

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE AVENIDA QUE
APORTARÁ LA CUENCA MEDIA DEL RÍO WARÁ HASTA EL
EMBALSE WARÁ I, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO
BOLÍVAR, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LOS BACHILLERES
VILLARROEL C.,
ALBANI De Los A. Y
HERNÁNDEZ M.,
ÁLVARO A. PARA
OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, MAYO DE 2024



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **“ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE AVENIDA QUE APORTARÁ LA CUENCA MEDIA DEL RÍO WARÁ HASTA EL EMBALSE WARÁ I, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.”**, presentado por los bachilleres, **VILLARROEL C., ALBANI De Los A.** de cédula de identidad No **28.521.288** y **HERNÁNDEZ M., ÁLVARO A.** de cédula de identidad No **27.878.098** como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre:

Firma:

Prof. Dafnis Echeverría

(Asesor)

Profa. Karla Padilla

(Jurado)

Prof. Juan España

(Jurado)

Prof. Francisco Monteverde.
Jefe de Dpto. de Ing. Geológica.

Prof. Francisco Monteverde
Director de la Escuela de Ciencias de la Tierra

En Ciudad Bolívar, a los 16 días del mes de mayo de 2024

DEDICATORIA

A Dios por brindarme fortaleza y sabiduría para culminar esta etapa de mi vida.

A mi querida familia, por el amor incondicional y el esfuerzo que realizaron durante estos años para acompañarme en este recorrido, sin ellos este logro no sería posible. Igualmente, a mi pequeño perrito, Esnar, por llenar mi vida de alegría durante sus diez años de vida.

Albani De Los Ángeles Villarroel Curabare

DEDICATORIA

Este trabajo de grado se lo dedico primeramente a Dios que me ha permitido llegar hasta este momento dándome fortaleza y sabiduría para superar todos los obstáculos. A mis padres María Marrón y Alberto Hernández por haberme apoyado siempre en seguir adelante sin importar las dificultades. Y a toda mi familia que también ha estado presente brindándome su apoyo incondicional.

Álvaro Antonio Hernández Marrón

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco grandemente a Dios por brindarme salud e inteligencia para lograr cada uno de mis objetivos propuestos a lo largo de la carrera.

A mis padres, Marisol Curabare, Luis Villarroel y Omar González por ser mi pilar y mi motivación para seguir adelante.

A mis tías, Elsy y Nancy, por estar siempre presentes en mi vida y regalarme valiosos consejos. A mis tíos William y José Manuel, por creer en mí. A mis abuelas Teolinda y Cecilia, por ese amor incondicional que siempre hace falta cuando estamos lejos.

A mi hermano, Savier, y mi primo Víctor. Por todo el apoyo y la paciencia brindada en este camino, en el que avanzamos juntos.

A mis amigas de la infancia, María y Fransaris, que han sido una fuente de ánimo y apoyo incondicional desde el inicio de la carrera.

A mi amigo y compañero de tesis, Álvaro, con el que compartí muchas anécdotas en la universidad.

A la Universidad de Oriente, y mis apreciados profesores que por su vocación y compromiso marcaron un aprendizaje en mi vida universitaria. Así mismo, agradezco a cada uno de mis amigos y compañeros de estudio que fueron un gran apoyo en este tiempo, en el que compartimos gratos recuerdos y otros no tan buenos.

Gracias por ser parte de esta etapa de mi vida, siempre estarán presentes.

Albani De Los Ángeles Villarroel Curabare

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por haberme guiado y cuidado en todo este camino rodeándome de personas maravillosas que me han ayudado a culminar con éxitos mi carrera universitaria.

A mis padres y mis hermanos, que son mi fuente de apoyo y mi mayor orgullo en esta vida. Les agradezco por todo lo que me han dado hasta ahora.

A toda mi familia quien me ha apoyado y dado todo su amor, siendo mi fuente de motivación que me ha servido de ayuda para los momentos difíciles.

A todos los amigos y compañero de estudio que me acompañaron en esta experiencia y en especial a mi compañera de trabajo de grado Albani Villarroel la cual ha sido una valiosa amiga con la cual tengo la oportunidad de compartir este trabajo.

Doy gracias a los profesores de la Universidad de Oriente que contribuyeron ayudarme a alcanzar mi meta y que a pesar de todas las dificultades hicieron el esfuerzo por estar ahí demostrando un gran compromiso y amor a nuestra formación.

Álvaro Antonio Hernández Marrón.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la cuenca del río Wará, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. El objetivo del estudio es estimar los caudales de avenida que aportará la cuenca media del mencionado río hasta el embalse Wará I. Para el desarrollo de este objetivo se aplicó una metodología de investigación de tipo descriptiva con un diseño de campo y documental. Para el logro de la investigación se realiza un reconocimiento del área de estudio; luego, se construyó un plano topográfico y las secciones transversales, con base a la información topo-batimétrica levantada en la ubicación de la represa, que permitirán describir geomorfológicamente dicha zona. Se determinaron las características morfométricas de la cuenca media del río Wará hasta la ubicación de la represa Wará I. Se estimó el volumen de agua almacenada en el vaso de almacenamiento de la represa Wará I. Entre los resultados relevantes se concluyó que la geomorfología indica que el embalse tiene una capacidad actual de 1617.68 m^3 de agua, sin embargo, según estudios efectuados por Arias, R. y González, E. (2019) posee una cantidad de azolves acumulados en su interior de 85.28 m^3 . De acuerdo a la morfometría de la cuenca, específicamente en relación a los valores del factor forma (0.29) y el coeficiente de compacidad (1.39) de la cuenca, esta resulta ser de forma alargada con poca tendencia a generar crecientes significativos. Finalmente, se estimó que la cuenca media del río Wará puede suministrar caudales (Q) de $3.12 \text{ m}^3/\text{s}$ y $3.40 \text{ m}^3/\text{s}$ para períodos de retorno (Tr) de 50 y 100 años respectivamente.

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VII
CONTENIDO	VIII
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABLAS	XIV
LISTA DE APÉNDICES	XV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Objetivos de la investigación.....	6
1.2.1 Objetivo general.....	6
1.2.2 Objetivos específicos	6
1.2 Justificación de la investigación.....	7
1.3 Alcance de la investigación.....	7
CAPÍTULO II. GENERALIDADES	9
2.1 Ubicación del área de estudio.....	9
2.2 Clima	11
2.3 Hidrografía	16
2.4 Geología	19
2.5 Geomorfología.....	20
2.6 Suelos	25
2.7 Erosión.....	28
2.8 Vegetación del área de estudio.....	31
2.9 Fauna del área de estudio	34
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	36
3.2.1 Precipitación	37
3.2.2 Evaporación	40

3.2.3	Escurrimiento.....	41
3.2.3.1	Estimación del coeficiente de escorrentía.....	42
3.2.4	Temperatura.....	46
3.2.6	Humedad atmosférica.....	47
3.2.7	Viento.....	48
3.2.8	Infiltración.....	49
3.2.9	Caudales de drenaje.....	50
3.2.10	Caudal aportado por una cuenca.....	50
3.2.11	Parámetros morfométricos de una cuenca.....	61
3.3	Bases legales.....	65
3.3.1	Ley de aguas.....	65
3.4	Definición de términos básicos.....	66
3.4.1	Afluentes.....	66
3.4.2	Aliviadero.....	67
3.4.3	Área del embalse.....	67
3.4.4	Ataguía.....	67
3.4.5	Auscultación.....	67
3.4.6	Avenida.....	67
3.4.7	Avenida de proyecto.....	68
3.4.8	Caudal.....	68
3.4.9	Coronación.....	68
3.4.10	Corte.....	68
3.4.11	Cuenca hidrográfica.....	68
3.4.12	Cuenca vertiente.....	69
3.4.13	Derivar.....	69
3.4.14	Desagüe de fondo.....	69
3.4.15	Distancia de resguardo.....	69
3.4.16	Erosión.....	69
3.4.17	Espesor de tongada del hormigón.....	70
3.4.18	Estabilidad.....	70
3.4.19	Evaporación.....	70
3.4.20	Longitud de la coronación de la presa.....	70
3.4.21	Márgenes del embalse.....	70
3.4.22	Nivel aguas abajo.....	70
3.4.23	Nivel mínimo de explotación.....	71
3.4.24	Órgano de desagüe.....	71
3.4.25	Pie de la presa.....	71
3.4.26	Talud.....	71
3.4.27	Toma de agua.....	71
3.4.28	Umbral de los aliviaderos.....	72
3.4.29	Volumen activo.....	72
3.4.30	Volumen de control de avenidas.....	72
3.4.31	Volumen de la presa.....	72

