros hídricos identificados fueron: emisión de residuos líquidos y de residuales tóxicos peligrosos, afectación de la cobertura forestal, utilización de malas prácticas agrícolas, mal manejo de la actividad bufalina, intrusión salina, penetraciones del mar, inundaciones por intensas lluvias y rotura de embalses.

Se utiliza la Matriz Conesa para identificar y clasificar los impactos (Conesa, 2000), y con ello facilitar la selección de los peligros hídricos de mayor impacto, y para ellos se desarrolla el correspondiente Análisis de Riesgos. Los componentes o factores ambientales analizados en la Matriz de Importancia son: aguas superficiales y subterráneas, suelos, biota, paisaje y hombre.

El impacto es una forma de medir cualitativamente el efecto ambiental en función tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez, a una serie de atributos de tipo cualitativo tales como: extensión (EX), tipo de efecto, intensidad (i), plazos de manifestación (MO), persistencia (PE), reversibilidad (RV), recurrencia (MC), sinergia (SI), efecto (EF), acumulación (AC) y periodicidad (PR).

Luego de otorgarle los valores estimados a cada atributo, se calcula la importancia del impacto por la siguiente expresión y se procede a formar la Matriz de Importancia auxiliándonos de un programa Microsoft Excel.

$$I=\pm (3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \qquad (2.1)$$

Al aplicar la Matriz de Importancia se identifican los peligros hídricos más impactantes sobre el medio ambiente y el componente más impactado. A partir de estos resultados, se seleccionan los riesgos hídricos, a los que se les realiza el correspondiente análisis de riesgos, concluyéndose este trabajo con los planes de acción para minimizar los riesgos para cada peligro evaluado.

Los componentes impactados identificados son:

F_1: Aguas superficiales.

F_2: Aguas subterráneas.

F_3: Suelos.

F_4: Diversidad biológica.

F_5: Paisaje.

F_6: Hombre.

Peligros hídricos o acciones impactantes identificadas son:

A_1: Generación de residuos líquidos.

A_2: Generación de residuos tóxicos peligrosos.

A_3: Deforestación.

A_4: Malas prácticas agrícolas.

A_5: Actividad bufalina.

A_6: Instrucción salina.

A_7: Penetraciones del mar.

A_8: Inundaciones por intensas lluvias o rotura de embalses.

Identificados los peligros impactantes y componentes impactados, se procede a la elaboración de la Matriz de Importancia para obtener una valoración cualitativa de la magnitud de los impactos ambientales asociados a cada peligro.

2.4. Análisis de riesgos hídricos relacionados con los peligros de inundaciones por intensas lluvias y por rotura de presas.

2.4.1. Valoración del peligro de inundación por intensas lluvias y rotura de presas.

2.4.1.1. Valoración del peligro de inundación por intensas lluvias

Se identifican los peligros naturales que afectan al recurso agua, tanto en calidad como en cantidad, en ambos casos se consideran los de origen antrópico y natural.

Dentro de los peligros ambientales más frecuentes en Cuba relacionados con la abundancia del recurso agua están las sequías, ciclones, inundaciones por lluvias intensas. Las inundaciones por rotura de presas no son frecuentes pero si posibles de acuerdo al estado técnico de la infraestructura hidráulica; mientras que los relacionados con la calidad del agua son la contaminación puntual y la no puntual o difusa.

El enfoque moderno de la planificación de los usos de la tierra y el manejo de recursos naturales, especialmente el manejo y gestión de las cuencas hidrográficas, desempeñan un papel fundamental en la reducción de riesgos.

Los materiales que sirven de base para la identificación de los escenarios de peligro (zonas susceptibles a ser inundadas) debido a intensas lluvias se relacionan a continuación:

- Registro histórico de inundación.
- Modelo digital de elevación del terreno. Escala 1:10000.
- Mapa de acumulación de suelo y procesos degradativos. Escala 1:25000.
- Mapa de los depósitos no consolidado del Cuaternario. Escala: 1:50000.
- Mapa geomorfológico. Escala: 1:50000.
- Mapa planimetrito de localidades y poblados. Escala: 1:25000.
- Mapa de formaciones vegetales. Escala: 1:25000.
- Mapa de subtipo de Carso. Escala: 1:25000.
- Mapa ingeniero geológico. Escala: 1:25000.

Entre los criterios de selección del límite de la cota máxima de inundación fluvial, la bibliografía internacional revisada refiere que los ríos en la etapa de máxima crecida pueden llegar a alcanzar una altura máxima de inundación entre 10 y 20 veces el nivel de estiaje. También se tienen en cuenta los estudios de casos históricos locales de ríos considerando eventos extremos.

Los criterios que se deben tener en cuenta son:

- Criterios topográficos.
- Criterios para la consolidación de la permeabilidad del suelo.
- Criterio geomorfológico.
- Criterio para la consolidación de la influencia del Carso.
- Criterios de consideración de la influencia de la vegetación.
- Criterios de consideración ingeniero geológicas.
- Criterios de índice de humedecimiento del suelo a partir de imágenes satelitales.
- Criterio documental realizando comprobación mediante recorridos de campo y por registros documentales históricos que permiten chequear los datos obtenidos a partir de las interpretaciones de gabinete, en este caso se realizan encuestas o se fotografían los limites alcanzados por las aguas al ocurrir la inundación.

A partir de este criterio se comprueba fundamentalmente la altura alcanzada por las aguas de inundación, su distribución espacial y su comportamiento sobre la cuenca superficial afectada, definiéndose las direcciones y las áreas de origen de dichas inundaciones. (Grupo de Evaluación de Riesgo., 2008).

El Sistema de Información Geográfica (SIG) no solo se emplea como una herramienta de apoyo cartográfico sino también como procedimiento, también sirviendo de instrumento de gestión.

Para identificar el peligro de inundación por intensas lluvias, se identifica la lluvia como factor externo principal para que existan las inundaciones, donde el modelo digital del terreno expresa la morfología adecuada para la acumulación de grandes volúmenes de agua, además de la insuficiente capacidad de las rocas y suelos de retener dicho volumen. Con estas condiciones se puede formular que la valoración de la Intensidad del Peligro combina los factores de susceptibilidad del escenario de peligro y el factor de disparo, que son las intensas lluvias.

Para determinar el factor de disparo o lluvias máximas se tienen los mapas isoyéticos de lluvias máximas en 24 horas para diferentes periodos de recurrencia (para 5, 10, y 50 años), que equivalen a las probabilidades de 20, 10 y 5% de ocurrencias de lluvias intensas respectivamente. (INRH., 2008).

Este factor se determina a partir del tratamiento estadístico de los datos registrados en estaciones de la red pluviométrica del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, tomando los valores de precipitaciones máximas en ese tiempo.

Se presenta esquema de las obras protectoras contra inundaciones a la entrada de la ciudad de Sagua la Grande y se ubican la Derivadora Sagua, los Canales Armonía, Macum y el Dique Armonía. (INRH, 1967).

Comportamiento histórico de variables climáticas e hidrológicas

Se exponen las condiciones climáticas de la cuenca, teniendo como periodo principal los periodos seco y húmedo, característicos del clima tropical de nuestro país, donde se producen los típicos aguaceros ante la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos, donde las avenidas hidrológicas producidas por las precipitaciones inciden significativamente sobre la cuenca o parte de ella.

Comportamiento de las precipitaciones

Mediante el Servicio Hidrológico Nacional, la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos y la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico, controla la información relacionada con el ciclo hidrológico y el estado y evolución de los recursos hídricos de la provincia de Villa Clara, con la siguiente finalidad:

- Evaluar los recursos hídricos (cantidad, calidad, distribución temporal y espacial), su potencial, el desarrollo de este recurso y las capacidades para satisfacer la demanda actual y futura.
- Evaluar la repercusión sobre los recursos hídricos de las actividades de otros sectores o actividades, como la urbanización o la explotación forestal.

- La seguridad de personas y bienes frente a los riesgos relacionados con el agua, en particular, las inundaciones y las sequías.

En este estudio se analiza el comportamiento histórico de las precipitaciones diarias e históricas en toda la cuenca, utilizando los pluviómetros más representativos entre los registrados en la Red Pluviométrica en el periodo (1996-2012). Se utiliza el comportamiento de las precipitaciones ocurridas en 24 horas en la cuenca.

Comportamiento de los gastos en función de las precipitaciones

Para el cálculo de los gastos máximos y los escurrimientos de las diferentes subcuencas se tomó como base el estudio del comportamiento de las avenidas del río Sagua la Grande, donde se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

a. El resultado de los diferentes valores de precipitación en las subcuencas que provocan distintas láminas de vertimiento sobre el cimacio del vertedor del embalse Alacranes y su tránsito aguas abajo de estas por el río considerando el aporte de la afluencia bilateral de las mismas. Se tuvieron en cuenta las transformaciones y vertimientos de los embalses construidos aguas arriba del embalse Alacranes (Palmario y Arroyo Grande II), analizándose las probabilidades correspondientes.
b. La corriente del río principal en la actualidad se encuentra regulada por los embalses Arroyo Grande I (1970) y Arroyo Grande II (1972), ambas son utilizadas en el riego del la Empresa de Cultivos Varios Yabú, el embalse Palmarito (1990) que se utiliza para el abasto de agua a la ciudad de Santa Clara y el embalse Alacranes (1971) que es el mayor ubicado en esta cuenca, siendo su finalidad fundamentalmente utilizar sus aguas para el riego. La Derivadora Sagua la Grande (1976) destinada al riego para el Sistema Costa Norte de la provincia y abasto industrial a la parte de la ciudad de Sagua la Grande. Además existe un considerable número de micropresas y tranques utilizados en unos casos para el riego y en otros como abrevadero del ganado que tiene como hábitat esta cuenca. (Anexo 7).

Se tomaron como premisas:

- Que la lluvia sea uniforme en toda la cuenca y simultánea.
- Que los embalses estén en el nivel de aguas normales (NAN).
- No se tuvieron en cuenta las regulaciones provocadas por tranques y micropresas en la cuenca, por ser las mismas poco significativas.

Se tomaron los datos sobre las características de los embalses de los correspondientes estudios y las afluencias bilaterales se determinaron por medio de la hoja cartográfica Escala 1: 50000. En el Anexo 2. Red Hidrográfica y Obras Hidrotécnicas de la cuenca Sagua la Grande, se reflejan los puntos de cierre utilizados para el cálculo, donde al lugar donde el embalse Arroyo Grande II, afluente por la margen derecha del río Sagua la Grande, une sus aguas con las del río principal, se le llamo por comodidad de referencia, punto A. (Sánchez Sánchez, Portieles Pérez, 2005).

2.4.1.2. Valoración del peligro de inundación por rotura de presas

Los embalses son considerados instalaciones hidráulicas que contienen fuerzas peligrosas y su rotura es poco probable en comparación con otras instalaciones, pero si esta ocurre, se generan daños considerables, que incluyen la pérdida de vidas humanas.

El peligro que propicia la inundación por rotura de embalses es el fallo de la infraestructura hidráulica, que es producida fundamentalmente por no realizar el mantenimiento sistemático requerido, aunque también pudiera ocurrir la rotura por: diseño erróneo del aliviadero, inestabilidad geológica causada por el nivel del agua o por lluvias extremas muy superior a la probabilidad para el cual se diseñó dicha infraestructura.

2.4.2. Determinación de las zonas vulnerables a inundación por intensas lluvias y por rotura de presas.

2.4.2.1 Determinación de las zonas vulnerables a inundación por intensas lluvias

La vulnerabilidad a los desastres es la predisposición de los elementos bióticos o abióticos expuestos al impacto de un peligro de determinada severidad a sufrir pérdidas o daños. Se relaciona directamente con las cualidades y propiedades del o de los elementos en cuestión en relación con el peligro o los peligros que podrían incidir sobre ellos. (Grupo Nacional de Evaluación de Riesgos, 2008).

Las condiciones y acciones antrópicas que crean o incrementan las vulnerabilidades ante los peligros y por ende propician el incremento en cantidad e intensidad de los impactos, tanto en las estructuras, en los servicios, en los procesos productivos, producciones y en la naturaleza.

De acuerdo con las características del peligro hídrico y del área de estudio, se identifican y ubican espacialmente las zonas vulnerables a ellos. Para el cálculo de la vulnerabilidad se requiere de la recopilación de información sobre los bienes y la población expuestos al peligro. En este caso es necesario el uso de mapas e información socioeconómica sobre la población, las viviendas, las instalaciones críticas y las líneas vitales, expuestas al peligro potencial.

Según el Resumen Ejecutivo Provincial del Estudio de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos para la provincia, en el caso de las inundaciones por intensas lluvias se exponen las vulnerabilidades a que está afectada el área de estudio.

La vulnerabilidad a los desastres es la predisposición a sufrir pérdidas o daños, de los elementos bióticos o abióticos al impacto de un peligro de determinada severidad. Se relaciona directamente con las cualidades y propiedades del o de los elementos en cuestión en relación con los peligros que podrían incidir sobre ellas.

Según la Metodología establecida para la realización de los Estudios de Peligro Vulnerabilidad y Riesgo de desastres de inundaciones por penetraciones del mar, inundaciones por intensas lluvias y afectaciones por fuertes vientos se analiza:

Vulnerabilidad estructural:

Análisis de la capacidad resistiva de las edificaciones, principalmente del fondo habitacional a las fuerzas destructivas de las inundaciones por intensas lluvias, considerando la topología constructiva, el estado técnico predominante, así parámetros de localización y como tipo de suelos.

Vulnerabilidad no estructural:

Afectaciones potenciales de consideración en líneas vitales del territorio, tales como carreteras, torres de alta tensión y redes eléctricas, evaluados a través de la información de vialidad y digitalización de redes eléctricas.

Vulnerabilidad funcional:

El estado de preparación de las entidades que producen bienes o presentan servicio para continuar activo en situaciones de peligro.

Vulnerabilidad social:

Según la intensidad del peligro, la población afectada concentradas en asentamientos y dispersas en áreas rurales, considerando el promedio de habitantes por viviendas afectadas.

Vulnerabilidad ecológica:

Se considera la exposición de zonas de peligro potencial de ecosistemas frágiles o zonas ecológicamente sensibles y Áreas Protegidas, seleccionadas según la Guía para la confección de Estudios Nacionales de Biodiversidad y adaptada para Cuba por Rodríguez y Prieto, PNUMA, 1998.

Vulnerabilidad economía:

El componente zonas industriales en riesgo en áreas de inundación por intensas lluvias.

La vulnerabilidad total ante un determinado peligro, está dada por la suma de todas las vulnerabilidades, calculadas de forma independiente, es decir:

$$V = V_e + V_{ne} + V_F + V_s + V_{ec} + V_{ecn} \qquad (2.2)$$

Donde:

V_e : Vulnerabilidad estructural.

V_{ne} : Vulnerabilidad no estructural.

V_F : Vulnerabilidad funcional.

V_s : Vulnerabilidad social.

V_{ec} : Vulnerabilidad ecológica.

V_{ecn}: Vulnerabilidad económica.

Al evaluar la vulnerabilidad se estiman el grado de pérdidas o daños que pueda causar la ocurrencia de las inundaciones, ya sea por intensas lluvias o las producidas por la rotura de presas ubicado en el área de estudio. Los elementos analizados incluyen poblaciones, instalaciones y recursos físicos tales como infraestructuras vitales, centros de producción, patrimonio cultural, actividades económicas y funcionamiento normal de la población.

2.4.2.2. Determinación de las zonas vulnerables a inundación por rotura de presas

Para este análisis se usaron formulas metodológicas de cálculo aproximado para la determinación de los parámetros de inundación causada por rotura de presas de tierra elaborados por el Instituto de Hidroeconomía en marzo de 1981. Esta metodología está sobre la rotura parcial de una presa de tierra por deslizamiento o rotura, durante la cuál se produce una ola que provoca inundación durante el vaciado rápido del embalse. La misma da elementos para formarse un criterio previo, con un grado de aproximación elemental, para el caso de una rotura brusca del embalse. Utilizando las formulas empíricas de Chorlich (1981) que no toma en cuenta la topografía y geología del emplazamiento de la obra, y requiere una topografía a Escala 1:10000, 1: 25000, ó 1:50000. Para este cálculo se utilizo la Base Cartográfica 1:50000 del EMGEOCART.

Las formulas fueron

$$Qn = 0.9 (b/B \text{ ½ } x\ b\ x\ H^3 / 2) \quad (2.3)$$

Donde:

Qn: Gasto máximo que puede ser vertido durante la rotura de la obra en m^3/s.

b: Longitud de la parte destruida en metros. Se tomó = 1.40 m.

B: Longitud del embalse en metros al nivel del agua que se considera (longitud mojada del talud aguas arriba).

H: Carga hidráulica en metros.

Se seleccionaron en este caso cinco (5) niveles diferentes del agua del embalse.

$$Qi= Wo\ x\ Qo / Wo + Qn\ x\ Li\ x\ T \quad (2.4)$$

Donde:

Qi: Gasto de la sección aguas abajo.

Qn: Gasto del embalse determinado por la expresión (1)**.**

Wo: Volumen del embalse en m^3 correspondiente al nivel de agua de cálculo.

Li: Distancia del embalse hasta la sección i.

T: Parámetros que dependen del tamaño del río, la topografía, etc. En este cálculo se tomó 0.5.

En este cálculo se usó el resultado por la fórmula de Chezy. La pendiente de las secciones se tomó a partir del topográfico usado como base y el coeficiente de rugosidad MANNIG, asumiendo n=2.4 para toda la sección sin considerar terrazas. (INRH 1969).