3.4.32 Volumen de nivelación	72
3.4 33 Volumen del embalse.....	72
3.4-34 Volumen inactivo	73
3.4.35 Volumen muerto	73
3.4.36 Volumen útil	73
3.4.37 Zona inundable	73
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE TRABAJO	74
4.1 Tipo de investigación	74
4.2 Diseño de investigación.....	74
4.2.1 Investigación de campo	74
4.2.2 Investigación documental	75
4.3 Población y muestra de la investigación	75
4.3.1 Población de la investigación	75
4.3.2 Muestra de la investigación	76
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	76
4.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	76
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos	77
4.5 Flujograma de la metodología de trabajo.	78
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos	79
4.6.1 Recopilación de la información y reconocimiento de campo.....	79
4.6.2 Geometría y dimensiones del embalse y dique de concreto	79
4.6.3 Descripción morfométrica de la cuenca.....	79
4.6.4 Estimación del coeficiente de escorrentía ponderado.....	80
CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS	
RESULTADOS.....	81
5.1 Geometría y dimensiones del embalse y dique de concreto.....	81
5.1.1 Geometría y dimensiones del embalse.....	81
5.1.2 Secciones transversales del vaso de almacenamiento.....	84
5.1.3 Geometría y dimensiones del dique de concreto	86
5.2 Morfometría de la cuenca que aporta los sedimentos al embalse	89
5.3 Condiciones hidráulicas dentro del embalse	90
5.3.1 Volumen de agua almacenada en el embalse.....	90
5.4 Coeficiente de escorrentía ponderado de la cuenca Wará II	91
5.5 Determinación de los tiempos de concentración.	92
5.6 Estimación de la intensidad de las precipitaciones (I).....	93
5.7 Caudal aportado por la cuenca del embalse Wará I	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
Conclusiones	96

Recomendaciones	97
REFERENCIAS	98
APÉNDICES	102

LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Ubicación relativa del área de estudio.....	8
2.2	Ubicación del área de estudio en imagen de satélite Landsat (Google Earth, 2016).....	9
2.3	Ubicación del área de estudio en imagen CNES/Airbus (Google Earth, 2024).....	9
2.4	Clasificación Bioclimática en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC). (CVG-EDELCA, 2004).....	10
2.5	Precipitación en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC). (CVG-EDELCA, 2004).....	13
2.6	Evaporación en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC). (CVG-EDELCA, 2004).....	14
2.7	Embalse Wará I.....	15
2.8	Vista del embalse de la represa Wará I.....	15
2.9	Hidrografía de la subcuenca del río Uairén (CVG EDELCA, 1983)...	16
2.10	Río Wará aguas abajo del dique Wará I.....	16
2.11	Región Hidrológica del Río Caroní (CVG EDELCA, 2004).....	17
2.12	Geología de la cuenca del Caroní (CVG EDELCA, 2004).....	19
2.13	Geomorfología de cuenca del río Caroní (CVG EDELCA, 2004).....	21
2.14	Pendientes de Wará (Figueroa, M. 2007).....	22
2.15	Vista 3D, sección topográfica Wará (Figueroa, M. 2007).....	23
2.16	Suelos de la cuenca del río Caroní (CVG EDELCA, 2004).....	24
2.17	Erosión en la cuenca del río Caroní (CVG-EDELCA, 2004).....	28
2.18	Cobertura vegetal de la cuenca del río Caroní (CVG-EDELCA, 2004)	31
2.19	Bosque de galería por la ribera derecha descendente del río Wará.....	32
3.1	Hidrograma típico aislado (Aparicio, 2001).....	53
3.2	Hidrograma Unitario Triangular. (Camacho, 2004).....	55
3.3	Representación gráfica del Hidrograma Unitario Triangular como la suma de dos triángulos A_1 y A_2 (Camacho, 2004).....	57
4.1	Flujograma de la investigación.....	76
5.1	Trabajo topográfico en el dique Wará II.....	81
5.2	Vista del embalse Wará I sin agua.....	81
5.3	Sección transversal 10.....	82
5.4	Sección transversal 20.....	83
5.5	Sección transversal 30.....	83
5.6	Sección transversal 40.....	84
5.7	Sección transversal 50.....	84
5.8	Vista en planta del dique Wará I.....	85
5.9	Vista vertical del dique Wará I.....	86
5.10	Vista lateral del dique Wará I.....	86

5.11	Cuenca para embalse Wará I (línea amarilla: cauce principal, línea recta blanca: eje axial, Línea curva blanca: límites de la cuenca).....	87
5.12	Curva de áreas y capacidades del dique Wará I.....	88
5.13	Gráfica IDF para Santa Elena de Uairén, período 1951-1976 (Bolinaga, J. 1979).....	91

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1 Precipitación media anual en la región hidrográfica río Caroní, sector alto y la subcuenca del río Uairén (mm). (CVG-EDELCA, 2003. CVG-EDELCA, 1983).....	11
2.2 Valores anuales promedios de las principales variables meteorológicas en la región hidrográfica río Caroní, sector alto y la subcuenca del río Uairén (mm). (CVG-EDELCA, 2003. CVG-EDELCA, 1983).....	11
2.3 Composición geológica de la Subcuenca del río Uairén. (CVG-EDELCA, 1983).....	18
2.4 Características de los suelos en Wará (CVG EDELCA, 1983).....	25
2.5 Descripción erosión fuerte (CVG EDELCA, 2003).....	27
3.1 Coeficientes de Escorrentía (Arocha, 1983).....	41
3.2 Zonificación y Coeficientes de Escorrentía (Arocha, 1983).....	42
3.3 Coeficientes de escorrentía (Camacho, 2004).....	42
3.4 Coeficiente de escorrentía (C) (Camacho, 2004).....	43
3.5 Valores interpretativos del factor forma (Pérez, 1979).....	61
3.6 Valores interpretativos de la pendiente de la cuenca (Pérez, 1979).....	63
5.1 Coordenadas UTM y cotas de los puntos de interés en el dique y embalse Wará I.....	80
5.2 Parámetros morfométricos para la cuenca del embalse Wará I.....	87
5.3 Coeficientes de escorrentía (Aparicio, 1999).....	89
5.4 Coeficiente de escurrimiento (Benítez <i>et al.</i> , 1980).....	89
5.5 Coeficiente de escurrimiento ponderado para cuenca del embalse Wará I	90
5.6 Estimación del tiempo de concentración	91
5.7 Intensidad de precipitaciones para el embalse Wará I y períodos de retorno de 50 y 100 años	92
.....	
5.8 Estimación del caudal aportado por la cuenca del embalse Wará I.....	93

LISTA DE APÉNDICES

	Páginas
APÉNDICE A	
PLANO TOPOGRÁFICO DEL EMBALSE WARÁ I.....	102

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han presentado grandes desastres en nuestro país debido a problemas de erosión de las orillas, colmatación de cauces y canales e inundaciones. En muchos casos el problema se le atribuye a la mala planeación, diseño, operación, mantenimiento y construcción de obras, así como a intervenciones antrópicas en el cauce y la planicie aluvial.

El aumento de caudal de agua y sedimentos se debe principalmente a que el régimen de lluvias ha aumentado en los últimos años en nuestra región, y también a la ocurrencia y combinación de varias circunstancias como:

- a. las características propias de los suelos por donde transitan los ríos,
- b. la deforestación de la cuenca,
- c. la extracción indiscriminada de material de fondo de los ríos principales y de sus tributarios.

El desequilibrio entre el sedimento y el agua que se transporta en un río puede generar zonas de erosión y de depositación en todo su trayecto, sobre todo durante y después del paso de una creciente, provocando inundaciones y fallas en obras hidráulicas como puentes, bocatomas, obras de protección de márgenes, etc. (Cardenas, O. 2012).

La presente investigación se desarrolla en el entorno del río Wará, específicamente en su cuenca media, donde tiene su asiento la represa Wará I, siendo el objetivo primordial de este estudio el de estimar los caudales que aportará la cuenca media del río Wará hasta el mencionado embalse.

La metodología del estudio requiere un nivel de investigación descriptiva con un diseño o estrategia de investigación de campo y documental. Incluye el estudio aspectos tales como: la descripción de la geometría y dimensiones del vaso de almacenamiento de la represa Wará I, descripción del comportamiento hidráulico del río Wará en las adyacencias de la represa, caracterización de la morfometría de la cuenca y del vaso de almacenamiento, el análisis de la hidrodinámica dentro del embalse y finalmente, se estimará el caudal que aportaría la cuenca alta del río Wará al mencionado embalse.

Esta investigación se estructura en cinco (5) capítulos:

En el Capítulo I. Situación a investigar. Se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, justificación, alcance y limitaciones del estudio.

El Capítulo II. Generalidades: corresponde a los aspectos que describen al área de estudio como ubicación geográfica y características físico naturales y que no están incluidos en los objetivos específicos de la investigación.

El Capítulo III Marco teórico presenta los antecedentes de investigación, los criterios teóricos y las bases legales en las cuales se sustenta la investigación.

Capítulo IV. Metodología de la investigación. Muestra la metodología empleada para la realización de la investigación. Se desarrolla en él, el tipo y diseño de la investigación, la descripción de la población y la muestra, así como también las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación y el flujograma de investigación.

En el Capítulo V, se presenta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la metodología aplicada.

Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones más relevantes como consecuencia final del estudio para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

La conservación del agua y del suelo, así como el aprovechamiento múltiple del agua y el uso intensivo del suelo exigen, en la mayor parte de los casos, ciertas obras de infraestructura entre las que tienen fundamental importancia la construcción de presas. En vista de la importancia de esa interrelación, el hombre ha procedido a señalar los sitios potenciales para la construcción de presas con el objeto de producir embalses para el aprovechamiento del agua. En la actualidad se vienen enfrentando tiempos difíciles en materia ambiental y gran parte de esta problemática está relacionada con el agua. Por ello la escasez de éste recurso y la parte de saneamiento es una problemática que va creciendo cada día más a nivel global

Es evidente que nuestro planeta posee más del 70% de su superficie cubierta de agua; sin embargo, también es conocida la situación de que sólo un muy bajo porcentaje (2.5%) de esa inmensa cantidad de agua es dulce. De esa cantidad de agua dulce, el continente americano posee el 26% pero solo está habitada por el 6% de la población mundial. Pero la situación más alarmante es que del total del agua existente en el planeta, sólo un 0.025% es agua potable.

El aprovechamiento de aguas lluvias se realizó como una respuesta a la reducción de la oferta hídrica en muchas ciudades no solo de nuestro país, sino del mundo entero, todo esto debido a la contaminación de las aguas superficiales y el proceso de degradación que sufren las cuencas.

En Venezuela, el 84% del agua escurrida de las lluvias corresponde a la margen derecha del río Orinoco (estados Bolívar y Amazonas); sin embargo, el 87% de la población del país se encuentra ubicada en la margen izquierda del Orinoco. Pero toda esta irrigación del sur del país no se encuentra matemáticamente distribuida en toda la superficie de los dos estados mencionados. Esta situación es observable en el municipio Gran Sabana, donde existe agua superficial en menor cantidad en la zona fronteriza que hacia el norte.

Ahora bien, en el municipio Gran Sabana se encuentra la población de Santa Elena de Uairén, capital del municipio. Esta población se encuentra irrigada por el río Uairén pero sus aguas no son consumibles actualmente por la contaminación de aguas servidas y grises que la misma población, incontroladamente le ha proporcionado.

En vista de ello, se construyeron dos pequeños embalses en el río Wará (afluente del río Uairén) para aprovechar este recurso hídrico; sin embargo, existe poca documentación registrada y disponible sobre la cantidad y calidad del recurso líquido disponible en dicho río o dicho de otra forma, se desconoce la magnitud de las crecidas que aportará la cuenca media del río Wará al embalse denominado Wará I (construido para almacenamiento de agua para la citada población).

En ese orden de ideas y vistos los planteamientos antes expuestos cabe formular las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuál es la delimitación de la cuenca media del río Wará?

¿Cuáles son las características morfométricas de la cuenca media del río Wará hasta la ubicación del embalse Wará I?

¿Cuál es la magnitud del coeficiente de escorrentía ponderado de la cuenca media del río Wará?

¿Cuáles son las características climatológicas que predominan en la cuenca media del río Wará?

¿Cuál es el caudal de diseño que aportará la cuenca media del río Wará al embalse Wará I?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Estimar los caudales de avenida que aportará la cuenca media del río Wará hasta la ubicación del embalse Wará I, municipio Gran Sabana, estado Bolívar, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Delimitar la cuenca media del río Wará hasta la ubicación del embalse Wará I.
2. Caracterizar la morfometría de la cuenca media del río Wará hasta la ubicación del embalse Wará I.
3. Determinar la magnitud del coeficiente de escorrentía ponderado de la cuenca media del río Wará entre las dos (2) represas.
4. Describir las condiciones climáticas predominantes en la cuenca media del río Wará hasta la ubicación del embalse Wará I

5. Estimar el caudal de diseño que aportará la cuenca media del río Wará hasta la ubicación del embalse Wará I

1.2 Justificación de la investigación

La precariedad del conocimiento documentado hidrológico de la cuenca media del río Wará genera muy probablemente un inadecuado manejo u operación del embalse Wará I, para el aprovechamiento del agua ubicada en su vaso de almacenamiento. En vista de ello, con el propósito de realizar una adecuada operación de los desembalses requeridos por la población, se justifica sobradamente esta investigación la cual permitirá conocer parámetros hidrológicos de la cuenca media del río Wará que aseguren un uso racional del agua que aporta la cuenca y que es almacenada en el embalse Wará I.

1.3 Alcance de la investigación

En esta investigación se plantea hacer una delimitación de la cuenca y la descripción de los parámetros morfométricos de la cuenca. Así mismo, se efectuará una descripción de las condiciones hidrológicas del río.

Por otro lado, se correlacionará la capacidad volumétrica del embalse en función de las áreas inundadas para cada nivel de la superficie del agua dentro del vaso de almacenamiento.

Posteriormente, se determinará el coeficiente de escorrentía ponderado de la superficie de la cuenca alta del río Wará hasta el embalse Wará I.

Finalmente, se estimará el caudal de diseño que aportará la cuenca media del citado río para conocer con certeza la cantidad de agua que efectivamente podría proveer la cuenca al citado embalse.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el río Wará, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. Específicamente, se encuentra al oeste de la población Santa Elena de Uairén (capital del municipio). El área de interés de la cuenca media del río Wará, se encuentra entre los embalses Wará I y Wará II y se encuentra geográficamente ubicado entre las coordenadas UTM (REGVEN): N 511164 - E 706790 y N 510982 – E 707664.

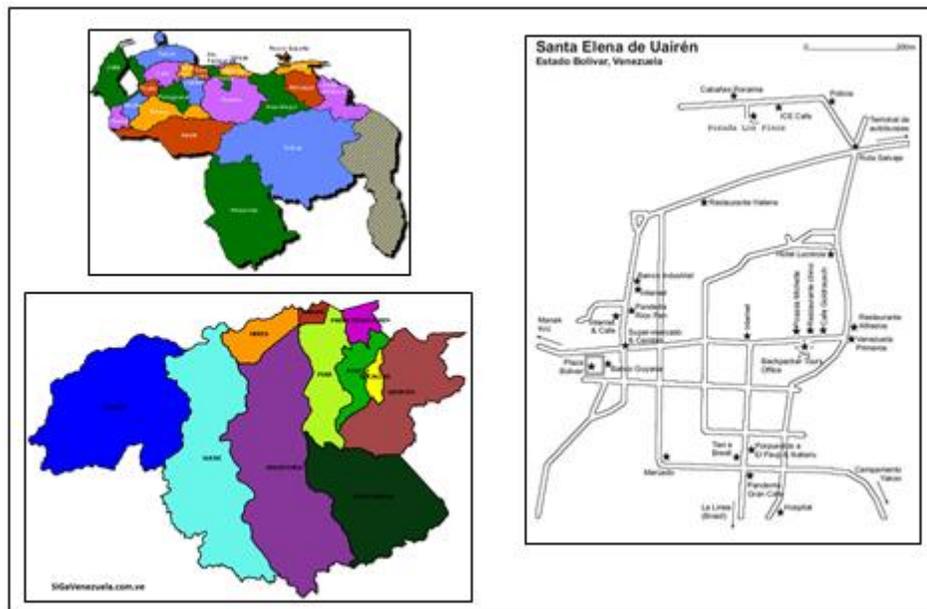


Figura 2.1 Ubicación relativa del área de estudio



Figura 2.2 Ubicación del área de estudio en imagen de satélite Landsat (Google Earth, 2016).