Se mostrarán las zonas de inundación para cuando el embalse este en el Nivel de Aguas Normales (NAN). Se identificaron seis secciones enmarcadas desde el aliviadero del embalse Alacranes hasta el puente de hierro en la ciudad de Sagua la Grande, señalándose las distancias, los gastos, la altura que alcanzaría el agua y el tiempo de ocurrencia de las inundaciones, además de las afectaciones en las diferentes secciones. (Anexo 10).

2.4.3. Determinación y clasificación de zonas de riesgo por intensas lluvias o por rotura de presas

2.4.3.1. Determinación y clasificación de zonas de riesgo por intensas lluvias

El riesgo implica la posibilidad de sufrir pérdidas económicas o daños a las personas, al ambiente o a la propiedad, expresada en función de la vulnerabilidad, probabilidad de ocurrencia del evento y magnitud de las consecuencias. Mientras mayor sea nuestro conocimiento acerca de los peligros asociados a la ocurrencia de eventos indeseados, que puedan tener lugar en el área de estudio, de sus causas y de sus consecuencias, mayor será nuestra capacidad para prevenir la ocurrencia o mitigar sus efectos.

Para poder decidir si el riesgo asociado a una actividad es aceptable o no, se requiere estimar de alguna manera el nivel de peligro potencial, en términos de daños a las personas, a los bienes y al ambiente, así como la probabilidad de que tal peligro se materialice.

Las zonas bajas son las más vulnerables a la ocurrencia de peligros derivados de riesgos hídricos de origen natural.

Para analizar los riesgos en el área de estudio se transitará por diferentes etapas, las que se describen a continuación:

1. Identificación de los peligros y de los eventos que pueden llevar a la materialización de tales peligros: ocurrencias de intensas lluvias y roturas de embalses.
2. Análisis de los mecanismos que dan lugar a estos eventos: ocurrencias de eventos meteorológicos extremos y fallo de la infraestructura hidráulica.
3. Estimación de los efectos (severidad) debido a la materialización de dichos eventos: aumento de las inundaciones por eventos meteorológicos extremos.
4. Estimación de las probabilidades de ocurrencia de tales eventos: según el comportamiento de las variables del ciclo hidrológico y los pronósticos de influencia del Cambio Climático sobre los recursos hídricos.

5. Estimar el riesgo y determinar su aceptabilidad o tolerancia: diseñar mejores estrategias de adaptación y gestión para el manejo de las cuencas hidrográficas.

Consecuentemente los grados de riesgos naturales y daños serán más bajos si se excluyen aquellas provenientes del inadecuado manejo de las descargas procedentes de las grandes estructuras hidráulicas o de su eventual rotura.

2.4.3.2. Determinación y clasificación de zonas de riesgo por rotura de presas

En el caso de las inundaciones por rotura de la presa Alacranes, solo se define el mapa con las zonas de mayor impacto, el cual se asume, es igual al mapa de las zonas vulnerables a este peligro. En el epígrafe 3.5.2, del Capítulo 3, se justifica lo anterior.

2.5. Plan de medidas frente al riesgo de inundaciones por rotura de embalses y rotura de presa

Los expertos consideran que existen cuatro vías fundamentales para enfrentar el peligro hídrico de las inundaciones por lluvias en la ecuación de riesgo: la construcción física, una mejor predicción de los eventos, el empleo de métodos para contrarrestar el Cambio Climático y la adopción de medidas para revertir la degradación ambiental (Thompson y Gaviria, 2004).

Las medidas que deben adoptarse para enfrentar los fenómenos de inundación, son tanto las derivadas de la ocurrencia de precipitaciones, de las crecidas de los ríos como de la acción antrópica. Ellas pueden ser de carácter no estructural y estructural. Su consideración ponderada ha de ser fruto de un exhaustivo análisis de los riesgos derivados, de la recurrencia del fenómeno hídrico y de daños que el mismo llegue a producir, tanto en lo referente a la población afectada como a la evaluación de perdidas físicas, de infraestructura y producción.

En este acápite se exponen las medidas de reducción del riesgo y las normas de actuación a tener en cuenta en caso de que ocurra la rotura del embalse y el Plan de Medidas está elaborado con el objetivo de minimizar la probabilidad de ocurrencia de la rotura, siguiendo las indicaciones y requerimientos establecidos para la realización de los controles técnicos y los mantenimientos sistemáticos en los embalses, reduciendo los efectos negativos que pudieran producirse en los diferentes objetos de la infraestructura hidráulica.

Para minimizar y atenuar los efectos negativos producto de las inundaciones por intensas lluvias dentro de la ciudad de Sagua la Grande se contemplan las medidas a tomar en las obras de protección contra inundaciones (Puertas de Sagua).

2.6. Conclusiones Parciales

1. El procedimiento metodológico empleado permitió el análisis de riesgos para los peligros hídricos de inundaciones por lluvias intensas y por rotura de presas, luego de la selección del área de

investigación, la identificación de los peligros hídricos en esta área y su priorización en función de su impacto.

2. El análisis del peligro de inundaciones en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande indica su relación con las obras de protección y regulación construidas, con el comportamiento del clima y las características hidrológicas de la cuenca completa.
3. Aunque el peligro de inundaciones por rotura de presas tiene una muy baja probabilidad de ocurrencia, la gran magnitud de su posible impacto, en el orden económico y de vidas humanas, indican la necesidad de su evaluación y la correspondiente toma de medidas para la eliminación o mitigación de los riesgos.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Descripción del área de investigación

La cuenca hidrográfica superficial del río Sagua la Grande es la mayor que drena hacia la vertiente norte en Cuba y la de más extensión territorial en la provincia de Villa Clara. Está catalogada como de Interés Provincial. La parte baja de esta cuenca, donde se encuentra la ciudad de Sagua la Grande, presenta un largo historial de afectaciones debido a las inundaciones. En ella se desarrolla una importante actividad industrial por la presencia de la Industria Química (Electroquímica de Sagua "Elpidio Sosa"), Alimentaria (Matadero de Reses "Lorenzo González") y otras. Estas industrias, debido a insuficiencias en el tratamiento de sus residuales, constituyen fuentes contaminantes de las aguas terrestres y costeras. En esta área, además, inciden problemas de salinización, compactación de los suelos y alto grado de deforestación. Se considera que, desde el punto de vista físico geográfico y ambiental, esta cuenca baja muestra una situación desfavorable provocada por los años de explotación de sus recursos debido a las actividades económicas y sociales que se han desarrollado en el tiempo, con insuficiencias o en ausencias de la aplicación de medidas de conservación y gestión sostenible.

El área objeto de este trabajo, la cuenca baja del río Sagua la Grande, tiene el río del mismo nombre como principal corriente de agua, con una longitud de 30 km, que va desde la salida del embalse Alacranes hasta la costa. La cuenca baja del río Sagua la Grande se enmarca en los límites definidos por el embalse Alacranes, siguiendo el curso aguas abajo hacia la costa norte, abarcando las llanuras que se ubican a ambos lados del río; al este hasta la desembocadura del Canal MACUN; y al oeste por un estero (sin nombre) anterior al estero Uvero, el cual ya presenta un límite de cuenca definido, incluyendo toda la llanura costera con parte de los canales de riego que se extienden por el litoral norte (Figura 2).

El área seleccionada ocupa un área aproximada de 472.75 km^2. El relieve se enmarca en un paisaje de llanura, con características cársicas cubierta de aluviones que le propician fertilidad. Se localizan asentamientos urbanos, entre los que se destacan los Consejos Populares Jumagua – Caguagua, Sitiecito, La Isabela – Nueva Isabela, Centro Victoria, Villa Alegre, Coco Solo y San Juan Finalet.

Entre la presa Alacranes y la Derivadora Sagua la Grande hay un tramo hidrológico que se puede caracterizar ligeramente como una subcuenca transitiva hacia la llanura constituida por las terrazas aluviales del río Sagua la Grande cercanas ya a la desembocadura. El área de este tramo hidrológico representa el 3.2% del total de la cuenca del río principal Sagua la Grande. Aquí el cauce del río principal drena por debajo de la cota de 20.0 metros sobre el nivel medio del mar y a partir de este punto (donde comienza el tramo hidrológico) continúa su descenso gradual hasta su desembocadura, que se encuentra a unos 20.0 km de distancia de la ciudad de Sagua la Grande, así como de la Derivadora Sagua la Grande y sus canales de riego.

El relieve del tramo es más irregular en su descenso hacia la terraza a la izquierda del cauce del río que por la derecha, donde se observa de una forma más suave. Las alturas mayores por las que atraviesa el parte aguas sobrepasan ligeramente los 100,0 metros sobre el nivel medio del mar en ambas laderas.

El potencial hídrico de toda la cuenca Sagua la Grande asciende a 490.96 hm^3 al año, de ellos 398.69 hm^3, corresponden al escurrimiento superficial y 92.27 hm^3 a las aguas subterráneas. Dado que la cuenca subterránea es de tipo abierta al mar, esta suele presentar problemas de intrusión salina a los acuíferos (Del Toro Sánchez, R., 2009).

La ciudad de Sagua la Grande ubicada al norte de la provincia de Villa Clara, cuenta con un núcleo poblacional de alrededor de 70000 habitantes. A través de la ciudad se extiende el río Sagua la Grande en su curso inferior, a 28 km de su desembocadura. La ciudad se ubica al sur del valle litoral que tiene en este lugar un ancho de 12 a 15 km y las cotas sobre el nivel medio del mar varían entre 10 y 12 m. Limita al este con el Sistema de Riego Armonía y al noroeste con el Sistema de Riego MACUM.

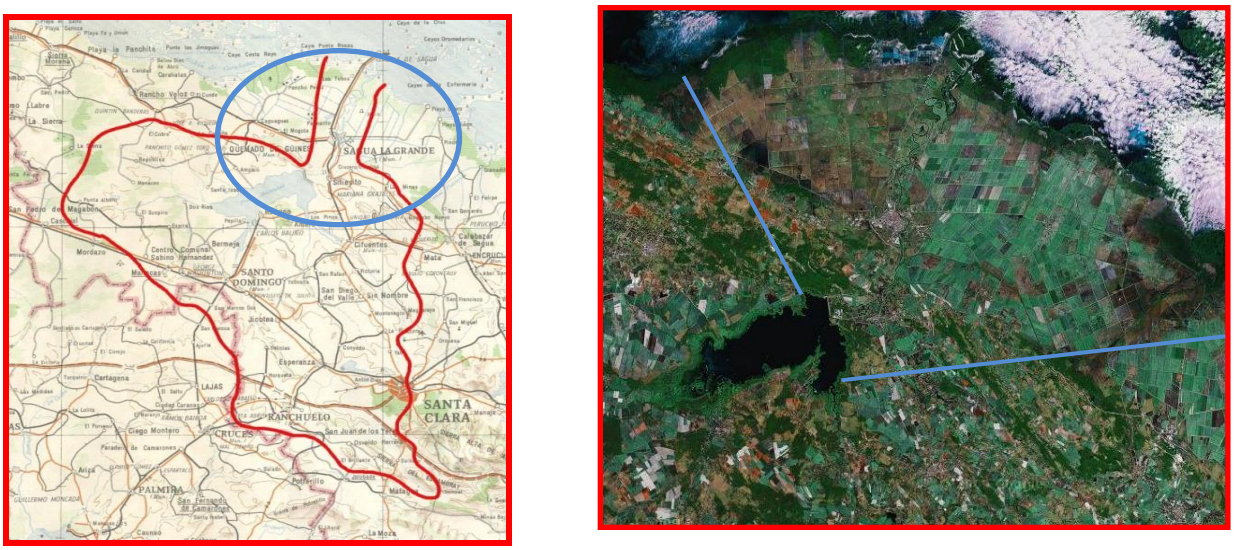


Figura 2 Ubicación geográfica de la parte baja de la Cuenca Sagua la Grande.

3.2. Procesamiento de la información recopilada para el análisis de riesgos hídricos

3.2.1. Comportamiento histórico de las variables climáticas e hidrológicas

Las condiciones climáticas de la cuenca coinciden con las características de todo el país, siendo su clima tropical, cálido y húmedo, con invierno poco lluvioso; pero muy fuerte la influencia del relieve en la parte alta de la cuenca, así como la influencia marino costera en la parte baja, lo que produce una diferenciación importante en la distribución y comportamiento de las condiciones del clima local.

Como promedio las temperaturas medias mensuales oscilan entre 20^0 y 27^0C a lo largo del año. La frecuencia de días con máximas superiores a 35^oC es mucho más elevada en la zona media de la cuenca, influyendo en esto las características llanas del terreno y del suelo, que contribuyen a la

mayor absorción-emisión de radiación solar y por tanto de un mayor calentamiento del medio. Las máximas superiores a 30ºC son más frecuentes en todas las localidades de la cuenca, con un máximo anual bien definido en el periodo de mayo a octubre.

Las anomalías de las temperaturas mínimas medias anuales muestran una clara tendencia al aumento durante casi todo el periodo de observación disponible, lo que demuestra que en las localidades de la cuenca del río Sagua la Grande, se observan las peculiaridades de los procesos del calentamiento global. Si estas tendencias se hacen irreversibles, serán evidencias palpables de cambios persistentes en el clima de la región.

A partir del año 2030 la temperatura media anual será más de 1ºC superior al promedio del periodo de referencia climatológico de 1961 a 1990, y a partir del año 2075 la anomalía será superior a 2ºC, lo que para el clima tropical cubano puede representar serias consecuencias.(Lecha Estela, LB, 2011).

Los aguaceros típicos son de origen ciclónicos y frontales, provocando lluvias torrenciales de gran intensidad y corta duración y lluvias frontales de más larga duración y menor intensidad, principalmente en invierno.

3.2.2. Cambio climático y escenarios temporales para el análisis de riesgos

El elemento que más varía en el clima en Cuba son las precipitaciones y se reconocen dos períodos fundamentales: de lluvia (de mayo a octubre) y seco (de noviembre a abril). En la primera cae aproximadamente el 80% del total de lluvia anual.

De acuerdo al estudio realizado sobre la vulnerabilidad y adaptación del cambio climático en Cuba, desarrollado bajo el proyecto de investigación “Impacto del Cambio Climático y medidas de adaptación en Cuba” (Gutiérrez *et al*., 2000), el objetivo principal fue realizar un análisis integral de los impactos del cambio climático y de las medidas de adaptación en Cuba, mediante la aplicación y prueba de la versión preliminar del “Manual sobre Métodos de Evaluación de los impactos del cambio climático y las estrategias de adaptación”, elaborado por el PNUMA, 1996.

A pesar de lo complejo e incierto de cualquier pronóstico de futuro escenario climático, se hace difícil la evaluación del comportamiento de las lluvias y los fenómenos hidrológicos asociados a ellas en los próximos años, no obstante, se analizaron los datos de lluvias registrados en los Boletines Hidrológicos mensuales de los años 2010-2013, (Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, Empresa de Aprovechamiento Hidráulico., 2013).

En el área de estudio la lluvia caída durante los últimos cuatro años (incluyendo el actual 2013 hasta el cierre del mes de octubre), iguala o sobrepasan los promedios históricos. En el periodo de lluvia los promedios históricos se igualan o están por debajo de la lluvia caída y en el periodo seco la lluvia caída se mantiene por debajo del promedio histórico para esa etapa. De igual forma los días con lluvia en el periodo seco tienden a disminuir y los días con lluvia tienden a aumentar en el período húmedo. Esta tendencia, suele ser llamada polarización de las lluvias.

Esto confirma la incertidumbre de esta variable climatológica donde la tendencia es que a medida que transcurran los años el periodo de lluvia sea más intenso, en que caerá más lluvia y habrá más días en que llueva y en el periodo de seca, lloverá menos y disminuirán los días en que estas ocurran.

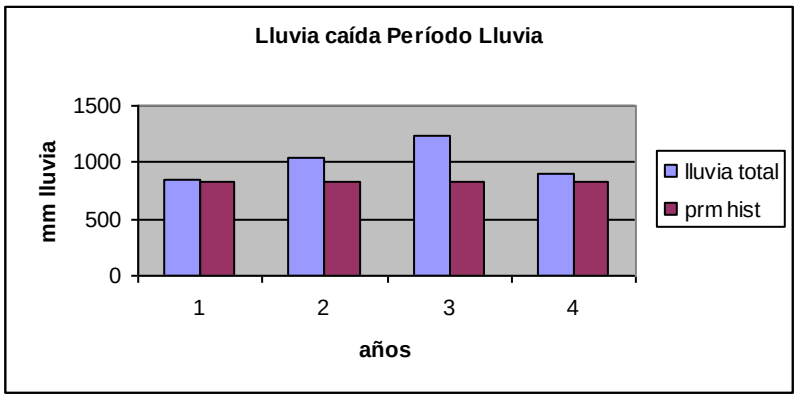


Figura 3. Comportamiento de las precipitaciones en el período de lluvia en el periodo 2010-2013.