Figura 2.3 Ubicación del área de estudio en imagen CNES/Airbus (Google Earth, 2024).

2.2 Clima

De acuerdo al Estudio Físico Geográfico de la Subcuenca del río Uairén (1983), el clima de esa subcuenca es húmedo tropical con precipitaciones distribuidas regularmente a lo largo de todo el año y altos valores de insolación. Las variables de precipitación, evaporación, temperatura, humedad, radiación y vientos están determinadas por:

“..los efectos orográficos relacionados con la existencia de un gran número de elevaciones que modifican la dirección de los vientos, ocasionan el ascenso de las masas de aire que causan la condensación de la humedad transportada, permite la formación de nubosidad e inciden sobre la radiación recibida” (CVG-EDELCA, 2004, p. 46).

En cuanto a la precipitación en la subcuenca del río Uairén, es por convección tipo torrencial con régimen anual bimodal. El período seco se experimenta de diciembre a abril, febrero es el mes de menor pluviosidad. El período lluvioso es de mayo a noviembre y los meses super húmedos son: junio, julio y agosto (CVG-EDELCA, 1983).

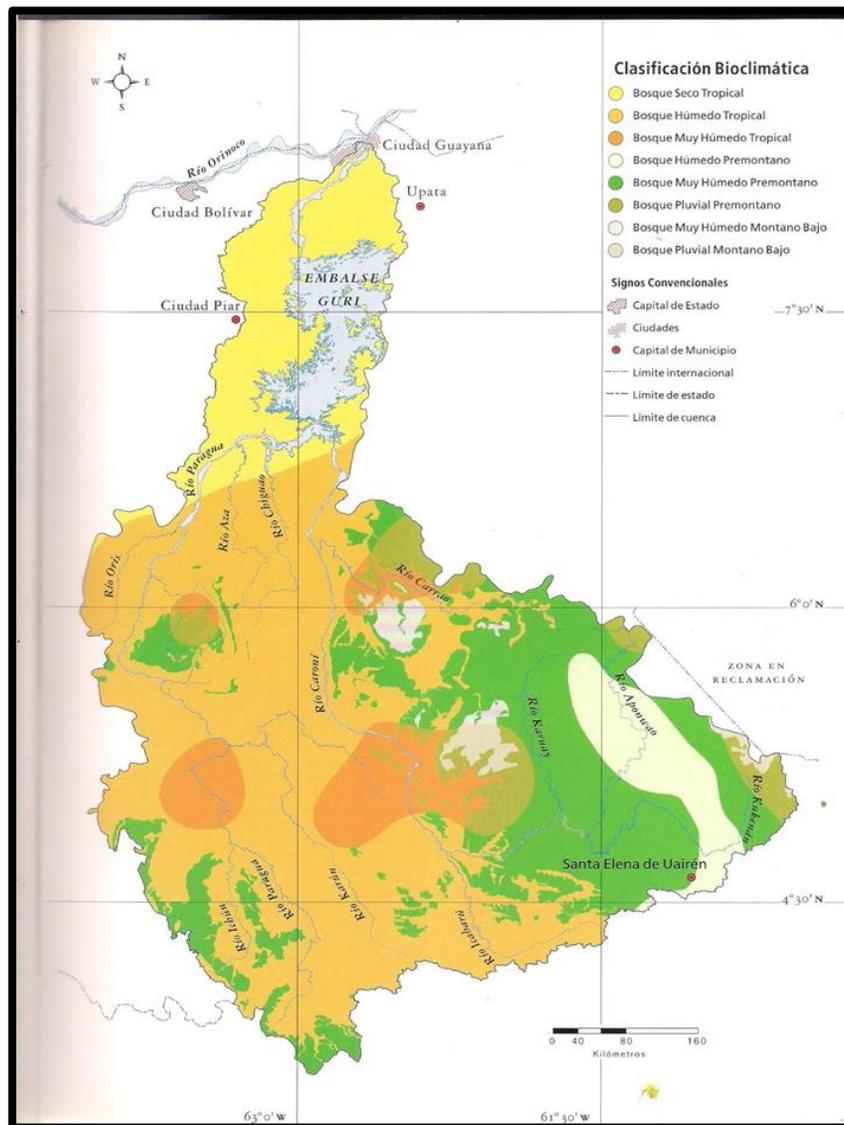


Figura 2.4 Clasificación Bioclimática en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC). (CVG-EDELCA, 2004).

En los meses húmedos o de mayor precipitación se obtienen las máximas crecidas de los caudales, se activan los procesos de erosión y lixiviación (Ibidem), lo que afecta las vertientes y los suelos por el escurrimiento generado.

Los promedios anuales de precipitación en la RHRC, sector alto Caroní y la subcuenca del río Uairén se indican en la siguiente Tabla 2.1 y en la Figura 2.3:

Tabla 2.1. Precipitación media anual en la región hidrográfica río Caroní, sector alto y la subcuenca del río Uairén (mm). (CVG-EDELCA, 2003. CVG-EDELCA, 1983).

Sector	Anual	Período seco	Período lluvioso
Región hidrográfica (1)	2.900	630	2.270
Sector alto (2)	2.670	460	2.210
Subcuenca del río Uairén (3)	1.700	488	1.202

En la subcuenca del río Uairén, el promedio anual de temperatura estimado durante el período 1951-1976 fue de 21.2°C y presentó una máxima media anual de 27.8 °C y una mínima de 16.1°C. (Ibidem, p. 4-5). Para complementar esta información se presentan en la Tabla 2.2, los valores medios anuales de las variables climatológicas para la Región Hidrológica del Río Caroní (RHRC), sector alto Caroní y la subcuenca del río Uairén.

Tabla 2.2. Valores anuales promedios de las principales variables meteorológicas en la región hidrográfica río Caroní, sector alto y la subcuenca del río Uairén (mm). (CVG-EDELCA, 2003. CVG-EDELCA, 1983)

Sector	Evaporación mm	Temperatura °C	Humedad relativa %	Radiación cal/cm2/día	Velocidad viento m/s
Región hidrográfica (1)	1.830	24,3	77	426	1,7
Sector alto (2)	1.690	22,1	78	406	1,6
Subcuenca del río Uairén (3)	700	21,2	83	-	1,3

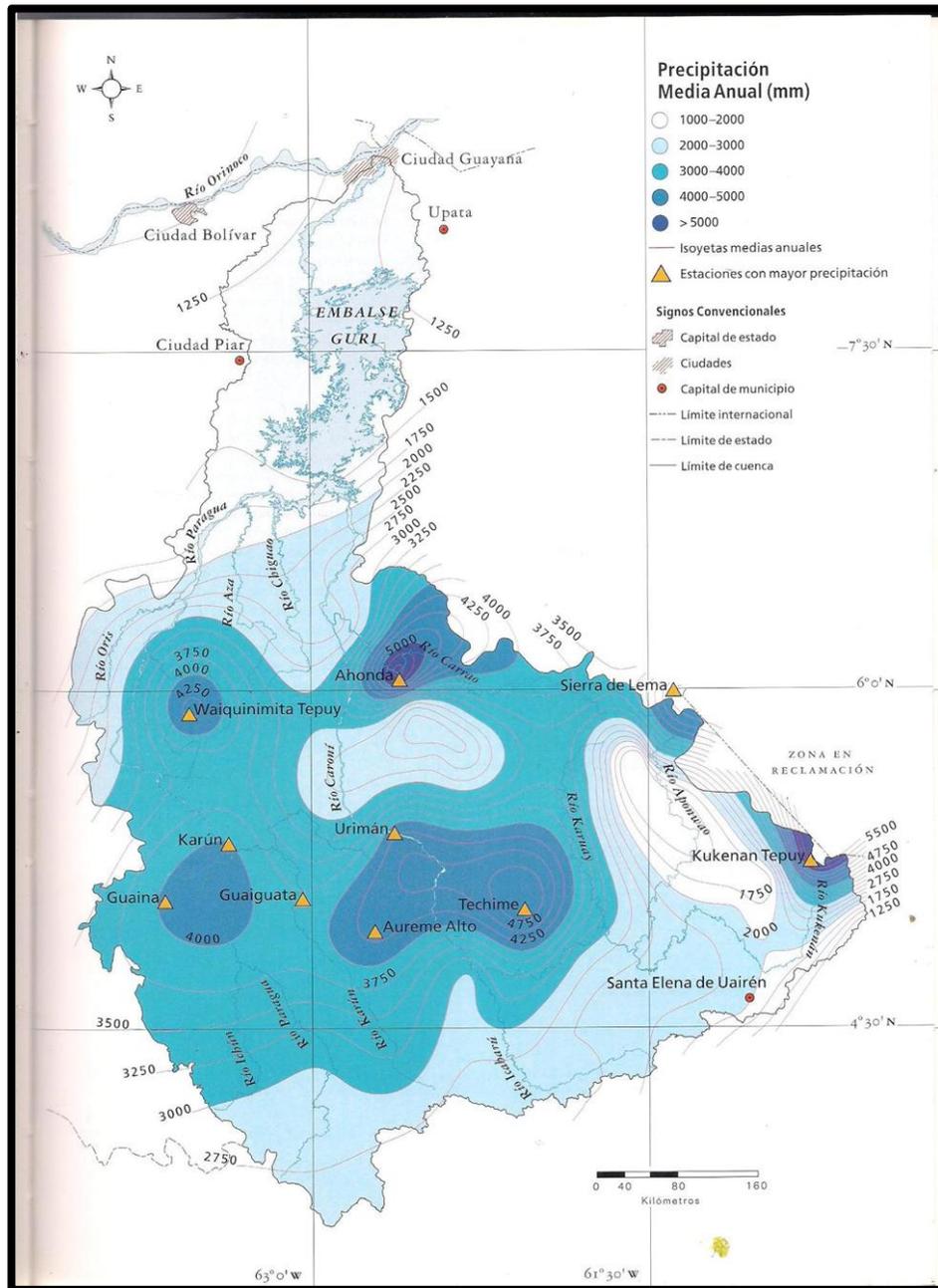


Figura 2.5 Precipitación en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC). (CVG-EDELCA, 2004).

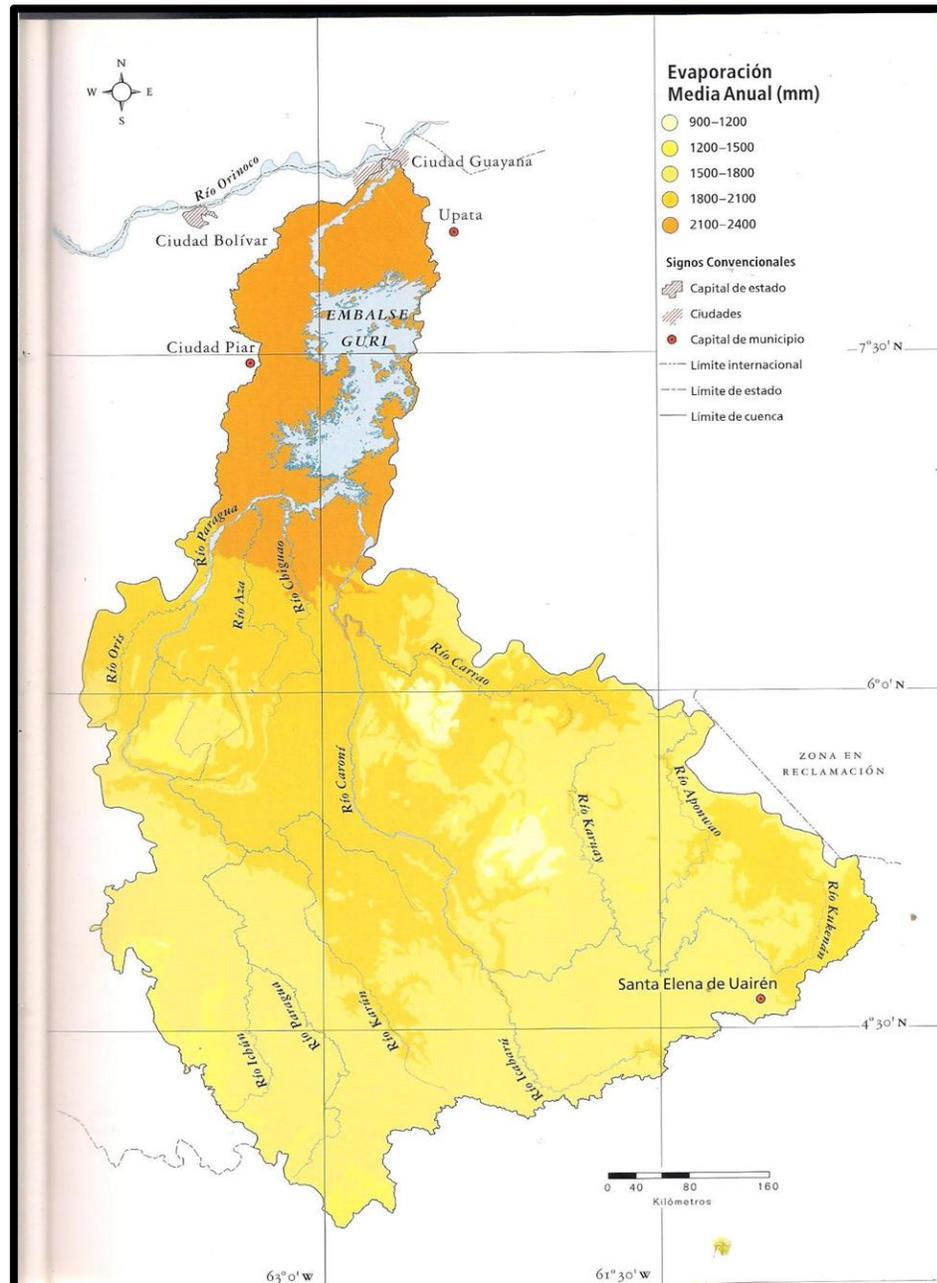


Figura 2.6 Evaporación en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC). (CVG-EDELCA, 2004).

2.3 Hidrografía

El río Caroní nace en los macizos Roraima-Tepuy y Kukenán-Tepuy, dirige sus aguas por el sector centro-oriental del estado Bolívar, drena en el río Orinoco el cual desemboca en el océano Atlántico. Tal río se caracteriza por una inmensa riqueza hidrográfica constituido por 245 subcuencas. El sector alto comprende 27% del espacio de la región hidrográfica del río Caroní (RHRC). Sus principales tributarios son los ríos Yuruaní, Aponwao y Karauay por la margen derecha (drenan 80% del territorio tributario del sector alto) y por la margen izquierda los ríos Kukenán, Uairén y Sucurúm. Las nacientes de los últimos ríos se ubican en la divisoria fronteriza definida por la sierra Pacaraima. (CVG-EDELCA, 2004, p.54)

La subcuenca del río Uairén presenta 680 km² de superficie, el río Uairén posee 64 km de longitud y discurre entre los niveles de 1.400 y 840 m.

La subcuenca está conformada por siete (7) áreas hidrológicas principales, una de ellas es la micro-cuenca del río Wará (CVG-EDELCA, 1983) (figura 2.9).

La citada micro-cuenca se estima en 52 km², a través de ella fluyen gran cantidad de drenajes de patrón dendrítico de régimen intermitente que drenan al río Wará, el cual alimenta el colector principal o río Uairén por su margen occidental, para luego ser tributario del río Kukenán.