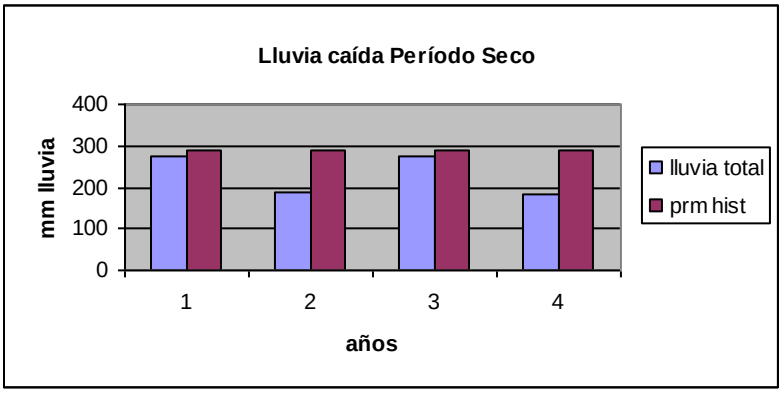


Figura 4 Comportamiento de las precipitaciones en el período de seca en el periodo 2010-2013.

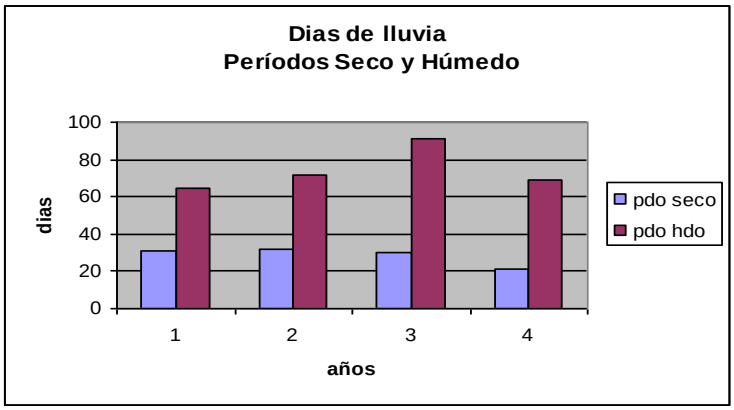


Figura 5 Comportamiento de los días de lluvia en el período 2010-2013.

3.3. Aplicación de la Matriz de Importancia para la identificación y evaluación de peligros de origen natural y antrópico

En los estudios realizados en la cuenca Sagua la Grande se destaca el deterioro de un conjunto de variables ambientales. Este deterioro se atribuye al manejo inadecuado de sus recursos naturales, derivado de las actividades económicas y sociales que se han desarrollado en el tiempo, con insuficiencias o ausencias de medidas de conservación y de gestión sostenibles.

Con el propósito de identificar y evaluar el impacto de los principales peligros de origen natural y antrópicos en la cuenca baja del río Sagua la Grande, se emplea la Matriz de Importancia propuesta por Conesa (2000). Se consideran peligros hídricos tanto a los factores impactantes sobre el recurso agua como los factores impactados por el agua.

Se identificaron los siguientes factores impactados: las aguas superficiales, aguas subterráneas, el suelo, la diversidad biológica, paisaje y el hombre. Este último factor incluye impactos de tipo social, cultural y económico.

Los factores impactantes (peligros hídricos) identificados fueron: emisión de residuos líquidos y de residuales tóxicos-peligrosos, afectación a la cobertura forestal, utilización de malas prácticas agrícolas, mal manejo de la actividad bufalina, instrucción salina, penetraciones del mar e inundaciones por intensas lluvias y roturas de embalses.

Como resultado de las consultas realizadas a un grupo de expertos integrantes del Grupo Técnico del Consejo Territorial de Cuencas de Villa Clara, se llego a un consenso sobre los valores finalmente asignados.

A los impactos se les asignó el carácter positivo o negativo, en función de la incidencia, con valores entre 13 y 100. Los impactos relacionados con cada peligro con valores de importancia menores que 25 son irrelevantes. Los impactos moderados presentan una importancia entre 5 y 50. Serán severos cuando se encuentre entre 50 y 75 y críticos cuando el valor sea superior a 75.

En la Matriz de Importancia se obtiene una valoración cualitativa del efecto de cada acción impactante (peligro hídrico) sobre cada factor ambiental impactado. Los resultados de la Matriz de Importancia elaborada se muestran en la Tabla 3.1.

El factor **más impactado es el agua superficial** (-120.25), por ser el receptor principal de la contaminación motivada por el vertimiento de los residuales líquidos y tóxicos peligrosos, además de las afectaciones que pudieran provocar las inundaciones por intensas lluvias, asociadas a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos, la intrusión salina y las penetraciones del mar. Otro **factor impactado es el hombre** (-115.8) al ser receptor principal de los impactos negativos que se generan en la cuenca, incidiendo principalmente a la generación de residuos tóxicos peligrosos, por lo que puede repercutir a su salud el efecto de los metales pesados en la cadena alimentaria. Las malas prácticas agrícolas y la intrusión salina, es otro de los factores que afecta al hombre por limitar el uso de agua para el consumo humano e incidir en los bajos rendimientos agrícolas que repercuten en la

alimentación del mismo. También se afecta la biota (-64.5), motivado fundamentalmente por la emisión de residuales tóxicos peligrosos, lo que afecta las especies acuáticas en el río y en la zona costera, además de la afectación al ecosistema en esta área, al mismo tiempo de provoca afectaciones a la cobertura forestal, lo que implica el bajo índice de boscosidad y la ausencia de especies forestales y frutales autóctonas del área de estudio, lo que incide en la ocurrencia de inundaciones, el avance de la cuña salina en el río y las penetraciones del mar. Las aguas subterráneas (-107) se ven dañadas ante la emisión de residuales tóxicos peligrosos, la instrucción salina y las penetraciones del mar, limitando su uso tanto para el consumo humano como para las industrias y el uso agrícola.

Tabla 3 Matriz de Importancia parte baja Cuenca Sagua la Grande.

	UIP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Imp. Abs.	Imp. Rel.
Aguas superficiales	200	-68	-68	-55	-50	-52	-66	-56	-66	-481	-120.25
Aguas subterráneas	200	-47	-62	-48	-54	-52	-68	-54	-43	-428	-107
Suelo	100	-48	-50	-60	-60	-52	-60	-50	-64	-444	-44.4
Biota	100	-50	-64	-55	-50	-56	-48	-50	-54	-427	-64.05
Paisaje	100	-50	-50	-58	-56	-52	-40	-51	-64	-421	-42.1
Hombre	300	-52	-76	-56	-64	64	-56	-70	-76	-386	-115.8
	Imp. Abs.	-315	-370	-332	-334	-200	-338	-331	-367		
	Imp. Rel.	-61.65	-74.9	-62.6	-64.3	-61.6	-67.5	-66.1	19.433		-493.6

efecto irrelevante (valores menores de 25)
efecto moderado (valores entre 25 y 50)
efecto severo (valores entre 50 y 75)
efecto Critico (valores mayores de 75)

Los peligros hídricos más impactante son: (1) la **generación de residuos tóxicos peligrosos** (-370), que son generados por las industrias Fabrica de Cloro Sosa y Electroquímica, ubicadas estas en la ciudad de Sagua la Grande y que vierten sus aguas directamente al río; y (2) las **inundaciones por intensas lluvias o rotura de presas** (-367), por su incidencia negativa en las actividades socioeconómicas y sociales, teniendo al hombre y la naturaleza como factores principales. Aunque este último factor no incide de forma permanente en el área de estudio, tiene una significancia relevante cuando ocurre, afectando considerablemente el entorno natural y la infraestructura de las zonas más bajas, poniendo en riesgo la vida de muchas personas.

Por su alta importancia y por un tema menos tratado que la generación de residuos tóxicos peligrosos, es que se decide dirigir este trabajo al análisis de riesgos de inundaciones debido a los peligros hídricos de intensas lluvias o rotura de presas.

3.4. Análisis de riesgos naturales relacionados con el peligro de inundaciones por intensas lluvias

La recopilación de las informaciones referidas a la ocurrencia de inundaciones ocurridas históricamente en la ciudad de Sagua la Grande nos ratifica el impacto negativo que producen las mismas en el área que analizamos.

La ciudad de Sagua la Grande ha sufrido históricamente inundaciones cuyos antecedentes más lejanos conocidos se remontan al 5 de septiembre de 1894 cuando las aguas del río alcanzaron 1.64 m. Con posterioridad llego a 1.50 m el 16 de junio de 1906, según consta en la tarja colocada en la fachada de la farmacia ubicada frente al parque de la localidad. Esto significa que entonces la ciudad estuvo inundada con niveles de agua entre 0.5 y 2.0 m.

En 1933 hubo una avenida significativa y en 1937 fue construido el sistema protector de la ciudad, consistente en un aliviadero de paredes anchas de hormigón de 22.5 m de ancho y 8 m de altura en el kilómetros 30.2 del río y diques de tierra en ambas márgenes. En el año 1946 la ciudad se inundó parcialmente al destruirse el dique izquierdo en la zona del tubo evacuador.

En el año 1972 fue terminado el embalse Alacranes, 8.0 km aguas arriba de las obras de protección y a 42.0 km de la desembocadura del río, con una capacidad de embalse de 352.0 hm^3 que al regular las aguas del río ofrece una mayor seguridad a la ciudad con relación a la posibilidad de afectación por inundaciones de grandes proporciones.

El diseño y posterior ejecución del nuevo sistema de protección de la ciudad, fue calculado a partir de los gastos máximos previstos desde el embalse y el escurrimiento directo de las subcuencas aledañas teniendo en cuenta el paso hacia la ciudad a través del aliviadero de paredes anchas con gastos máximos de 1000 y 1100 m^3/s. Este proyecto previó también la protección del sistema Armonía y la derivación del dique Armonía a lo largo del dique Viana y corredor del Piñón de un gasto de 1740 m^3/s.

Una descripción del orden en que aparecen las obras protectoras en la cuenca baja del río Sagua la Grande está representada en el Anexo 1. En este esquema se indican obras que son de protección contra inundaciones (diques), de conducción del agua (canales), de regulación – protección contra inundaciones (embalses o presas) y de distribución u operación (derivadora). La presencia de obras protectoras en la parte baja de la cuenca refleja la preocupación de la sociedad desde antes del triunfo de la Revolución y la construcción de nuevas obras, después de 1959, como el embalse Alacranes, la voluntad de las instituciones del estado cubano (INRH) por la protección de esta parte contra el fenómeno de las inundaciones.

Siguiendo el curso del agua a partir de su salida del embalse Alacranes, el orden es el siguiente (Anexo 1):

1. Puertas de Sagua, que es continuado por su lado derecho con el Dique Armonía, Dique Viana y Corredor Piñón. Este último llega hasta la costa.
2. Tramo Puertas de Sagua – Muro del Aliviadero de la Derivadora Sagua.

Por la margen derecha.

- Dique derecho.
- Obra de toma del canal Armonía, ubicada en el mismo aliviadero y obra de toma del desarenador.

Por la margen izquierda.

- Dique izquierdo.
- Obra de toma del canal Macún. Canal Macún y su sistema de canales de riego.

En el Anexo 2 aparece la red hidrográfica y obras hidrotécnicas de la cuenca Sagua la Grande; mientras que en el Anexo 3 se muestra la ubicación de los pluviómetros representativos de la cuenca Sagua la Grande, empleados en los estudios hidrológicos.

Además, se elaboró un mapa de la red hidrográfica desde el embalse Alacranes y obras hidrotécnicas (diques y canales) que conforman la parte baja de la cuenca Sagua la Grande hasta la costa (Anexo 4), y más detalladamente, en Anexo 5**,** las obras y diques protectores contra inundaciones en el tramo comprendido entre las Puertas de Sagua y la Derivadora Sagua, con sus canales de riego.

Desde el punto de vista hidrológico, alrededor del 50% del escurrimiento total de la cuenca corre a lo largo del río Sagua la Grande en toda su trayectoria. De este escurrimiento, alrededor del 9% se forma en su parte superior, hasta el cierre Palmarito y el resto lo aporta la propia área tributaria del mismo río. Un aporte significativo brinda el río Yabú con su cuenca tributaria que constituye alrededor del 25% del total de escurrimiento y el restante 25% corresponden a otras cuencas complementarias entre la que sobresalen el afluente Jiquiabo con su principal tributario, el arroyo Zacatecas y en menor escala otros, como arroyo Trancas, Monasterio, Roble y algunos más. La distribución potencial de los valores medios de escurrimiento por período coincide plenamente en toda la cuenca y es del orden del 92% para el periodo húmedo y el 8% para el periodo seco.

La cuenca tiene un nivel de regulación bastante alto, motivado por la cantidad de obras hidráulicas construidas sobre ella. Las más significativas son: los embalses Alacranes, Palmarito y Arroyo Grande I y II, y la Derivadora Sagua la Grande. Una parte de la zona baja de la cuenca es atravesada por varios Canales Magistrales, entre los que se encuentran Alacranes-Calabazar, Armonía y Macún. Además, la cuenca cuenta con una extensa red de micropresas y tranques locales que abastecen a pequeñas industrias, ganadería y agricultura. Por último se encuentra influenciada por gran cantidad de infraestructuras viales como carreteras, caminos, vías de ferrocarril y puentes, la mayoría de ellos

con terraplenes que ejercen gran influencia en la transformación del escurrimiento natural de la cuenca.

El embalse Alacranes con una capacidad de almacenamiento de 360.00 hm^3 tiene un nivel de regulación hiperanual de alrededor del 72%. La obra cuenta con un aliviadero del tipo Lateral de Trinchera con un cimacio cuya longitud vertedora es de 140.0 m, capaz de evacuar 2400.0 m^3/s para una probabilidad del 0,5 %. La construcción del embalse trajo consigo la eliminación de riesgos de inundación a que estuvo sometida la ciudad de Sagua la Grande durante muchos años. Aguas abajo del mismo y próximo a la ciudad existe un sistema de protección contra inundaciones diseñado para dejar pasar el cauce hasta 1000 m^3/s. Con este caudal en el río se inundan 20.3 ha de viviendas, el resto del flujo del agua se desvía por un corredor hidráulico ubicado al este de la ciudad. No obstante a lo anterior, cuando la avenida del río es superior a los 500 m^3/s se producen inundaciones dentro de la ciudad de Sagua la Grande en algunas calles próximas a las laderas del río.

La Derivadora Sagua la Grande se encuentra construida sobre el mismo río. En la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara no se poseen datos de su construcción inicial y si algunos de su reconstrucción ocurrida entre los años 1975-1976 (Sánchez Sánchez y Portieles Pérez, 2000).

En las márgenes del tramo de la Derivadora se observan muchas construcciones aisladas que en una gran parte de los casos se han ejecutado sobre las terrazas de avenida, que como se conoce, interfieren significativamente el paso de las aguas en épocas de crecidas, provocando inundaciones indeseables en unos casos y en otros incrementando considerablemente los efectos desastrosos de estos fenómenos naturales. En este tramo, influye en la escorrentía natural de la corriente una cantidad de infraestructuras importantes entre las que se destacan la vía del ferrocarril, la carretera y dos puentes grandes. También es necesario señalar la existencia sobre el cauce y extendiéndose a ambos lados del mismo, a unos 600,0 m aguas arriba de este cierre, de una “puerta” de estrangulamiento artificial de la corriente principal construida como parte de la defensa de la ciudad de Sagua la Grande contra las inundaciones. (Anexo 6. Puertas de Sagua).

A partir de la cortina del embalse Alacranes, a lo largo del cauce viejo y hasta la propia desembocadura el río es profundo y el nivel del agua se mantiene bastante estable, aún en épocas de estiaje, ya que las entregas de la presa hacia la zona industrial de la ciudad son constantes. La profundidad media del río en todo este tramo y también aguas abajo del mismo, supera los 1,5 m.

La vegetación predominante en las terrazas y tramo en general es la caña de azúcar con la excepción de la galería a lo largo del cauce, donde puede observarse la mayor diversidad arbórea característica de zonas donde se mantiene un alto grado de humedad.

La red hidrográfica del trayecto en el área que estamos analizando no es abundante, destacándose sólo tres arroyos sin nombres a lo largo de este tramo hacia el mar, dos de ellos por la margen

derecha y uno por la izquierda. De ellos tres, el más importante es el que pasa cercano al poblado Sitiecito, que a su vez es el más largo del tramo y nace al suroeste del Central Unidad Proletaria por encima de la cota 100,0 metros sobre el nivel medio del mar.

Dentro de las obras protectoras una significativa relevancia tienen las que protegen a la ciudad de Sagua la Grande, hoy limitadas a regular los vertimientos del embalse Alacranes situada a 8 km aguas arriba. Las obras de protección de la Ciudad Sagua la Grande son las Puertas de Sagua y el Sistema Armonía que incluye los diques Armonía y Viana, así como el corredor del Piñón con sus dos diques.

1. Puertas de Sagua

Las Puertas de Sagua comprenden 4.1 km de Diques de 5 metros de altura en ambas márgenes del río, tienen Categoría I y están diseñadas para la avenida de 0.5% (ver Tabla 3.2 y Anexo 5). El dique en la margen izquierda tiene 3.0-1.0 m de altura y 690 m de longitud y el dique de la margen derecha tiene 4.0 m de altura y 3155 m de longitud. Las puertas tienen un aliviadero de paredes anchas en el cauce del río, de 22.5 m de ancho y 9 m de altura, en el sitio donde se localiza la Derivadora Sagua. Las puertas están situadas a 2 km aguas arriba de la ciudad de Sagua la Grande y solo permite el paso entre 1000 - 1100 m^3/s para avenidas de 0.5% que es de 2400 m^3/s.