El tipo de afluente es de 4to orden (Ibidem).



Figura 2.7 Embalse Wará I (Google earth, 2017).



Figura 2.8 Vista del embalse de la represa Wará I.

Del mismo modo, los períodos de máximas crecidas se corresponden a los especificados anteriormente. Durante la inspección de campo, el cauce del río Wará medía 25 m de ancho aguas abajo del dique Wará I.

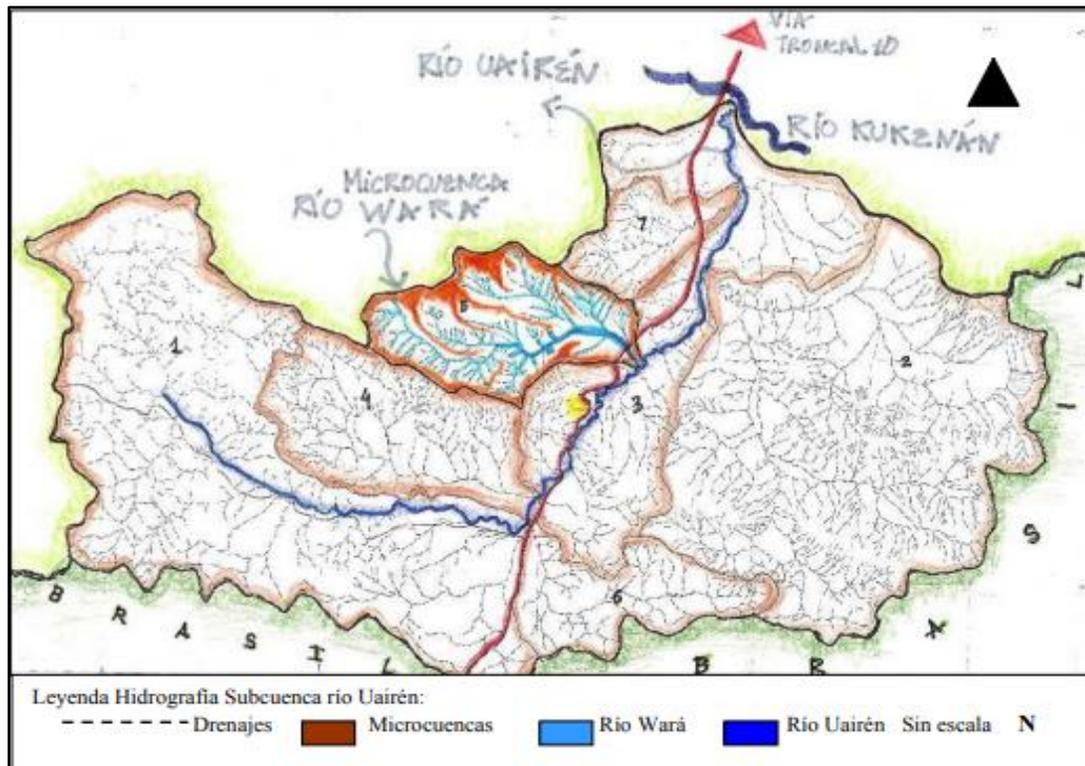


Figura 2.9 Hidrografía de la subcuenca del río Uairén (CVG EDELCA, 1983).



Figura 2.10 Río Wará aguas abajo del dique Wará I.

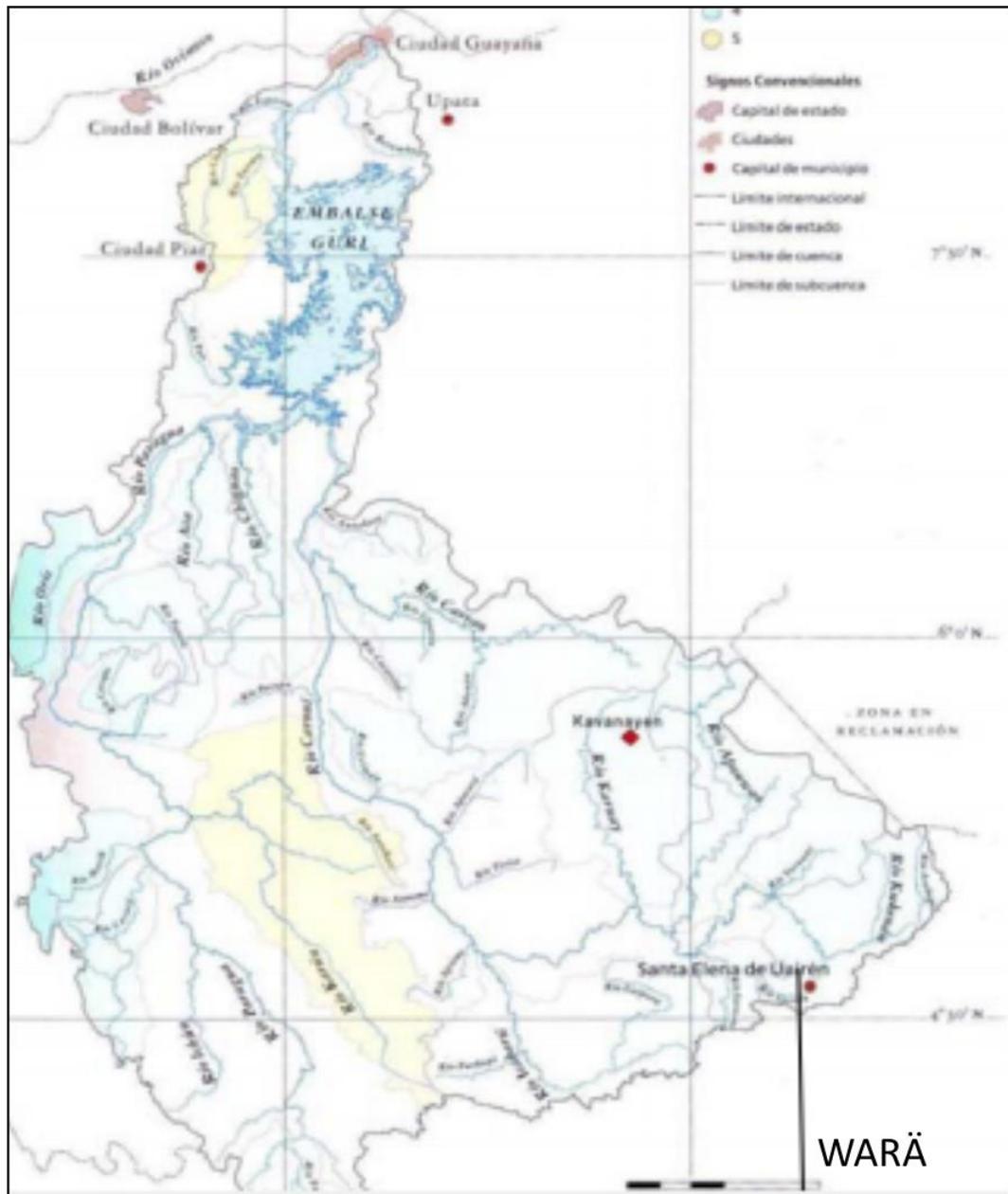


Figura 2.11 Región Hidrológica del Río Caroní (CVG EDELCA, 2004).

2.4 Geología

La subcuenca del río Uairén geológicamente pertenece a la parte norte del Escudo Guayanés donde afloran rocas que caracterizan a las provincias geológicas de

edad precámbrica (oscilan entre 3.500 y 900 millones de años): Cuchivero, Roraima y Magmática de Roraima (CVG-EDELCA, 1983).

Tabla 2.3. Composición geológica de la Subcuenca del río Uairén. (CVG-EDELCA, 1983).

Provincia	Litología característica	Representación
Cuchivero	Rocas plutónicas y metavolcánicas.	Granitos, riolitas y rodacitas.
Roraima	Rocas sedimentarias e ígneas intrusivas.	Conglomerados basales, areniscas, arcillas, lutitas, etc.
Magmática del Roraima	Rocas intrusivas básicas.	Diabasa.

El Escudo Guayanés “comprende la provincia fisiográfica más antigua del territorio venezolano” (CVG-EDELCA, 2004, p.72), a la vez, la Región Hidrográfica del río Caroní experimenta poca o nula actividad sísmica debido, principalmente, a su ubicación a más de 300 km. al sur de la zona de convergencia de las placas tectónicas del Caribe y Suramérica (Ibidem, p.76). De acuerdo a la zonificación sísmica de Venezuela indicada por las normas COVENIN 1756-98 para el diseño de estructura sismos resistentes, Wará se localiza en la Zona 1 de muy bajo movimiento sísmico (Ibidem).

2.5 Geomorfología

La micro-cuenca de Wará se encuentra emplazada en el paisaje de valle, el cual se caracteriza en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC) por: Ocupar los espacios geográficos más deprimidos y bajos, frecuentemente asociados a cursos de agua que actúan como eje, lo que les confieren una forma alargada y relativamente plana...presentan un escaso aporte aluvial de sedimentos” (CVG-EDELCA, 2004, p. 83).

Dicho paisaje en el área de estudio, está compuesto, principalmente, por dos tipos de relieves: “las cuestas monoclinales de areniscas predominantes en pendientes mayores a 30% en los frentes de cuestas y menores a 15% en los dorsos y alterna con pequeños valles coluvio aluviales con una pendiente menor a 5%” (CVG-EDELCA, 1983).

El valle coluvio-aluvial está conformado por material transportado de origen coluvial y aluvial. Los materiales coluviales se presentan bajo la forma de glacis que descienden desde las cuestas monoclinales y se integran a la planicie aluvial (material aluvial) (CVG-EDELCA, 1983).

Cabe acotar, que las áreas inundables son aquellas que están sometidas al anegamiento permanente por los bajos valores de pendientes donde la infiltración domina sobre la escorrentía y corresponde al espacio de los morichales y la planicie aluvial, áreas susceptibles a la intervención antrópica.

El relieve del área en estudio está determinado y/o condicionado por la diversa gama de pendientes, las cuales se clasifican en: muy suaves, suaves, moderadas y fuertes.

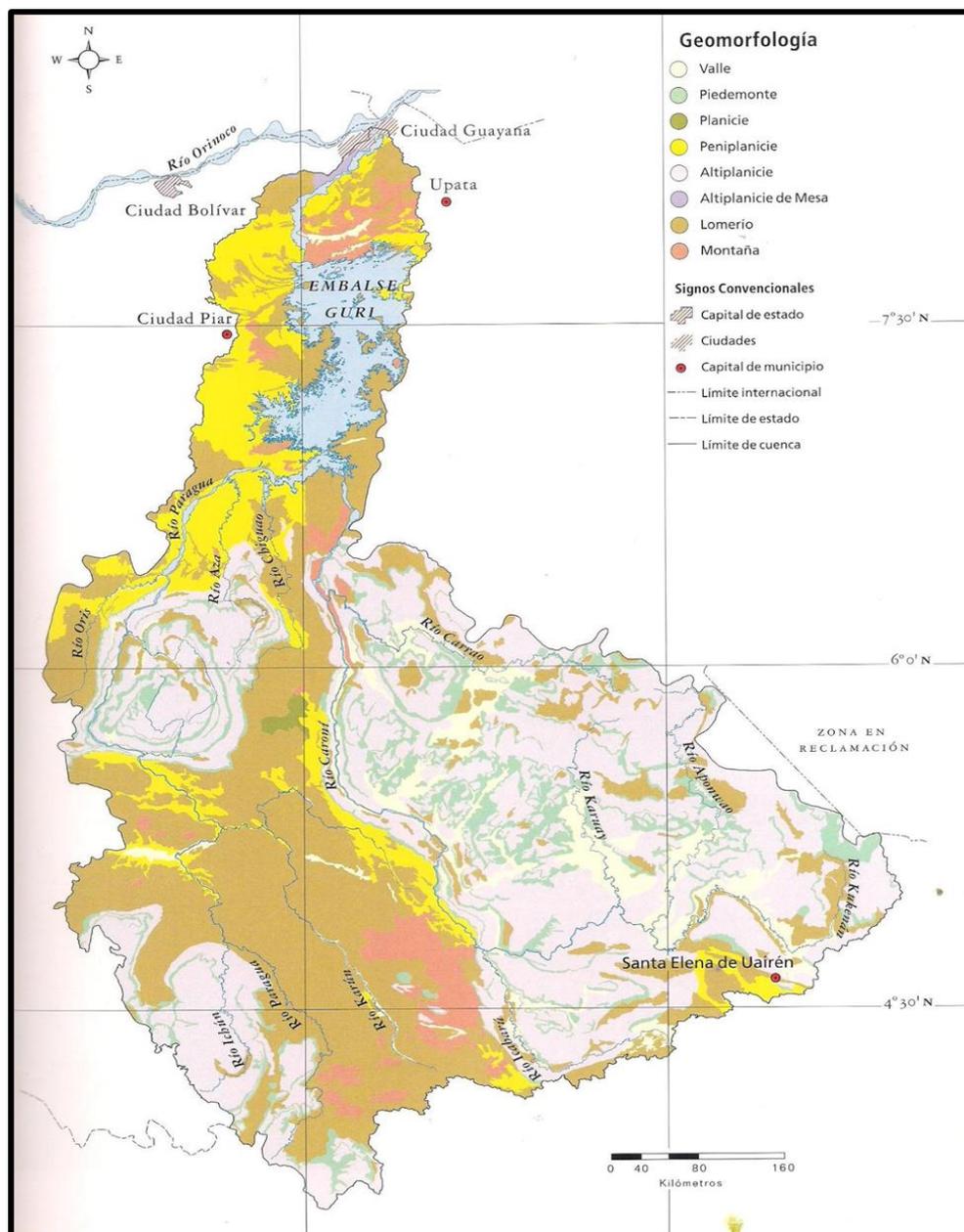


Figura 2.13 Geomorfología de cuenca del río Caroní (CVG EDELCA, 2004).

A continuación, en la figura 2.13 se ilustra una aproximación a las pendientes del área de estudio:

- a. Las pendientes muy suaves de 0 a 3.5 % (0 a 2°) del área de estudio se ubican en las planicies aluviales y zonas anegadizas.
- b. Las suaves de 8 % (5°) corresponden, en gran medida, al área donde está asentada la población o en las faldas de las lomas.
- c. Las pendientes moderadas de 18% y 21% (10 ° y 12°) se ubican en las lomas de los cerros.
- d. Las más fuertes de 27 % (15°) se presentan en las crestas.

De acuerdo a la imagen mostrada y el recorrido en campo, pareciera predominar en Wará las pendientes muy suaves y suaves.