En el punto de entrada a las Puertas, en ambas márgenes, se construyeron dos diques protectores. El más importante, por ser por el que se desvía el mayor caudal, es el dique Armonía, en la margen derecha del río, con 3.0 m de altura y 10.162 km de longitud; que es continuado por el Dique Viana, con 3.0 m de altura y 12.300 km de longitud, llevando el agua desviada al corredor del Piñón y a través de este al mar. El corredor del Piñón tiene dos diques:

- Dique izquierdo: 3.0 m de altura y 12.0 Km de longitud.
- Dique derecho: 3.0 m de altura y 9.70 Km de longitud.

Según lo establecido en la Regulación de Proyectos No 001/91 “Categoría de las obras hidrotécnicas y probabilidades de superación de los gastos máximos”, se establecen parámetros para las distintas Categorías de las obras de protección.

En la Tabla 4 se resumen los datos de la categorización de las obras de protección en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande, acorde con los datos hidrológicos actualizados al año 1992 (Díaz Paz, Pérez Álvarez, 1992). Según estos autores, la avenida del 0.5% produce la rotura del Dique Armonía y la división del gasto en dos partes, una parte se va por el Dique Viana hacia el Corredor Piñón hacia la costa y la otra a través del sistema de riego. Por la poca pendiente y lo ancho del frente, las velocidades serán pequeñas y la destrucción en los canales de riego será insignificante.

Tabla 4 Categorización de las obras de protección.

Obra	Tramo	Categoría	Avenida de diseño %
Dique margen derecha	Est 0+00:6+90	I	0.5
Dique margen izquierda	Est 0+00: 34+48	I	0.5
Dique Armonía	Est 70+00: 101+62	III	1
Dique Armonía	Est 0+00: 70+00	IV	1
Dique Viana	Est 0+00: 34+60	IV	1
Dique Piñón izquierdo	12 Km	IV	1
Dique Piñón derecho	9.7 Km	IV	1

El estado técnico actual de la obras de protección en la cuenca Sagua la Grande, según las inspecciones técnicas visuales realizadas a las obras de protección de la ciudad de Sagua la Grande y Sistema Armonía (Díaz Paz, Pérez Álvarez, 1992), no es el adecuado, siendo necesario ejecutar el mantenimiento correspondiente.

Según levantamiento realizado por especialistas de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara (Carmona Arguelles y Pérez Álvarez, 2008), el estado técnico de los Diques y Canales Colectores de Drenaje asociados a los mismos se evalúan de regular atendiendo a que se encuentran construidos según el trazado y diseño elaborados por la Empresa de Proyectos Hidráulicos de la provincia, mantienen su integridad desde el punto de vista constructivo, además de haber funcionado y cumplido su objetivo en los momentos en que han ocurrido eventos de lluvias intensas. El hecho de no haber recibido mantenimiento de ninguna índole desde su construcción y presentar una cubierta vegetal heterogénea, en gran medida marabú y otros arbustos de carácter permanente con gran desarrollo, avala la calificación antes mencionada, lo cual si no es tan agravante en los diques desde el punto de vista de su funcionamiento, si lo es en los colectores de drenaje y la zona adyacente paralela a los mismos por donde transitan las avenidas creando un obstáculo natural que puede alterar su comportamiento y propiciar incluso la rotura de los diques.

3.4.1. Valoración del peligro de inundación por intensas lluvias

El peligro de inundación por intensas lluvias en el área de estudio es considerado como alto atendiendo al aumento y frecuencia de la ocurrencia de los eventos naturales, además de la incidencia del hombre al invadir las áreas vulnerables a inundación; colocando estructuras y realizando actividades que requieren protección.

La causa principal que propicia la ocurrencia de las inundaciones son las lluvias y en nuestro caso tienden a incrementarse en función de diversos factores meteorológicos como son los huracanes en la zona caribeña, asociadas a fuertes vientos y lluvias intensas motivadas por la misma depresión tropical.

3.4.1.1. Comportamiento de las precipitaciones y escurrimiento

En este sector de la cuenca el comportamiento del factor disipador de precipitaciones en sus componentes de intensidad y periodo de recurrencia determinan la existencia de zonas de mayor probabilidad de manifestaciones de lluvias intensas, según los rangos de valor de precipitaciones entre 50- 200 mm, 200- 400 mm y 400-600mm, en un tiempo de 24 horas.

El comportamiento de las lluvias máximas de 24 horas que provocan inundación según el análisis realizado de la serie de pluviómetros representativos, en la cuenca, nos muestra que para la probabilidad del 1%, la lluvia máxima caída está en los 278.0 mm de lluvia, como se puede apreciar en la Figura 6. Estos datos estadísticos fueron obtenidos de las series observadas desde el año 1996 hasta la fecha de los pluviómetros representativos de la cuenca, los que pueden cambiar en un futuro a partir de los efectos del Cambio Climático en nuestro país.

Esta probabilidad de sobrepaso (calculada utilizando la Curva de probabilidad posicional) significa que esa lluvia puede ser igualada o superada como promedio una vez en una serie de 100 años.

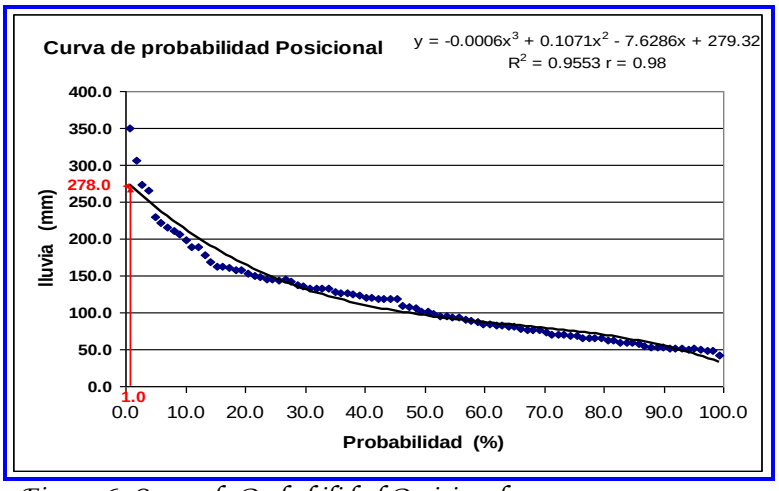


Figura 6. Curva de Probabilidad Posicional.

3.4.1.2. Comportamiento de los gastos en función de las precipitaciones

En el área de estudio las avenidas hidrológicas debido a las lluvias continuadas, por ser la parte baja de la cuenca poco permeable o por estar saturadas por el agua, muchas veces causan sus efectos sobre el río, sobre todo si ha recibido las aguas de varios afluentes importantes, experimentando una crecida compleja. Las avenidas excepcionales causadas por precipitaciones intensas ocurren con rapidez, por lo que generalmente causan daños a las poblaciones y a la infraestructura económica.

El aumento de las inundaciones puede considerarse severo siempre que ocurran lluvias que originen gastos máximos desde el embalse Alacranes y escurrimientos directos de las subcuencas aledañas, mayores de 1000 y 1100 m^3/s, que son los gastos máximos que puede evacuar el sistema de protección de la ciudad (Puertas de Sagua).

Con esta lluvia máxima caída de 278 mm en 24 horas se producen inundaciones en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande, que al analizar los gastos picos para la ocurrencia de avenidas máximas, para la probabilidad de 1%, estas serian de 985.0 m^3/s.

Los Gastos máximos anuales fueron calculados para las distintas probabilidades de ocurrencia aprovechándose datos de estudios anteriores y otros se calcularon utilizando las formulas empíricas recomendadas por el profesor G.A. Alexeev en su trabajo "Cálculo de escurrimientos máximos basados en la intensidad extrema del escurrimiento y las precipitaciones". Los gastos fueron calculados en cada punto de cierre para cada punto de influencia. Para el cálculo de los mismos se sumaron los higrógrafos parciales y se obtuvo el higrógrafo resultante. De igual forma se tuvieron en cuenta los tiempos de retardo en minutos para las distintas probabilidades de ocurrencia.

Para obtener el gasto pico para las distintas probabilidades, se calculan las resultantes de los diferentes tramos, del higrógrafo del escurrimiento máximo que transforma cada embalse en la corriente transitada por el cauce del río correspondiente y desplazada según el tiempo de retardo. La suma ordenada de ambos higrógrafos superpuestos, van formando la resultante por tramos.

Higrógrafos y volúmenes de avenidas

En el estudio de comportamiento de las avenidas del río Sagua la Grande hasta la entrada de la ciudad del mismo nombre en el lugar conocido como "Las Puertas" realizado en el año 2003 por especialistas de la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos se tuvieron en cuenta las transformaciones y vertimientos de las presas construidas aguas arriba del embalse Alacranes y el análisis de la probabilidad de ocurrencia.

Están calculados los gastos máximos anuales según el escurrimiento máximo basado en la intensidad extrema del escurrimiento y las precipitaciones, así como los tiempos de retardo para estas probabilidades para los diferentes tramos de afluencia.

Según las resultantes de los hidrógrafos del escurrimiento máximo que transforma las aguas reguladas en los embalses en la corriente del mismo nombre, transitando por los cauces y desplazado según el tiempo de retardo hasta el punto calculado, a las Puertas de Sagua llegan los gastos máximos que se exponen en la Tabla 5.

Tabla 5. Gasto pico a las Puertas de Sagua.

	Gastos para las distintas probabilidades en $m^3. S^{-1}$					
	0.5%	**1.0%**	**2.0%**	**3.0%**	**5.0%**	**10.%**
Las Puertas	1350	985	870	790	565	430

Teniendo en cuenta que los embalses que tienen influencia sobre este sector de la cuenca, (Arroyo Grande II, Palmarito y Alacranes), se consideraron en cotas de nivel de aguas normales y que los vertimientos transformados de los embalses debido a las avenidas influyen en los volúmenes de los

puntos de cálculo, se determinaron para cada unos de ellos para distintas probabilidades los volúmenes de avenidas que se dan en la Tabla 6.

Tabla 6. Volúmenes de avenidas.

	Volúmenes de avenidas para distintas probabilidades hm^3					
	0.5%	**1.0%**	**2.0%**	**3.0%**	**5.0%**	**10.%**
Las Puertas	410	342	276	253	218	179.4

En la Tabla 7 se exponen los niveles que alcanzan los gastos máximos para las diferentes probabilidades en las Puertas de Sagua.

Tabla 7. Niveles de gastos máximos a las Puertas de Sagua.

Variantes	Niveles en metros que alcanzan en Las Puertas de Sagua los gastos máximos en $m^3. s^{-1}$ para diferentes probabilidades.					
	0.5%	**1.0%**	**2.0%**	**3.0%**	**5.0%**	**10.0%**
1	17.77	17.52	17.45	17.36	17.23	17.00
2	17.95	17.68	17.60	17.50	17.28	17.12

3.4.2. Determinación de las zonas vulnerables a inundación por intensas lluvias

El mapa de zonas vulnerables elaborado se muestra en el Anexo 7. En el mapa se muestran las zonas con probada vulnerabilidad (vulnerabilidad total para una probabilidad de 50 años) ante los peligros de inundación por intensas lluvias. (INRH., 1997).

Según los resultados que se exponen en el Diagnóstico preliminar. Peligro, Vulnerabilidades y Riesgos de desastres en escenarios de Villa Clara (CESAM, 2011), en la cuenca baja del río Sagua la Grande se encuentran los siguientes tipos de vulnerabilidades:

a. Vulnerabilidad estructural.

La vulnerabilidad estructural más alta se representa en el municipio de Sagua la Grande, dado que gran cantidad de zonas que presentan vulnerabilidad estructural media. El poblado de Isabela de Sagua presenta vulnerabilidad estructural considerable en relación con el resto del municipio, dada la combinación de una elevada fracción de viviendas de tipología III (viviendas de muros y cubiertas de madera) y tipología IV (viviendas de muros y cubiertas de fibra vegetal) calificadas como de mal estado técnico.

b. Vulnerabilidad no estructural.

Con mayor vulnerabilidad en las vías de comunicación ante un peligro alto de inundación por intensas lluvias, resultan ser el pueblo Isabela de Sagua y el poblado La Nueva Isabela (con interrupción en la Carretera que une a ambos). Son vulnerables además las zonas de defensa Villa Alegre, San Juan Finalet, sobre todo en el sector este de la ciudad y en la zona de Sitiecito, sobre el cauce del río

principal en la carretera de acceso a la cabecera municipal, aguas abajo del aliviadero del embalse Alacranes.

Para un evento de intensidad media y peligro medio de inundación por intensas lluvias y de probabilidad de ocurrencia cada 10 años, se añade a la zona de Mariana Grajales a la altura del poblado de Sitio Grande, sobre la Carretera Santa Clara- Sagua la Grande y Cifuentes Oeste, ambos en el municipio Cifuentes.

c. Vulnerabilidad social.

Según la intensidad del peligro, la población afectada de la población total, concentrada en asentamientos y dispersa en áreas rurales, considerando el promedio de habitantes por viviendas afectadas.

Tabla 8. Población vulnerable a inundaciones por intensas lluvias.

No	Zonas	Población
1	San Juan Finalet	6926
2	Coco Solo – Pueblo Nuevo	11323
3	Circunscripción Especial Armonía	148
4	Villa Alegre	5937
5	Reparto 26 de Julio	4839
6	Viana – La Rosita	2803
	TOTAL	**31976**

c. Vulnerabilidad ecológica.

La vulnerabilidad ecológica se localiza en los Mogotes Jumagua, en la zona de Jumagua-Caguagua, la cual sufre inundaciones ocasionadas en parte por las condiciones naturales del escenario de peligro reforzadas por la influencia de obras hidrotécnicas del Complejo MACUM. Estas se localizan en la periferia del área de estudio.

e. Vulnerabilidad económica.

Las zonas industriales en riesgo en áreas de inundación por intensas lluvias como elemento de la vulnerabilidad económica en caso de peligro alto tienen su mayor expresión en la zona de Isabela – Nueva Isabela y Reparto 26 de Julio en la ciudad de Sagua la Grande.

Otras áreas que presentan vulnerabilidades en zonas industriales pero en orden más bajo son: Centro Victoria, Villa Alegre, Jumagua, Caguagua, San Juan Finalet.

El análisis de vulnerabilidad económica en áreas cultivadas respecto a cada uno de los eventos de peligro se fundamentó en la asignación progresiva del mayor valor a medida que se transita por las áreas de cultivo afectado en los periodos de 5, 10 y 50 años.

Tabla 9. Vulnerabilidad en áreas afectadas para diferentes períodos de retorno.

No	Zonas afectadas	Inundación 5 años (ha)	Inundación 10 años (ha)	Inundación 50 años (ha)
1	San Juan Finalet	1274.28	1551.22	3215.53
2	Isabela – Nueva Isabela	166.44	2326.64	4557.74
3	Jumagua - Caguagua	118.80	1214.36	1343.61
4	Circunscripción Armonía		1440.97	1879.02
5	Coco Solo – Pueblo Nuevo		507.00	784.94
	TOTAL	**1559.52**	**7040.19**	**11780.84**

3.4.3. Determinación y clasificación de zonas de riesgo de inundación por intensas lluvias

El Anexo No 7 se muestran las zonas de riesgo de inundación por intensas lluvias, las que acentúan el peligro por sus características de relieve bajo y por presentar infraestructuras (caminos, vías férreas, edificaciones, infraestructura hidráulica dañada). Estas zonas se enmarcan dentro de las zonas vulnerables (ver Anexo 8), identificadas en el Diagnóstico preliminar, (CITMA,. 2011).

<u>En infraestructuras hidráulicas. Derivadora Sagua la Grande</u>.

En las márgenes del tramo se observan muchas construcciones aisladas que en una gran parte de las casas se han ejecutado sobre las terrazas de avenidas, que como se conocen interfieren significativamente en el paso de las aguas en épocas de crecidas, provocando inundaciones indeseables en unos casos y en otros incrementando considerablemente los efectos desastrosos de estos fenómenos naturales.

<u>En zonas dentro del perímetro urbano</u>.

Según datos registrados en el Instituto de Meteorología y el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, se estimó la posible ocurrencia de lluvias máximas, por rangos que pueden caer en la parte baja de la cuenca y su periodo de recurrencia o retorno, expresado para 5, 10 y 50 años.

El comportamiento del factor disipador de precipitaciones, en sus componentes de intensidad y periodos de recurrencia, determinan la existencia de zonas de mayor probabilidad de manifestación de estas lluvias, según los rangos de valores de precipitación en 24 horas: entre 50 y 200 mm, 200 y 400 mm, y entre 400 y 600 mm.

Las zonas de mayor peligro de inundación para las distintas probabilidades de ocurrencia se expresa en la Tabla 10.

Tabla 10. Zonas de mayor peligro de inundación.

Municipio	Zonas de Defensa/Consejos Populares		
	Peligro Alto (p_1) 5 años	**Peligro Alto (p_2) 10 años**	**Peligro Alto (p_3) 50 años**
Sagua la Grande	Isabela Nueva Isabela	Isabela Nueva Isabela Coco Solo - Pueblo Nuevo San Juan - Finalet.	Coco Solo - Pueblo Nuevo San Juan - Finalet. Villa Alegre Centro Victoria

La zona del curso bajo del río Sagua la Grande es la que presenta mayor peligro de inundación, en ella se localizan asentamientos poblacionales e instalaciones económicas que son afectadas, tales como: las ciudades de Sagua la Grande y la comunidad de Isabela de Sagua, en ellos la transformación hecha por el hombre, los hacen más propensos a sufrir los efectos de inundaciones ante la ocurrencia de altas precipitaciones. De igual forma el efecto combinado de escorrentías intensas por el cauce del río principal que drena hacia la zona costera y las penetraciones del mar, generan una sobre elevación del nivel del agua acumulada en áreas de la desembocadura, afectando asentamientos poblacionales e instalaciones ubicadas en la zona, como es el caso de Isabela de Sagua, situada sobre el delta del río.

Atendiendo al nivel de importancia de los valores asignados en el componente natural y la valoración del componente antropogénico (corroborado por los registros históricos de inundaciones) nos permite señalar como las zonas de mayor susceptibilidad a: Isabela, Nueva Isabela, San Juan-Finalet, Coco Solo-Pueblo Nuevo y Villa Alegre en el municipio de Sagua la Grande.

3.4.4. Plan de medidas frente a riesgo de inundación por intensas lluvias

Para minimizar y atenuar los efectos negativos producto de las inundaciones por intensas lluvias se deben tener en cuenta las siguientes medidas:

a) <u>En las obras de protección contra inundaciones</u>.

1. Terminar la construcción y/o reconstrucción según las recomendaciones dadas en el “Informe sobre la evacuación de las aguas del río Sagua la Grande, aguas abajo del embalse Alacranes, tomando en consideración la protección de la ciudad de Sagua la Grande y la derivación de los gastos máximos en exceso a través del Sistema Armonía, confeccionado por especialistas de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. (Tabla 11)

Tabla 11. Plan de medidas en las obras de protección contra inundaciones			
No	**Obras**	**Incidencias**	**Medidas**
1	**Dique de la margen izquierda**	❖ No esta ejecutada la reparación concebida en el proyecto que incluye el recrecimiento hasta la cota 20.8 m, la construcción del parapeto en el tramo inmediato al aliviadero de paredes anchas y la prolongación de 160.0 m, para la avenida de cálculos del 0.5% de probabilidad.	❖ Ejecutar recrecimiento del dique de protección de la margen derecha.
2	**Aliviadero de paredes anchas**	❖ De los trabajos de recrecimiento previstos, solo al muro derecho se la han fundido uno de los cajones.	❖ Ejecutar recrecimiento de los muros en el aliviadero de paredes anchas.
3	**Dique de la margen derecha**	❖ Falta la construcción del tramo de la Est 31 + 55 a la Est 34.48 que es la intercepción del Dique con el camino Sitiecito-Sagua y la unión con el muro del aliviadero en la margen del río. Este tramo lleva un parapeto de 0.7 m de altura en una longitud de 42.0 m del cual solo se ha fundido el cimiento. El talud mojado va revestido con rajón desde la Est 11+00 a la 21+60 y de la 29+35 a 34+48. ❖ Entre las estaciones 27+00 y 29+50 (a 600 m del río) el dique está sin construir en una longitud de 150 m. ❖ En la Est 17+00 se presenta igual situación en una longitud de 50.0m.	❖ Construir obras de intercepción del camino Sitiecito-Sagua y dique de la margen derecha. ❖ Ejecutar enrrocamiento del talud mojado en los tramos establecidos en el proyecto. ❖ Ejecutar construcción de los 150 m de diques. ❖ Ejecutar construcción de 50 m de diques.
4	**Dique Armonía**	❖ En las estaciones 24+00, 54+40 y 72+50 el dique es interceptado por caminos donde generalmente se ha rebajado la cota de corona de 1-2 m. ❖ Entre la Est 100+00 y 120+00 (200 m) el dique tiene aproximadamente 2.0 m por debajo de la cota de corona respecto a la zona adyacente.	❖ Restablecer el diseño de diques mediante la construcción de obras adecuadas en las intercepciones del Dique Armonía y los caminos La Rosita-Sagua y La Rosita – Mendamio. ❖ Llevar hasta la cota de corona un tramo de 200 m.
5	**Dique Viana**	❖ Se realizó la reconstrucción proyectada en el dique desde su interacción con el Dique Armonía hasta el Corredor Piñón.	❖ No se señalan medidas.

Tabla 11. Plan de medidas en las obras de protección contra inundaciones (continuación)			
No	**Obras**	**Incidencias**	**Medidas**
		❖	❖
6	**Corredor Piñón.**	❖ El camino Calabazar-Piñón intercepta ambos diques y se rebajó la corona en ambos lugares entre 1-2 m. ❖ La curvatura del dique derecho del antiguo corredor que debió eliminarse en una longitud de 1550 m no se ha realizado.	❖ Restablecer el diseño de diques mediante la construcción de obras adecuadas en la intercepción del Dique Armonía y el camino Calabazar-Piñón en ambos diques del corredor. ❖ Eliminar la curvatura del dique derecho.
7	**Tramo Evacuador**	❖ No se ha realizado la nivelación del camino Sitiecito Sagua en los 2 km previstos. ❖ No se cumple lo recomendado al comienzo del tramo evacuador pues solo una parte está cubierta de pastos y el resto por árboles frutales, maderables y plátano. ❖ Próximo a la comunidad La Rosita existen dentro del tramo evacuador instalaciones pertenecientes al CAI Héctor Rodríguez	❖ Nivelar el camino Sitiecito-Sagua al comienzo del tramo evacuador. ❖ Eliminar la zona de bosques y vegetación alta al comienzo del tramo evacuador. ❖ Eliminar las instalaciones pertenecientes al CAI Héctor Rodríguez dentro del tramo evacuador.
8	**Poblado Sitiecito**	❖ Existe una zona de viviendas próxima a la confluencia del arroyo Sitio Grande con el río Sagua la Grande que puede ser afectada al alcanzar el río los niveles máximos.	❖ Prever posibles evacuaciones en el poblado de Sitiecito en zonas de viviendas ubicadas en la confluencia del río Sagua la Grande y el Arroyo Sitio Grande en caso de producirse la Avenida del 0.5% de probabilidad.

b) En las zonas de perímetro urbano.

Estrategia para el enfrentamiento a fenómenos meteorológicos acompañados de fuertes lluvias y mitigar nocivos efectos sobre la población y la economía:

1. Ubicación de nuevos pluviómetros en la red hidrográfica o de telecorreos que permitan crear un Sistema de Alerta Temprana a posibles inundaciones.
2. Con el mismo fin crear secciones de escala en lugares específicos del río Sagua la Grande que permitan medir su nivel.
3. Diseñar un programa de conjunto con el Instituto de Meteorología que empleando la serie de lluvias alerte sobre la ocurrencia de avenidas e inundaciones.
4. Minimizar el impacto ambiental de las actividades humanas que se basan en usos extractivos de recursos naturales.
5. Accionar para mejorar las condiciones ambientales de la cuenca baja del río Sagua la Grande y mitigar la carga dispuesta al medio.

Los puntos 1 y 2 son coincidentes con los ubicados según el Proyecto de Sistema Primario de prevención contra inundaciones en la provincia de Villa Clara (INRH 2013), realizado este para el control de la avenida del río principal y su influencia en la inundación en la ciudad de Sagua la Grande.

3.5. Análisis de riesgos asociados al peligro de inundaciones por rotura de presas

Ante la rotura del dique, por su riesgo el embalse Alacranes es catalogado como RIESGO A (Clasificación del impacto que pudiera provocar por su rotura), ya que produciría daños materiales de consideración aguas abajo del aliviadero para un gasto de afectación de 1100 m^3/s equivalente a una probabilidad del 0.5% (Wikipedia browser. Categoría: Desastres naturales / Medio Ambiente. Riesgos naturales, 2013).

Según los diseños preliminares de embalses es necesario valorar las pérdidas que implicaría la destrucción de la obra, tanto materiales como de vidas humanas. Este conjunto de factores se tienen en cuenta en la Regulación de Proyecto No 001/91 “Categoría de las obras hidrotécnicas y probabilidad de superación de los gastos máximos”, lo que especifica el factor de seguridad utilizado en el diseño de la obra.

El factor de seguridad utilizado en el diseño de embalses según la Regulación antes mencionada toma en cuenta las pérdidas, tanto materiales como de vidas humanas, que implicaría la destrucción de la obra.

Según la Regulación de Proyecto No 001/91, el embalse Alacranes es una obra hidrotecnia principal. Los criterios preliminares de diseño de los parámetros técnicos que se establecieron durante la construcción se exponen en el Anexo 9 (INRH., 2012).

3.5.1. Valoración del peligro de inundación por rotura de la presa Alacranes

En el caso de la ocurrencia de inundaciones por rotura de presas, el peligro radica en el comportamiento de la estabilidad de la cortina, por lo que se hace necesario realizar investigaciones y mediciones sistemáticas. El fenómeno de filtración, en el caso de las cortinas de tierra, es el factor principal, del cuál depende la seguridad, estabilidad y explotación sin averías, lo que constituye un peligro para la seguridad de la obra.

Durante el periodo de explotación de un embalse, actúan sobre la cortina y demás objetos de obra, fuerzas internas, bajo la influencia de las cuales, disminuye la resistencia de los materiales de construcción, por lo que en algunos casos puede producirse roturas y averías prematuras, como resultado del envejecimiento, es decir por la llamada rotura natural.

El pronóstico de establecer el tiempo de rotura prematura y también de la rotura natural de las cortinas y los demás objetos de obra de los embalses, solo es posible por medio de la organización y realización del Control Técnico Sistemático sobre los fenómenos que se desarrollan, además de las Inspección Técnica Visual de los Conjuntos Hidráulicos. Mediante estos se establecen las observaciones instrumentales implantadas en: la Red Piezométrica, Red Hidrométrica para el control de las filtraciones y la Red para el control y el estudio de las deformaciones. De igual forma las inspecciones visuales de las mismas se realizan con el objetivo de mantener actualizado el estado técnico de éstas, conocer a tiempo y controlar las deformaciones y procesos que ocurren en las obras hidráulicas además de permitir que se planifiquen oportunamente los mantenimientos y reparaciones.(Michev M, 1985).

3.5.2. Determinación de zonas vulnerables a inundación por rotura de presas

En el mapa de zonas vulnerables (Anexo 10) se muestran las zonas de inundación para cuando el embalse está en el nivel de aguas normales (NAN) al momento de la rotura. Para niveles del embalse inferiores al NAN al momento de la rotura, las zonas vulnerables serían menores como se aprecia la tabla de los resultados de los cálculos (Tabla 12).

Las zonas de mayor peligro ante la ocurrencia de rotura el embalse se delimitaron por secciones, teniendo en cuenta los resultados del cálculo de rotura y tiempo de retardo para el embalse Alacranes, donde se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las zonas de inundación se interpoló entre secciones asumiendo que el nivel de agua de una a otra sección varía linealmente.

- Las zonas de inundación que se derivan de este cálculo se deben usar para tener un criterio previo con un gasto de aproximación elemental según lo expresa la Metodología de Cálculo adoptada por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

En la tabla que a continuación se expone, se aprecian las principales características de las zonas afectadas.

Tabla 12. Características de las zonas afectadas.

Para NAN (Nivel de Aguas Normales)				
Sección	**Distancia (m)**	**Q (m3/s)**	**H (msnmm)**	**Tiempo (h)**
Sección 1 **(Zona I)**	2000	6454	21.1	0.66
Sección 2 **(Zona II)**	5300	6353	20.2	1.43
Sección 3 **(Zona III)**	7550	6285	17.0	2.0
Sección 4 **(Zona IV)**	9750	6210	11.1	2.37
Sección 5 **(Zona V)**	12200	6150	9.8	3.12

En el mapa se definen, a lo largo del cauce del río Sagua la Grande, los puntos del 1 al 5 que indican los límites de las zonas o de las secciones establecidas en la anterior tabla (ver Anexo 10).

Zona de impacto I.

Se delimita entre el aliviadero del embalse y el punto número 2. Es la zona de mayor impacto por recibir de golpe gran cantidad de masa de agua. Se afecta parte de la infraestructura hidráulica del embalse, importantes objetivos económicos y sociales como la Estación de Alevinaje Alacranes, escuela Octavio García y población aproximada de 50 habitantes.

Zona de impacto II.

Se delimita entre los puntos números 2 y 3. Se afectan áreas de cultivos aledañas al río. Se interrumpe el paso por la Carretera Santa Clara a Sagua la Grande y vía del ferrocarril hacia la misma ciudad y la periferia del poblado de Sitiecito, con una población aproximada de 161 habitantes.

Zona de impacto III.

Se delimita entre los puntos números 3 y 4. se inunda parte del poblado de Sitiecito y el poblado de Santa Rosalía con una población aproximada de 200 habitantes, además de zonas de cultivos aledañas al río.

Zona de impacto IV.

Se delimita entre los puntos números 4 y 5. En esta zona el área es más estrecha por el relieve que presenta, culminando este con las denominadas Puertas de Sagua. Se afectan las casas cercanas al Dique y a las puertas de Sagua.

Zona de impacto V.

Se delimita entre los puntos números 5 y 6. La zona comienza desde las denominadas Puertas de Sagua hasta el puente de hierro en la ciudad de Sagua la Grande. Se afectan objetivos económicos como la Electroquímica. Los limites previstos para la avenida se enmarcan fundamentalmente para la Margen Izquierda hasta la altura de la Calle Colon en toda su extensión, nueve manzanas entre las calles Abarran y Pinto, hasta la altura de la Línea del ferrocarril. se afectan también de forma parcial, cuatro manzanas entre las calles Menéndez, Capote y León. Para la Margen derecha las afectaciones se limitan al área comprendida entre el río y la carretera al Complejo Agroindustrial Antonio Finalet y Avenida 24 de febrero (población afectada, aproximadamente 1000 habitantes.

3.5.3. Determinación y clasificación de zonas de riesgo de inundación por rotura de presas

La probabilidad de que ocurra una rotura de embalse es muy baja debido a que los embalses se diseñan con altos factores de seguridad, por lo que el factor probabilidad dado es muy bajo. La magnitud de los daños va a depender del nivel de agua que tenga el embalse al momento de la rotura y eso es el aspecto principal que puede cambiar el nivel de riesgo. De hecho, se considera que hay mayor probabilidad de rotura de una presa cuando el caudal se encuentra lleno. Debido a las condiciones anteriormente explicadas, se asume que las zonas vulnerables son las mismas que las de mayor riesgo, para las únicas que se dispone de información. Por ello, el mapa de zonas vulnerables es coincidente con el de máximo riesgo (Anexo 10).

3.5.4. Plan de medidas frente a riesgo de inundación por rotura de presas

Teniendo en cuenta que ante la ocurrencia de la rotura del embalse debe actuarse de forma rápida deben tenerse en consideración las siguientes medidas:

- Realizar sistemáticamente el control técnico sistemático y las inspecciones técnicas visual al embalse Alacranes con la finalidad de detectar cualquier anomalía que pudiera perjudicar la estabilidad de la presa.
- La población debe conocer con anterioridad como actuar en este caso, y ante la ocurrencia de este desastre la evacuación debe ser en sentido transversal al río.
- Actualizar periódicamente los planes contra catástrofes y las medidas de protección para estos casos.

- ❖ Tener identificadas las zonas vulnerables y la población afectada para la posible evacuación en caso necesario.
- ❖ Tener organizada la evacuación o traslado rápido de los residentes y sus propiedades.

3.6. Conclusiones parciales

1. Se demuestra que en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande las afectaciones por el peligro de inundaciones tiene una larga historia, peligro que en la actualidad se acentúa por la polarización de las lluvias, al esperarse periodos húmedos con lluvias y fenómenos climáticos (huracanes) de mayor intensidad.
2. La aplicación de la matriz de importancia refleja que la generación de residuos tóxicos peligrosos y las inundaciones por intensas lluvias o rotura de presas, son los dos principales peligros hídricos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande.
3. Los peligros hídricos más impactantes en el área de estudio son: la generación de residuos tóxicos peligrosos y las inundaciones por intensas lluvias o rotura de presas, por su incidencia negativa en las actividades socioeconómicas y sociales, teniendo al hombre y la naturaleza como factores principales.
4. El peligro de inundaciones en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande es mitigado por un conjunto de obras protectoras (diques y canales) y de reguladoras (embalses) en la cuenca.
5. La aplicación del análisis de riesgos he permitido delimitar las zonas vulnerables y de riesgos, así como establecer planes de medidas para la eliminación o mitigación de los riesgos identificados.

CONCLUSIONES.

- La Metodología propuesta es aplicable al estudio de riesgo en las demás cuencas hidrográficas del territorio.

- Existe relación entre el incremento de la susceptibilidad a inundaciones por intensas lluvias y la presencia de elementos antrópicos, destacándose los asentamientos poblacionales situados en los planos de inundación y obras viales e hidráulicas que interceptan flujos, modificando los patrones de escorrentía.

- Es necesario e imprescindible el Control Técnico y las inspecciones visuales a los objetos de obra de la infraestructura hidráulica para prevenir eventos indeseados que pueda afectar la vida de las personas.

- Es imprescindible tener en pleno funcionamiento el Sistema de Alerta Temprana, el que de forma conjunta se pone en plena disposición por el Centro Meteorológico Provincial y la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, para tomar a tiempo las medidas necesarias en cuanto a la evacuación de los habitantes residentes en las zonas de peligro de inundación por intensas lluvias.

RECOMENDACIONES:

- Utilizar los resultados del trabajo en el plan de ordenamiento territorial de la cuenca del río Sagua la Grande.
- Facilitar el trabajo a la Defensa Civil para que sea utilizado en la toma de decisiones ante la ocurrencia de catástrofes o eventos hidrometeorológicos complejos en la región.
- Generalizar este tipo de análisis a otras Cuencas hidrográficas del país con altos riesgos de inundación.

BIBLIOGRAFIA

1. Alonso Domínguez, G., Rodríguez Fuentes., ME. (2011): Enfrentamiento al Cambio Climático en Cuba.
2. Álvarez Cedeño, R., Betancourt Lavastida, JE., Puig González, MA. (2010): Fortaleza frente a huracanes (1959-2008). Editorial Científico Técnico. La Habana.
3. Armas Novoa, R., Horta Mestas, E. (1987): Presas de Tierra.
4. Armentero Ordoñez, T. (2004): Propuesta de gasto ecológico de las cuencas naturales de agua interrumpidos por obras reguladoras en la provincia de Villa Clara.
5. Andrade Pérez, A. (2004): Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integrada del recurso hídrico. PNUMA, Red de Formación Ambiental. México. DF. Pag 2.
6. Borges Ruiz, Glaudis A y otros. (2002): Compendio de conferencias sobre reducción de desastres. Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil. LA Habana.
7. Cabezas Ares, A., Fernández Cuesta, A. (2003): Evaluación del riesgo ambiental.
8. Carmona Arguelles, Y., Pérez Álvarez, JC. (2008): Levantamiento del Estado Técnico de las obras de protección contra inundaciones.
9. Cárpoforo Olivare, Alfredo. (2010): Embalses, Obras Hidráulicas. Tema 3. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, Mérida, Venezuela. Pág. 3.
10. Centella A., Llanes J., Paz L. (2011): Primera Comunicación Nacional a la Conversión Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Republica de Cuba.
11. Centro Asiático de preparativos de desastres. (2012): Kobe. Japón. Pág. 2.
12. Centro de Estudios Ambientales, CESAM Villa Clara. (2012): Diagnostico Ambiental Cuenca Sagua la Grande. Síntesis características, potencialidades y problemáticas de la cuenca del río Sagua la Grande.
13. Centro de Estudios Ambientales Cienfuegos, CESAM. (2009): Informe relación causa efecto de los problemas ambientales en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande. Pág. 10.
14. Colectivo de autores. (2002): Glosario de términos de la Defensa Civil. En: Compendio de conferencias sobre reducción de desastres. Estado Mayor de la Defensa Civil. LA Habana. Pág. 4.
15. Colectivo de autores. (2002): Logros de cuba en la reducción de los desastres naturales, En: Compendio de conferencias sobre reducción de desastres Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil. La Habana.

16. Colectivo de autores. (2002): Los desastres naturales y el desarrollo sostenible. En: Compendio de conferencias sobre la reducción de desastres Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil.
17. Conesa Fernández-Vítora, V. (3ra Edición 2000): Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental.
18. Decreto Ley 138. "De las Aguas Terrestres" (1993).
19. Defensa Civil de Cuba. (1999): Fundamentos generales de la reducción de desastres en el sistema de medidas de defensa civil de Cuba. Informe del Comité Nacional Cubano del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales. (Disponible en soporte electrónico).
20. Delegación Provincial del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). (2011): Peligro, vulnerabilidades y riesgos de desastres en los escenarios de Villa Clara. Diagnostico preliminar.
21. Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. (2013): Boletín Hidrológico. Análisis de lluvias, embalses y acuíferos. Servicio Hidrológico Provincial.
22. Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRHVC). (2011): Argumentos para que el Consejo Nacional de Cuencas evalué la cuenca Sagua la Grande, bajo el liderazgo de Villa Clara, como la oncena Cuenca de Interés Nacional.
23. Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH VC). (2012): Datos de Archivo del Puesto de Mando. Huracán Sandy.
24. Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH VC). (2008): Informe sobre las experiencias derivadas de las afectaciones de fenómenos meteorológicos acompañadas por fuertes lluvias.
25. Del Toro Sánchez, R. (2009): Evaluación cualitativa de los recursos hídricos subterráneos en la Cuenca Hidrográfica Sagua la Grande.
26. Díaz Paz, A., Pérez Álvarez, JC. (1992): Sobre la evacuación de las aguas del río Sagua la Grande, aguas abajo del embalse Alacranes, tomando en consideración la protección de la ciudad de Sagua la Grande y la derivación de los gastos máximos en exceso a través del sistema Armonía.
27. Diccionario de la Lengua Española. (1997): Decimonovena Edición.
28. Ecured: Enciclopedia Cubana. (2012): Cuencas Hidrográficas.
29. Ecured: Enciclopedia Cubana. (2012): Embalses.
30. Echarri Prim, L., Libro Electrónico Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente.

31. Empresa de Aprovechamiento Hidráulico (EAH). (2012): Proyecto sistema primario de prevención contra Inundaciones. Provincia Villa Clara.
32. Estado Mayor de la Defensa Civil (EMDC). (2005): Directiva 1 del Vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional para la organización, planificación y preparación del país para las situaciones de desastres.
33. Ferrari Brono, BV. (2004): Las inundaciones en la Republica Argentina consideradas como desastres naturales. Jornadas de Debate sobre Riesgo Hídrico, Inundación y Catástrofe. Buenos Aires.
34. Flores, E. (2001): Investigaciones Hidrogeológica de Cuba. Publicación del Quinto Curso Internacional de Agua Subterránea y Medio Ambiente.
35. García Fernández, JM., Fontova de los Reyes, M., (2012): Política Nacional del Agua (PNA 2012): Sobre la gestión integrada del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica y medidas de adaptación ante el impacto del Cambio Climático. Pág. 12.
36. García Fernández, JM. (2010): La aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integrada del recurso hídrico: Aproximación al caso cubano. Proyecto IWCAM-GEF. Pág. 4. Pág. 12.
37. García Fernández, JM. (2005): Sobre las experiencias cubanas en la institucionalización del manejo integrado de cuencas hidrográficas.
38. García Fernández, JM. (2009): Sobre las medidas de adaptación de los recursos hídricos cubanos ante el impacto de los Cambios Climáticos.
39. González Báez, A. (1997): Contaminación de Acuíferos. Publicación del primer Curso Internacional de Agua Subterránea y Medio Ambiente.
40. Guasch Echevarria, F. (2008): Bases conceptuales para un evento de causas y efecto. Taller sobre gestión de riesgos de desastres. CENAIS.
41. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC). (1996): Manual sobre Métodos de Evaluación de los impactos del Cambio Climático y las estrategias de adaptación.
42. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC). (2007): Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
43. Gutiérrez, T., Centella., M Limia. (2000): Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba. Informe Técnico.
44. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (2009): Departamento de Cuencas Hidrográficas. Boletín Primer Número. Pág. 3.

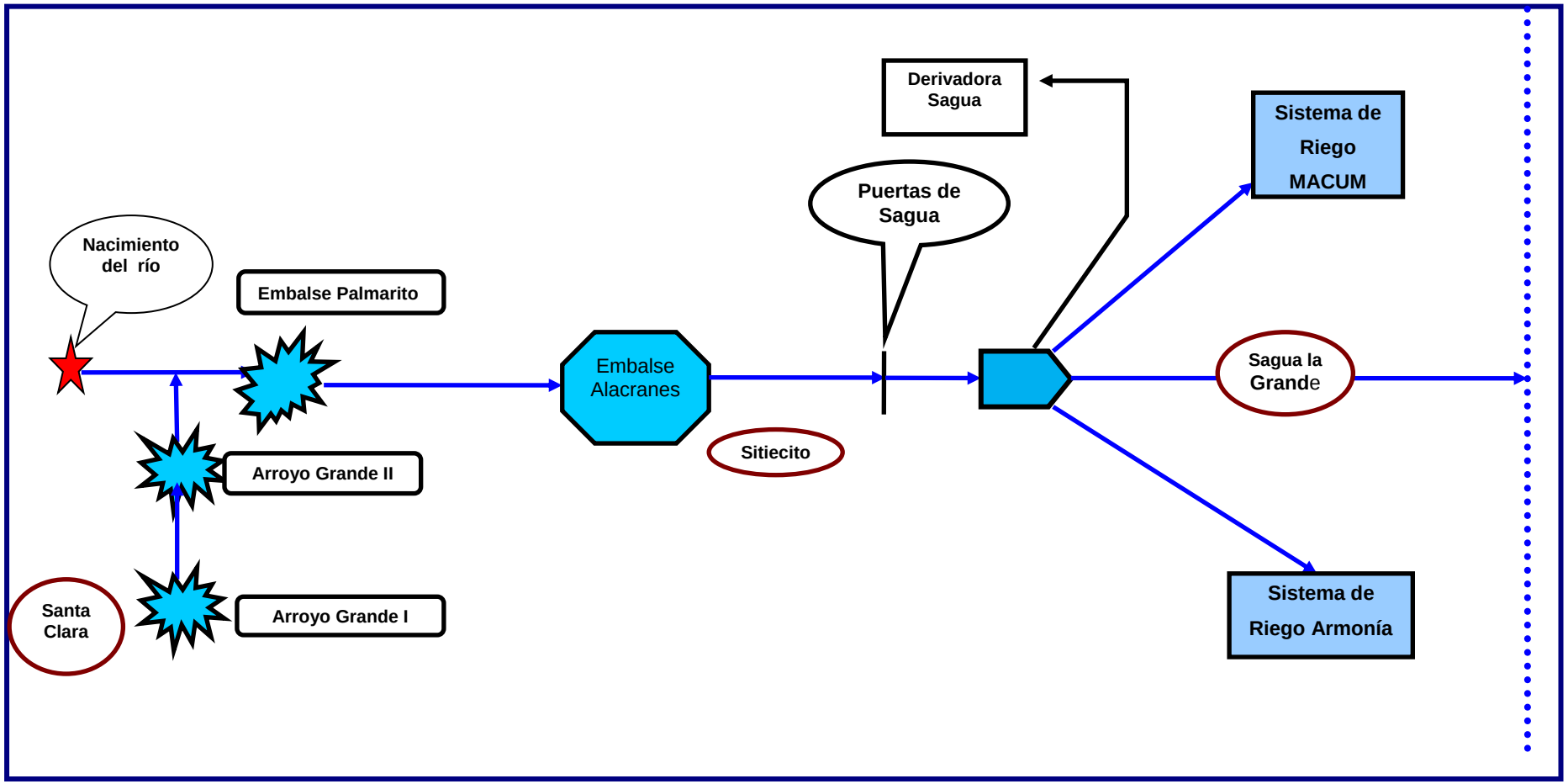
45. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (2008): Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos. Informe sobre las experiencias derivadas de las afectaciones de fenómenos meteorológicos acompañados de intensas lluvias.
46. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (2009): Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. Avenidas significativas y su transito por los embalses.
47. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (1997): Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos. Calculo de rotura y tiempo de retardo presa Alacranes.
48. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (2013): Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. Proyecto Sistema de Alerta Temprana.
49. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (1967): Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos. Grupo de Hidrología y Superficie. Pronostico de inundaciones para la defensa de la ciudad de Sagua la Grande.
50. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (1969): Memoria Hidrológica para el proyecto definitivo de la presa Alacranes en el río Sagua la Grande.
51. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (2013): Parámetros Técnicos de embalses. Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos. Departamento Técnico.
52. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Resolución 52/2007. "Reglamento del Consejo Nacional, de los Consejos Territoriales y de los Consejos Específicos de Cuencas Hidrográficas".
53. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (1991): Regulación de Proyectos No 001/91. Categoría de las obras hidrotecnias y probabilidades de superación de los gastos máximos.
54. Instituto de Meteorología. Ministerio de Ciencia Tecnologiílla y Medio Ambiente. (2013): Boletín de Vigilancia del Clima.
55. Jiménez, F., Centro Agrónomo Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Costa Rica. (2005): Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas. Enfoque y Estrategias Actuales.
56. Lecha Estela, LB. (2011): El Cambio Climático. Sus orígenes, los impactos potenciales en la salud del hombre, las medidas de litigación y adaptación adecuadas para Cuba. Centro de Estudios Ambientales Villa Clara. CESAM VC.
57. Ley No 81 "Del Medio Ambiente". (1997): Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.
58. Ley No 85 "Lay Forestal. (1998): Gaceta Oficial de la Republica de Cuba. Edición ordinaria, Año XCVI. No 46. La Habana Pág. 6.

59. Ley No 212 “Gestión de la zona costera”. (2000).
60. Matakiev, D. (1964): Presa Sagua la Grande.
61. Mena Ruiz, D. Pérez Álvarez, JC., (2009). Avenidas significativas y su transito por los embalses.
62. Michev, M. (1985): Explotación de Presas de tierra.
63. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente., Grupo de Evaluación de Riesgos. (2008): Lineamientos metodológicos para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres de inundaciones por penetraciones del mar, inundación por intensas lluvias y afectaciones por fuertes vientos.
64. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente., Grupo Nacional de Evaluación de Riesgos. (2008): Resumen ejecutivo provincial. Estudio de peligro vulnerabilidad y riego.
65. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. (2011): Peligro Vulnerabilidades y Riesgos de desastres en escenarios de Villa Clara. Diagnóstico preliminar.
66. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente., Resolución No 77/1999. Reglamento del proceso de Evaluación Ambiental.
67. Morell, I. (1997): Contaminación de las aguas subterráneas, monitoreo, evaluación, recuperación. Primer Curso Internacional de Aguas Subterráneas.
68. Moreno Mata, M.T. (2009): Indicadores Ambientales para evaluar la calidad de las aguas (ICA) y su aplicación en la Cuenca Hidrográfica Sagua la Grande.
69. Norma Cubana 93. (1999): Franjas forestales de las zonas de protección a embalses y cauces fluviales.
70. Norma Cubana 27. (1999): Vertimiento de las aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.
71. Norma Cubana 48-18.. (1983): Cálculo del efecto de la ola para la protección de taludes, Especificaciones de proyecto.
72. Norma Cubana 521. (1999): Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones.
73. Olcina Cantos J. (2010): Panel Científico Técnico de seguimiento de las políticas del agua. Universidad de Alicante. Prevención de riesgos agua. Pág. 10.
74. Organización Meteorológica Mundial (OMM). (Julio 2008): Boletín “La hidrológica al servicio de la gestión hídrica”. Tiempo. Clima. Agua. Volumen 57 (3).
75. Organización Meteorológica Mundial (OMM). (Julio 2008): Boletín “La hidrológica al servicio de la gestión hídrica”. Tiempo. Clima. Agua. Volumen 57 (3).

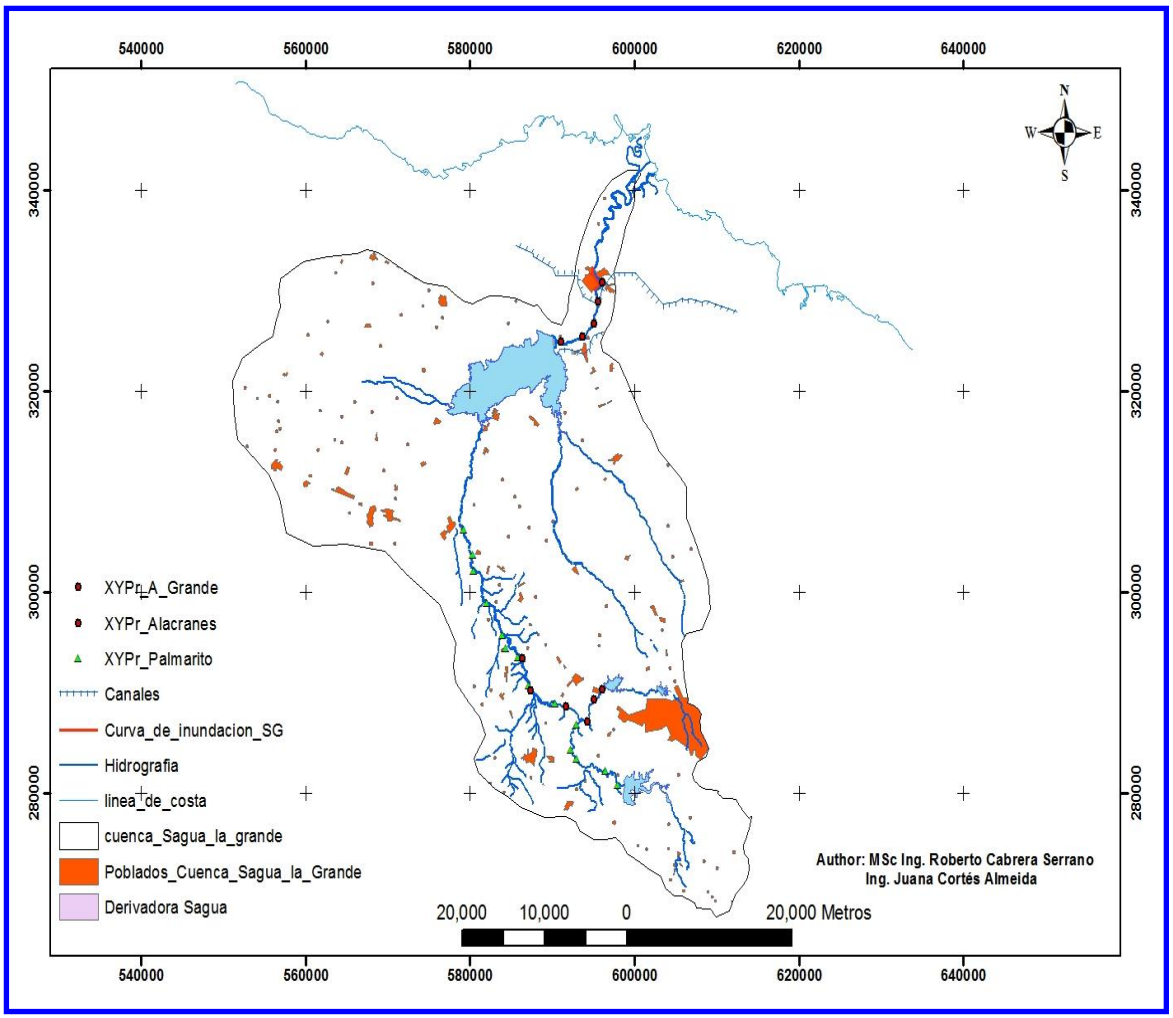
76. Organización Meteorológica Mundial (OMM), Secretaria Inter-Agencias de la Estrategia Internacional de las Naciones Unidas de Reducción de Desastres (ONU-EIRD), Universidad de las Naciones (UNU) (2007): El Agua, una responsabilidad compartida. Segundo Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo. Capitulo 10. Gestionar los riesgos: Asegurar los beneficios del desarrollo.
77. Pérez Álvarez, JC. (2008): Evaluación Técnica de los embalses de la provincia de Villa Clara. Afectaciones aguas abajo, problemas que presentan y medidas de prevención.
78. Rodríguez Prieto. PNUMA, (1998): Guía para la confección de Estudios Nacionales de Biodiversidad.
79. Pulido Bosch, A., (2004): Agentes contaminantes y focos de contaminación.
80. Santos Abreu, Ismael y otros. (2012): La Educación Ambiental para el desarrollo sostenible. Curso Básico. Centro de Estudios de Educación Ambiental (CEEA). Universidad de Ciencias Pedagógicas "Félix Varela". Villa Clara.
81. Santamaría, JM., Braña, PA. (1994): Análisis y reducción de riesgos en la industria química. Editorial Fundación MAPFRE. Madrid.
82. Sánchez Sánchez, ME., Portieles Pérez, F. (2005): Actualización del esquema regional precisado de hidrología de la provincia de Villa Clara.
83. Sánchez Sánchez, ME., Portieles Pérez, F. (2000): Estudio hidrológico para el expediente de la cuenca Sagua la Grande.
84. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. (2003): Introducción al análisis de riesgos ambientales.
85. Támez González, E. (1963): Principios del diseño y construcción de presas de tierra, Secretaria de Recursos Hidráulicos, México.
86. Thompson, M.,Gaviria, I. (2004): Cuba. Superando la tormenta: lecciones de reducción de riesgos en Cuba.
87. Universidad de Ciencias Pedagógicas "Félix Varela". Villa Clara. (2012): Política Ambiental. Incidencia para el proceso pedagógico. Conferencia impartida en la Maestría en Educación Ambiental.
88. Valdez Cabrera, P., Álvarez Gil, L. (1997): Calculo de rotura y tiempo de retardo Presa Alacranes. Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Villa Clara.
89. www.ecured.cu. Las Picúas Cayo Cristo.
90. www.desenredando.org. La Red. Los desastres no son naturales.

91. www.phoenixdesignaid.dk. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Resumen Ejecutivo para los tomadores de decisiones (RTD). Perspectivas del Medio Ambiente. Medio Ambiente para el desarrollo.
92. www.worldbank.org/wdr. Informe sobre el Desarrollo Mundial. Desarrollo y Cambio Climático. Panorama General. Un nuevo clima para el desarrollo. (2010).
93. www.urbipedia.org Impacto Ambiental. (2010).
94. wikipedia browser . (2013): Categoría: Cuerpos de Agua / Represas / Hidrológica / Accidentes Fluviales / Ecosistemas acuáticos / Impactos ambientales potenciales. Embalses.
95. wikipedia browser. (2013): Categoría: Desastres. Desastres.
96. wikipedia browser. (2013): Categoría: Desarrollo sostenible. Zonas vulnerables.
97. wikipedia browser. (2013): Categoría: Desastres Naturales / Medio Ambiente. Riesgos Naturales.
98. wikipedia browser. (2013): Categoría: Ingeniería Hidráulica / Represas. Clasificación del impacto que pudiera provocar por su rotura.
99. wikipedia browser . (2013): Categoría: Seguridad. Peligros.
100. wikipedia browser. (2013): Categoría: Desastres / Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres. Primera Edición 1995. Colombia ISBN 958-601-664-1.

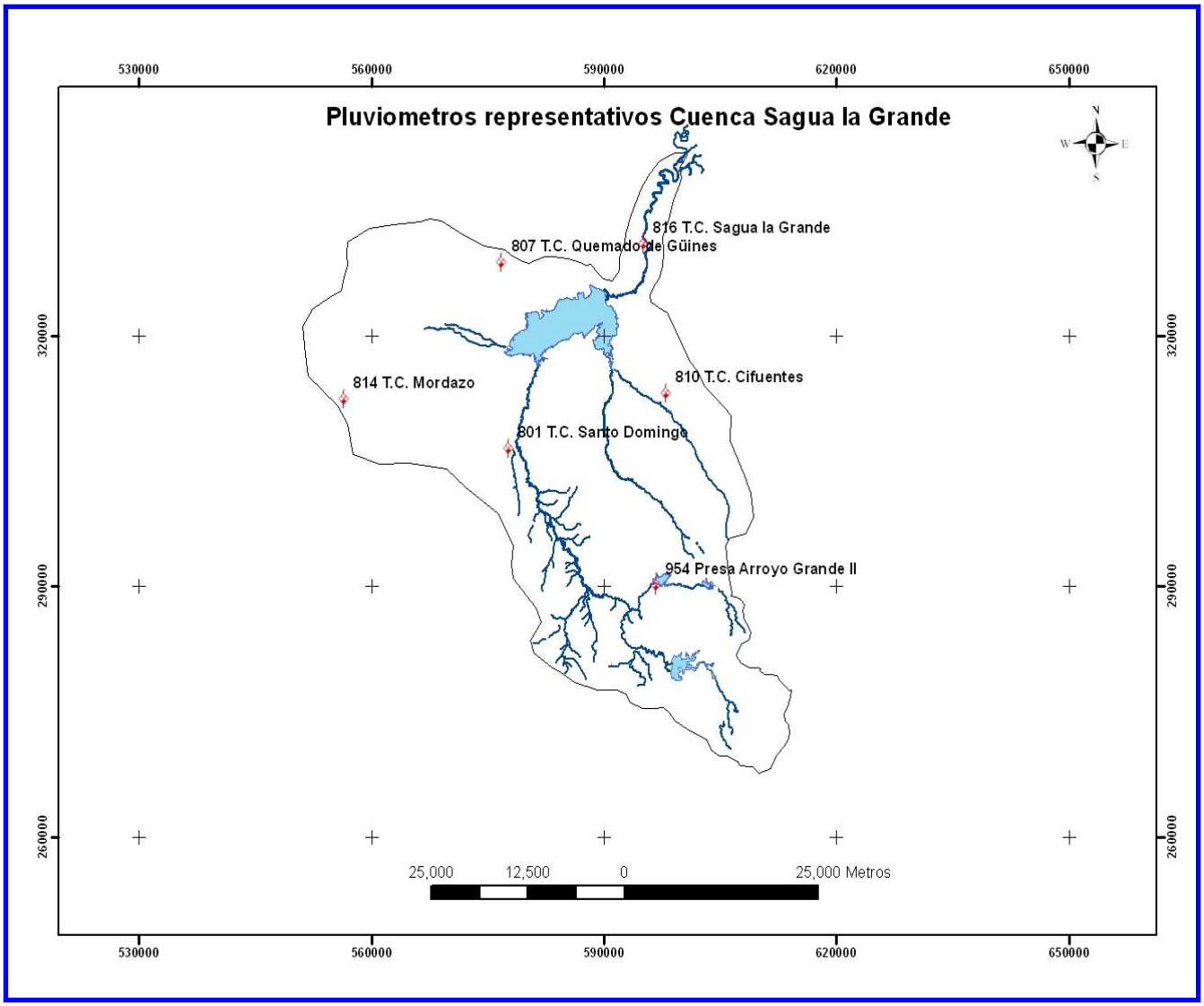
Anexo No 1 Esquema Lineal Cuenca Sagua la Grande



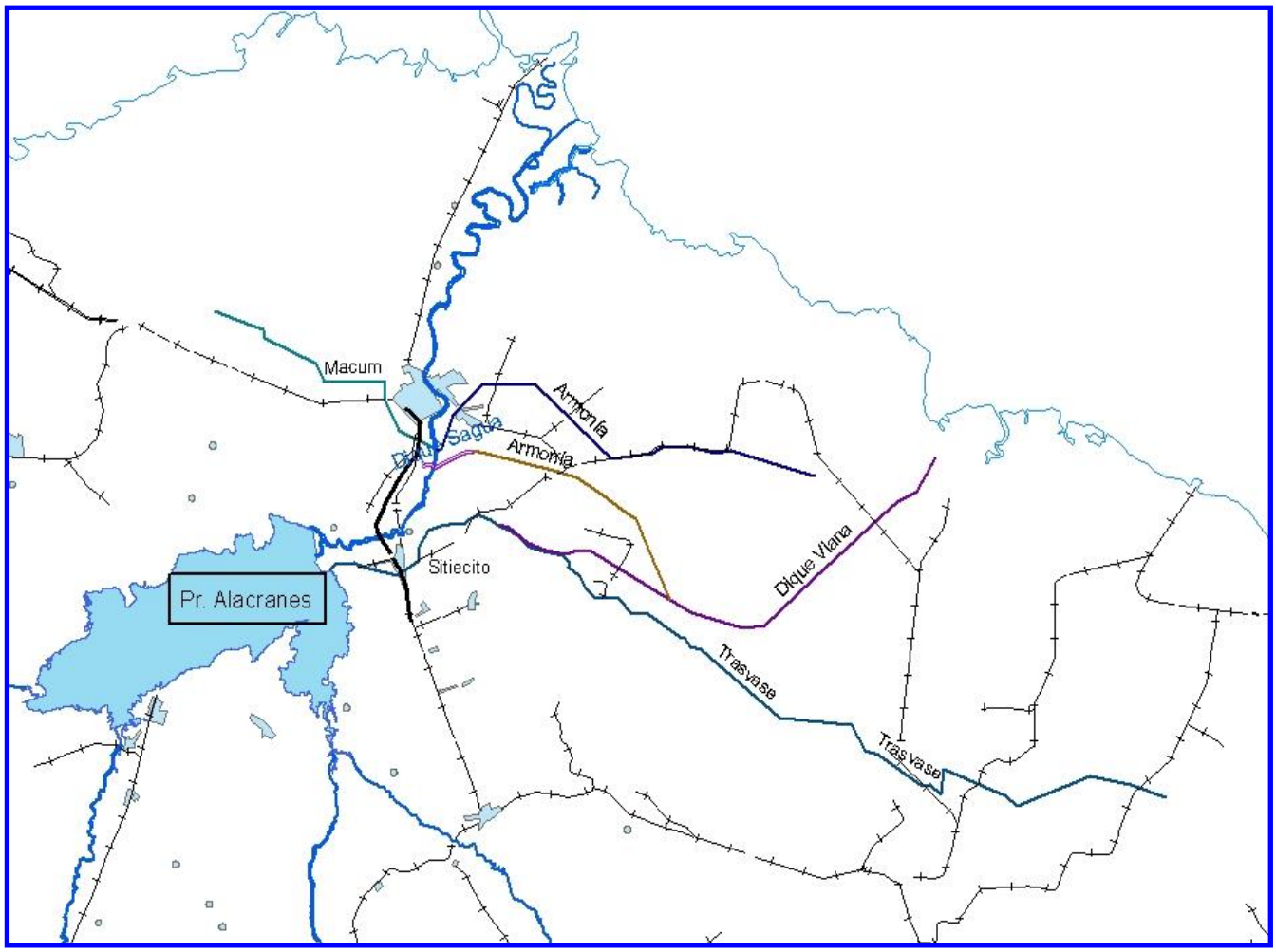
Anexo No 2. Red Hidrográfica y Obras Hidrotecnias de la Cuenca Sagua la Grande.



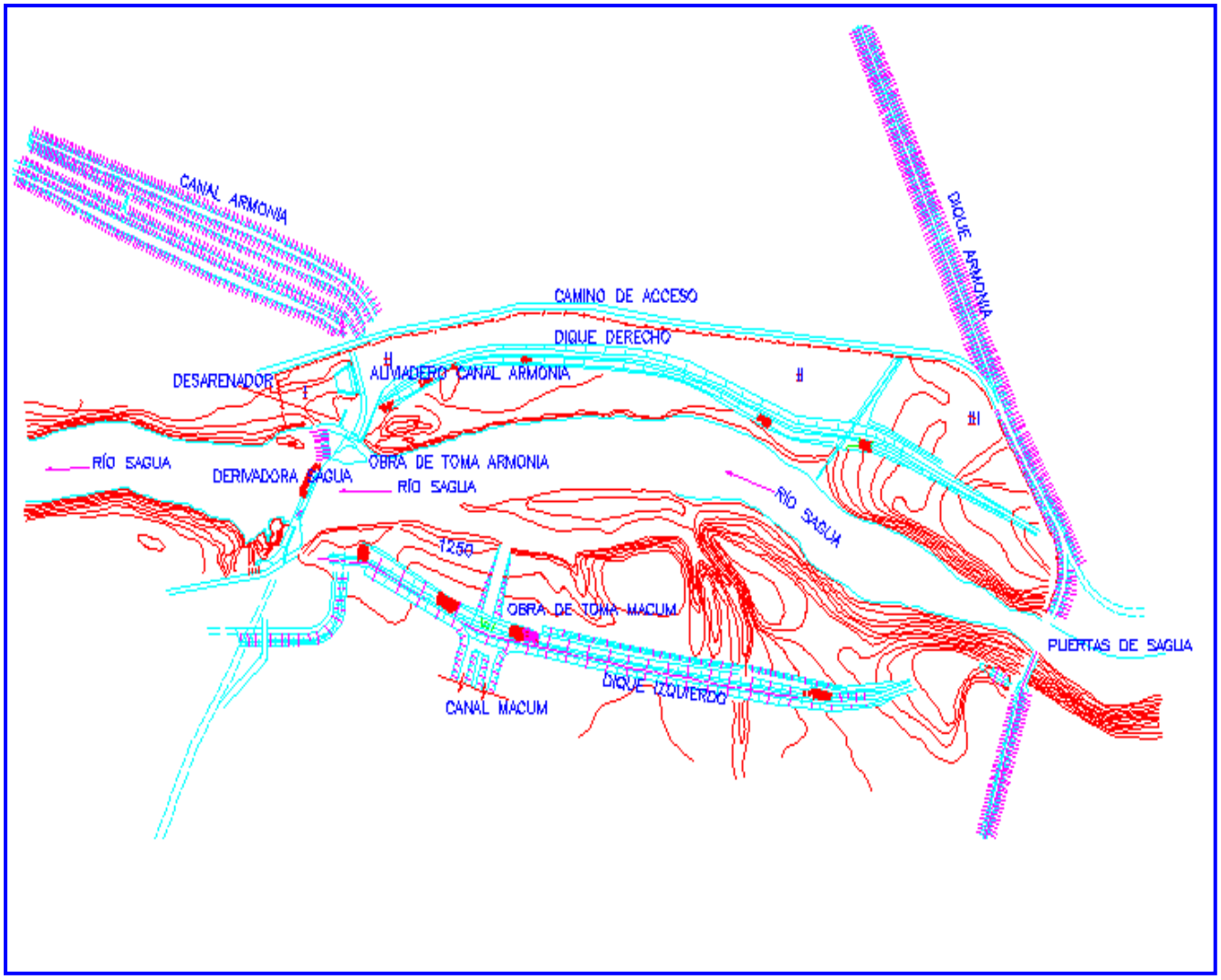
Anexo No 3. Pluviómetros representativos de la cuenca Sagua la Grande.



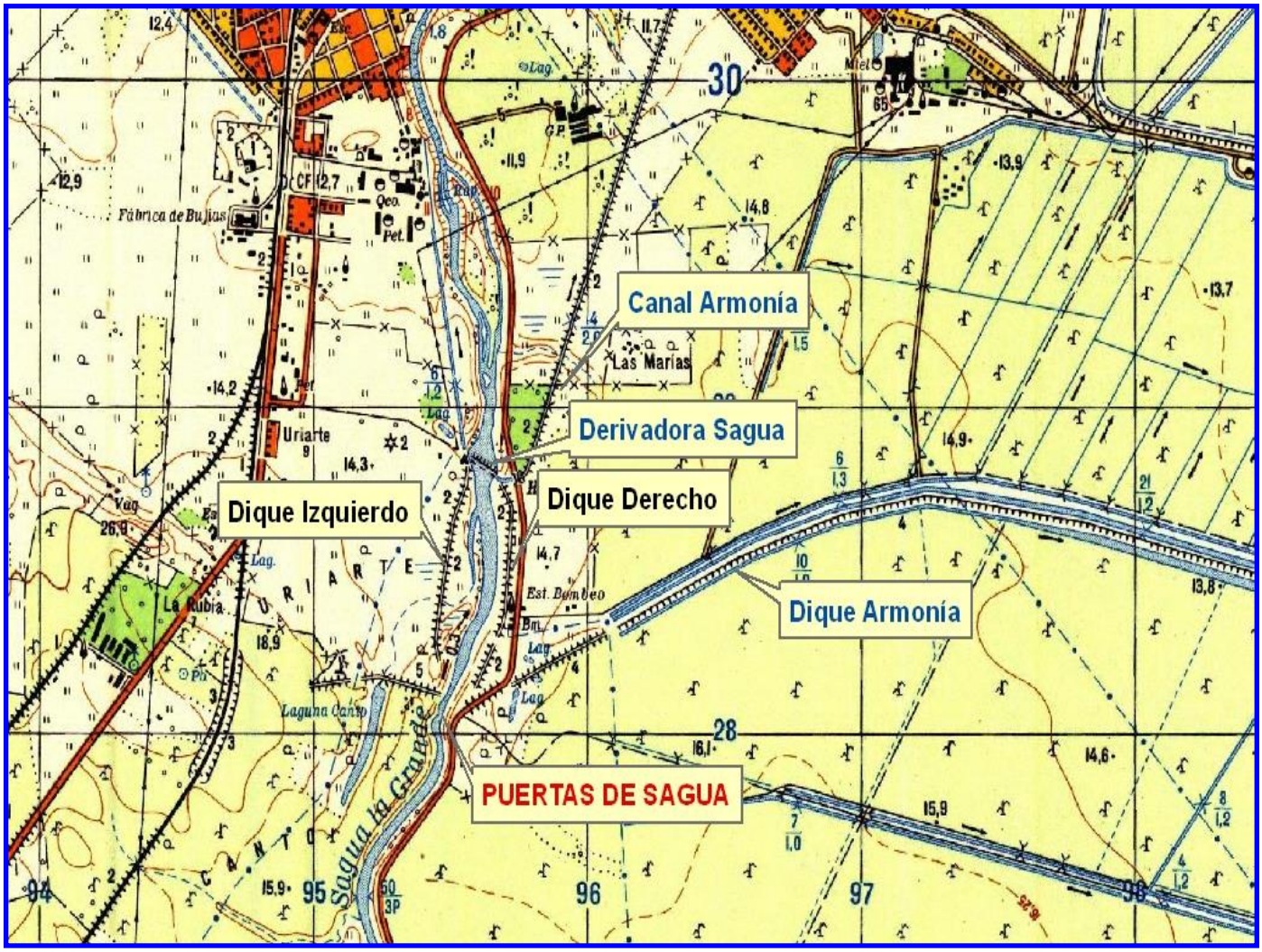
Anexo No 4. Red hidrográfica desde la presa Alacranes y obras hidrotecnias (diques y canales) que conforman la cuenca Sagua la Grande hasta la costa



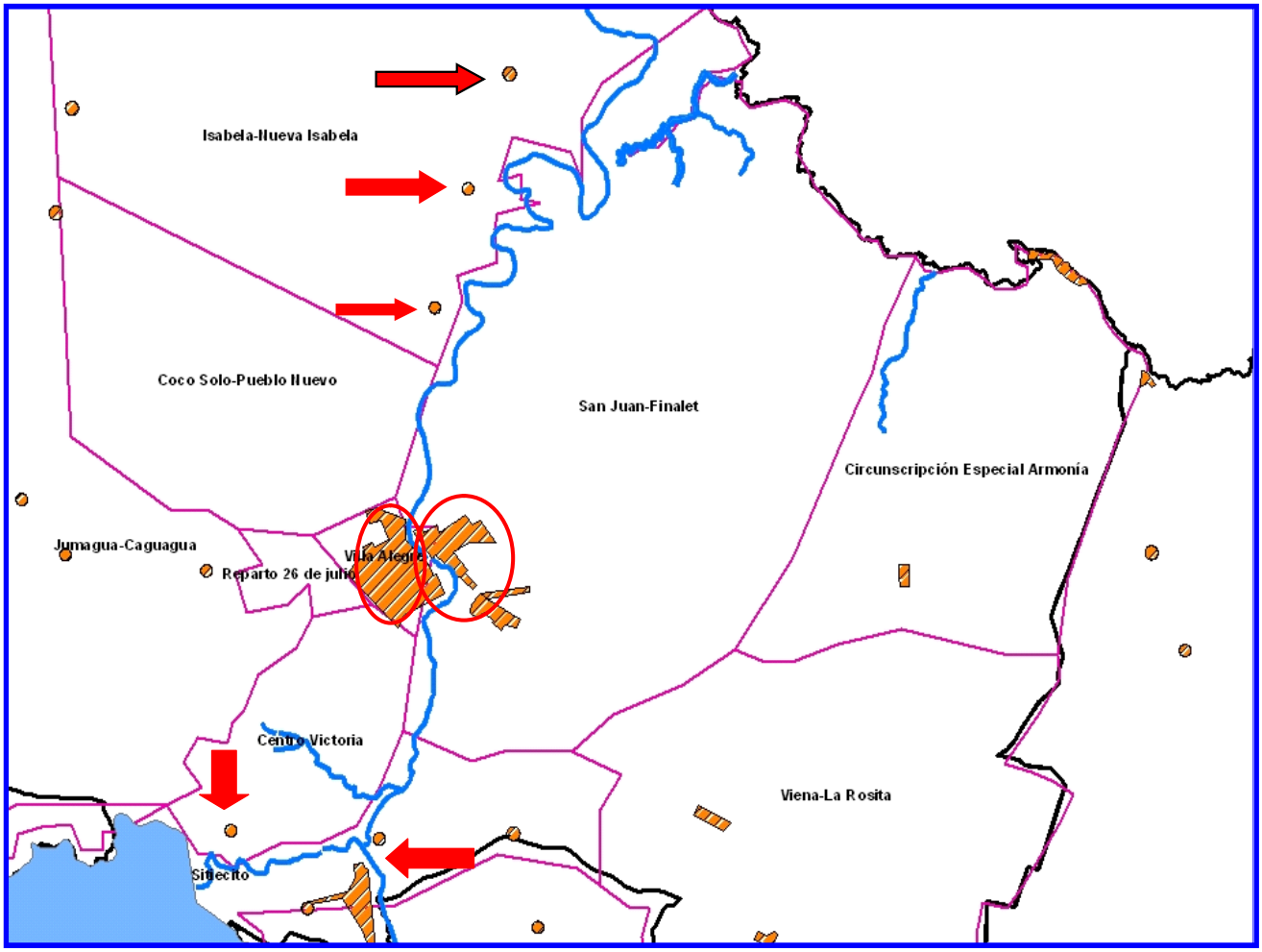
Anexo No 5. Obras y Diques Protectores contra inundaciones de la ciudad de Sagua la Grande, así como de la Derivadora y sus canales de riego.



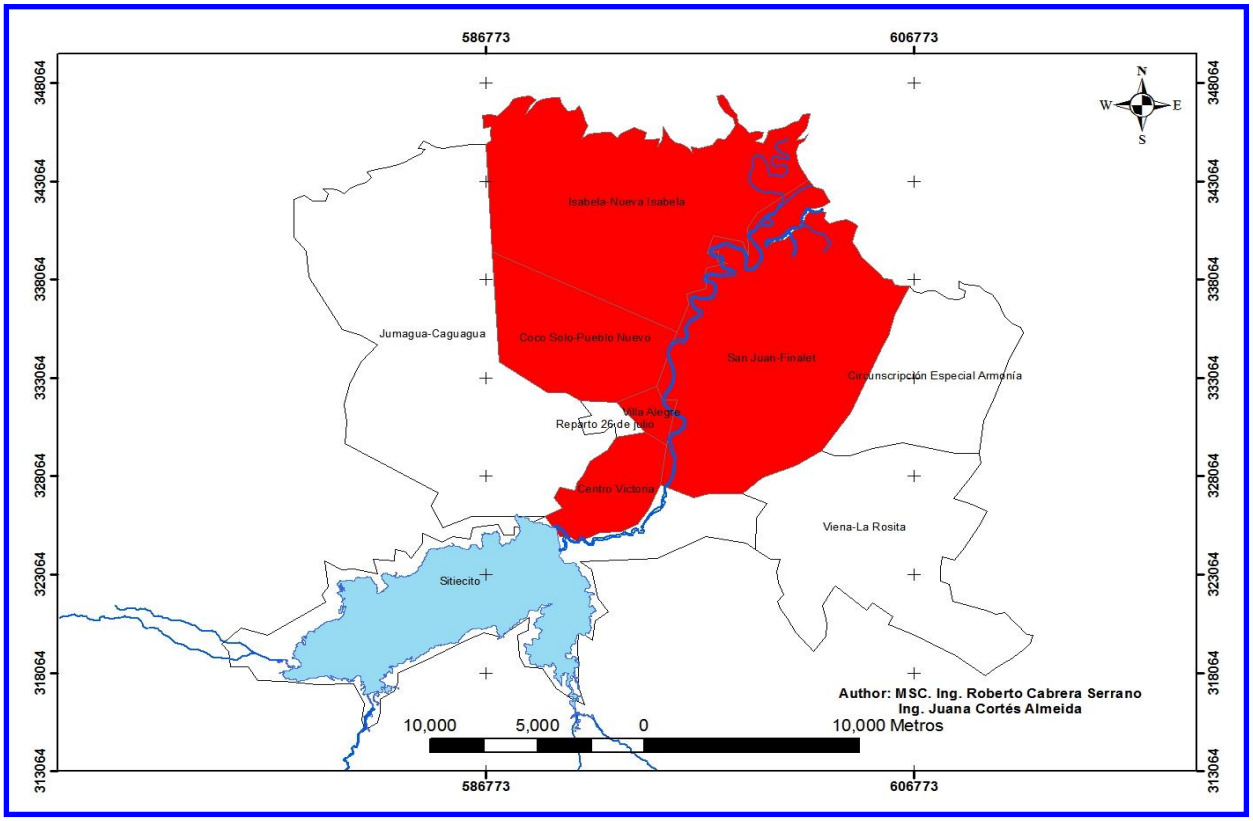
Anexo No 6. Puertas de Sagua.



Anexo No 7. Zonas de mayor peligro a inundación por intensas lluvias.

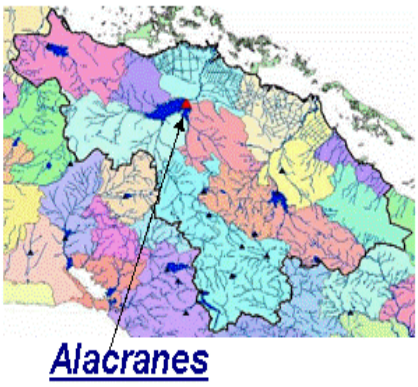


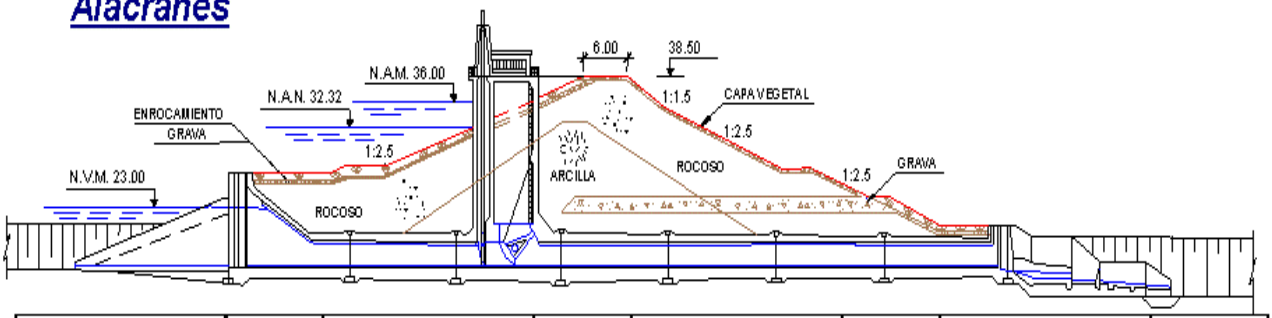
Anexo No 8. Zonas vulnerables a inundación por intensas lluvias.

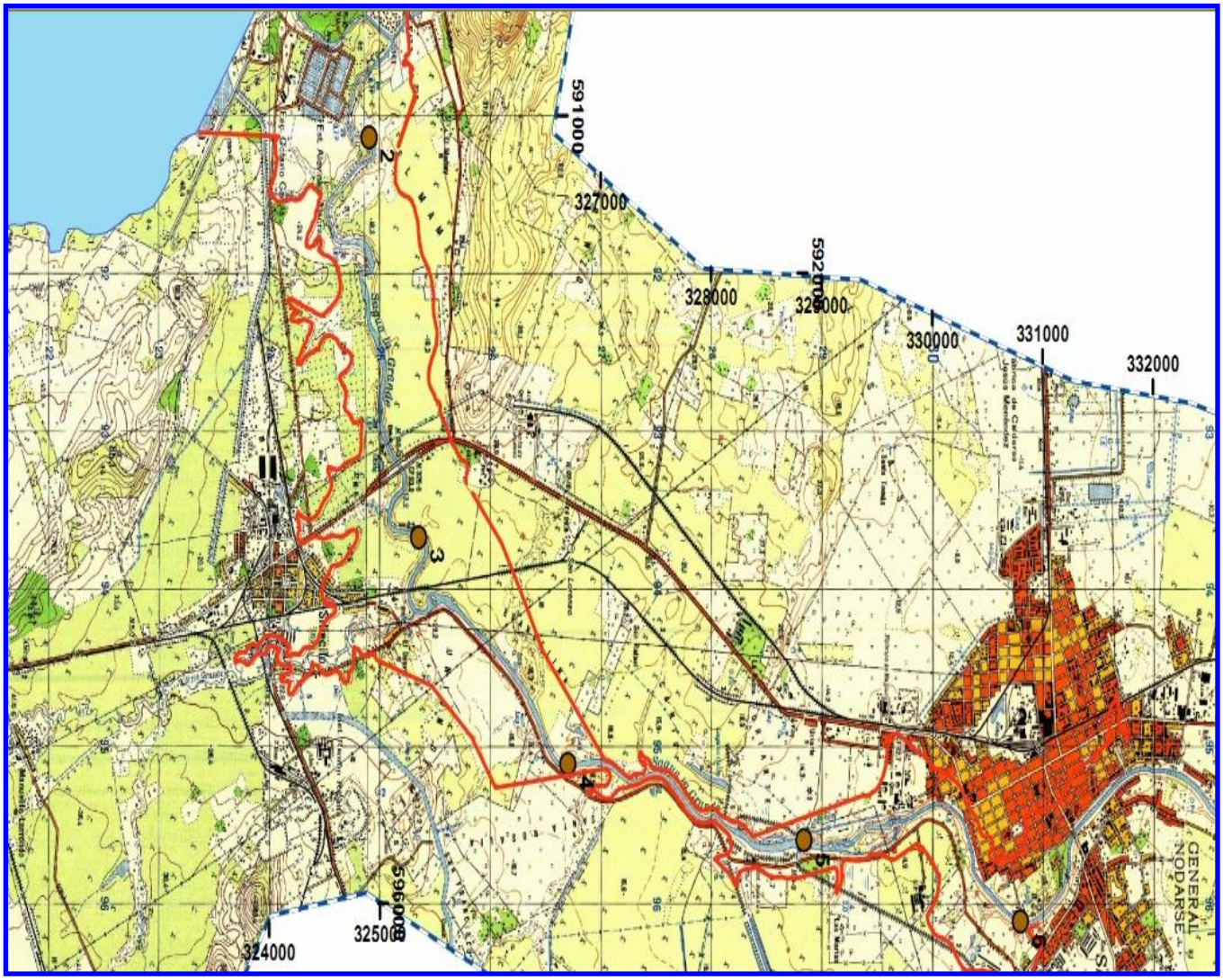


Anexo No 9. Parámetros Técnicos presa Alacranes..

VILLA CLARA-CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS





Uso	Ab. y Cñ	Costo (MMP)	8,056	Area al nivel de aguas normales (ha)	7460,00	Gasto en cierre de la presa (m3/s)	4700
Coord. NORTE	323,77	Año de creación de capacidad	1972	Area al nivel muerto (ha)	678,00	Volumen de avenida (Hm3)	594,00
Coord. ESTE	590,36	Nivel de aguas máximas (m)	36,00	Cota de corona (m)	38,50	Tipo de aliviadero	Later. de trinch.
Area cuenca colectora (Km2)	2030,00	Nivel de aguas normales (m)	32,32	Nivel del cauce (m)	14,00	Long. Aliviadero Principal (m)	140,00
Río Principal	R. S.Grande	Nivel muerto (m)	23,00	Altura de la cortina (m)	24,50	Long. Aliviadero Secundario (m)	
Tipo de Presa	Mixta	Volumen al nivel de aguas máximas (Hm3)	680,00	Tipo de drenaje de cortina	Prisma	Gasto en el aliviadero principal (m3/s)	2400
Categoría de proyecto	III	Volumen al nivel de aguas normales (Hm3)	352,40	Longitud de cortina (Km)	1,6	Gasto en el aliviadero secundario (m3/s)	
Tipo de Regulación	Hiper.	Volumen al nivel muerto (Hm3)	14,00	Longitud del dique (Km)	1,4	Entrega por Obra deToma Principal (m3/s)	35,00
Revestimientos	Enroc.-Hormig.	Area al nivel de aguas máximas (ha)	11400,00	Probabilidad de diseño (%)	0,5	Entrega por Obra deToma Secundaria (m3/s)	

Anexo No 10. Áreas de zonas afectadas por rotura de la presa Alacranes.