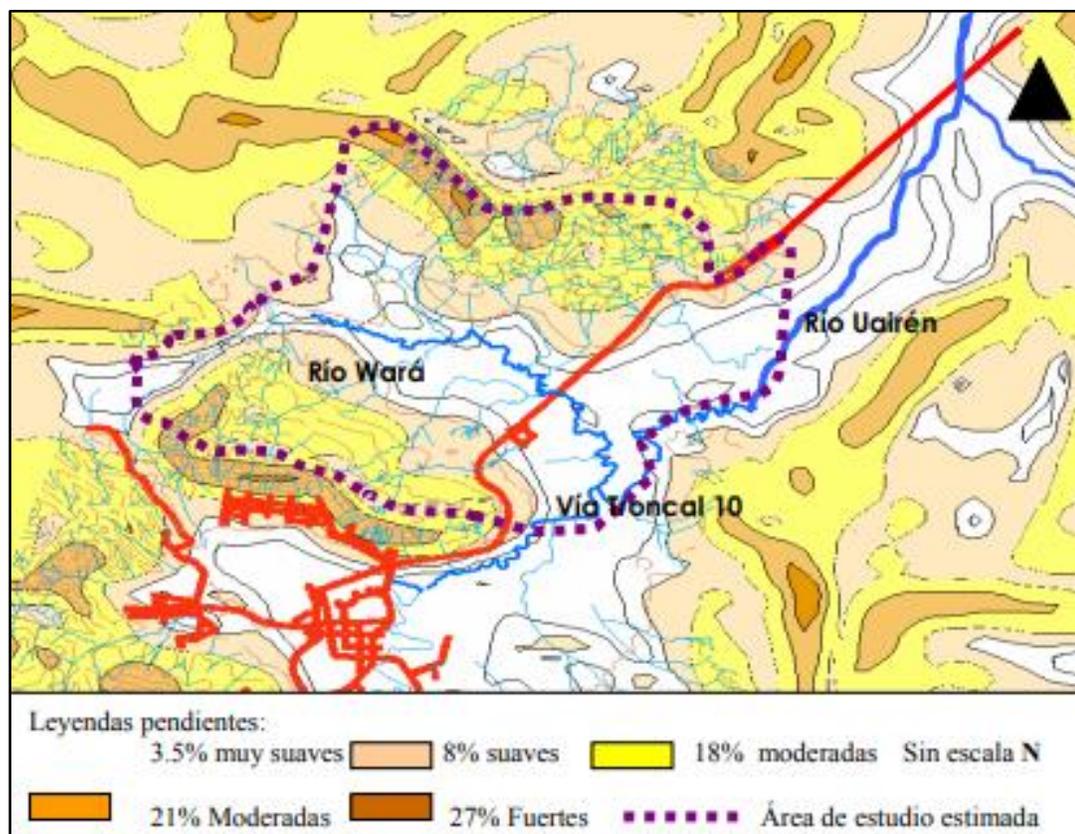


Figura 2.14 Pendientes de Wará (Figueroa, M. 2007).

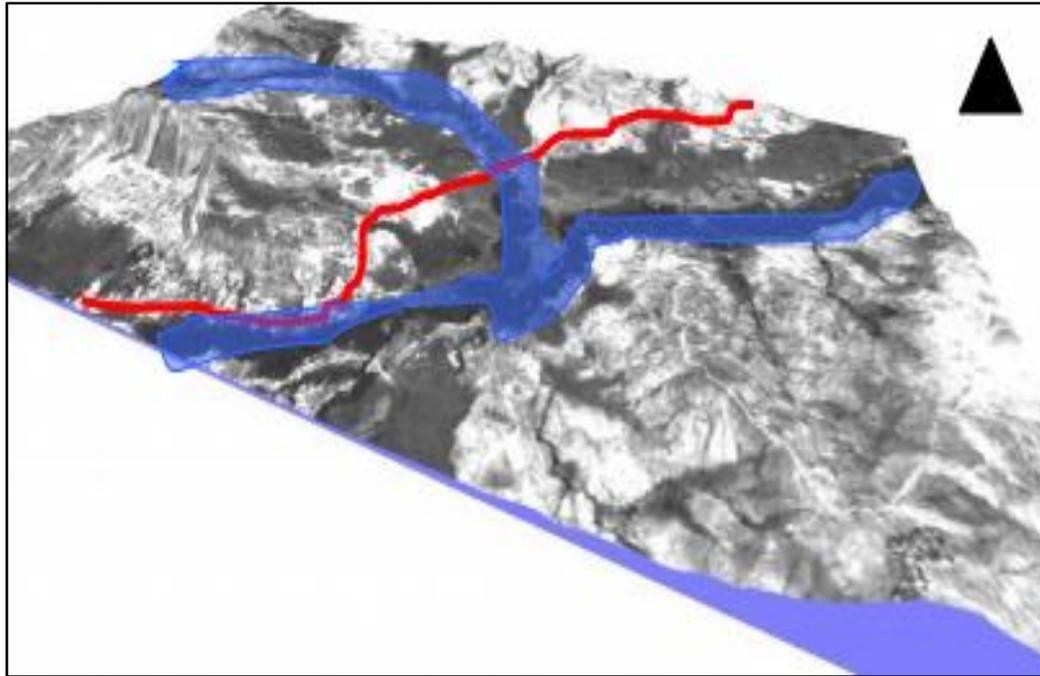


Figura 2.15 Vista 3D, sección topográfica Wará (Figuroa, M. 2007).

2.6 Suelos

De acuerdo al Estudio de la Subcuenca del río Uairén (1983), en el área en estudio existen tres tipos de suelos, a entender: Entisoles, Utilisoles e Inceptisoles, que responden a la “diversidad existente de materiales litológicos, tipos de relieve, clima y cobertura vegetal” (CVG-EDELCA, 2004, p.85).

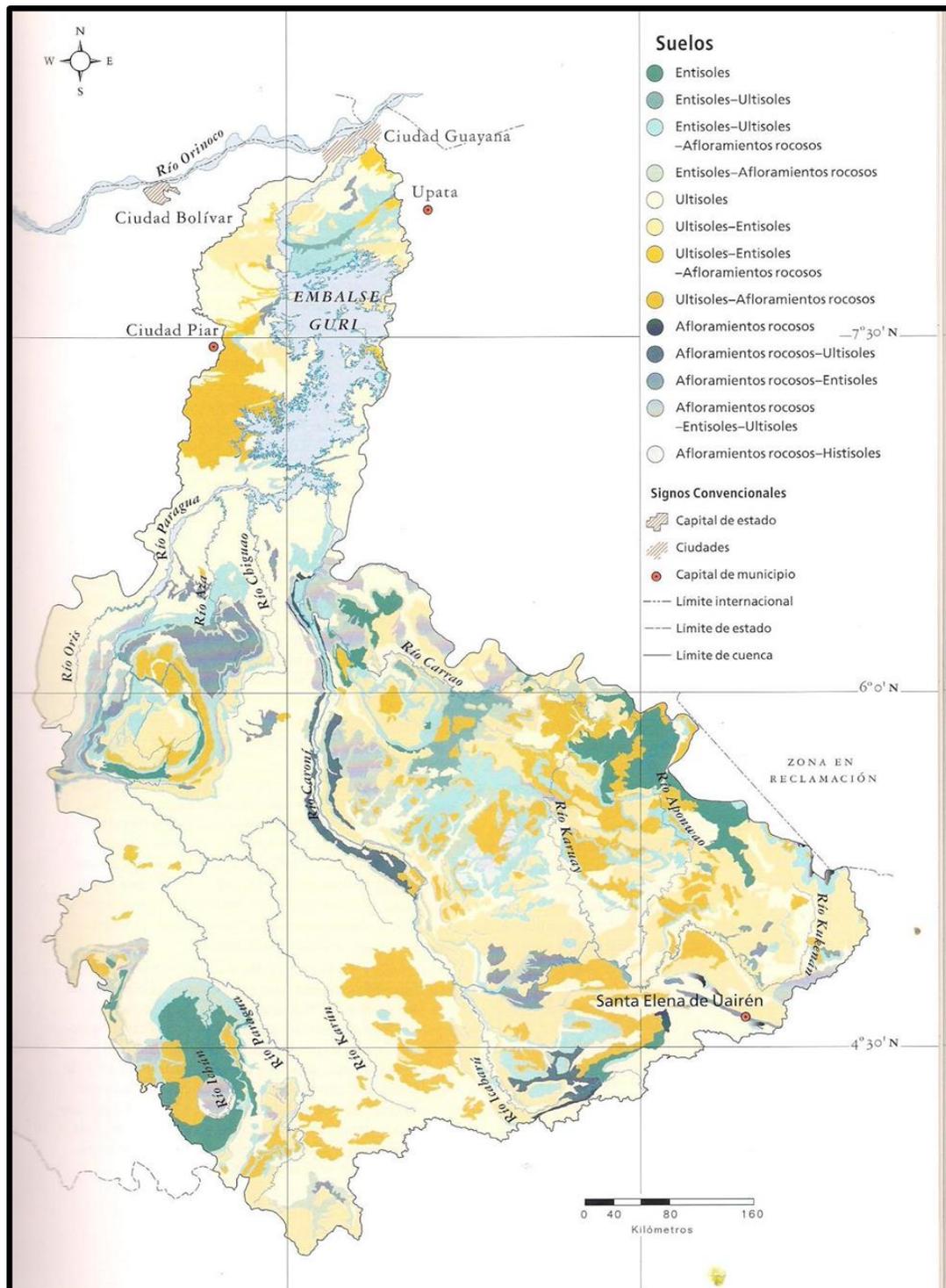


Figura 2.16 Suelos de la cuenca del río Caroní (CVG EDELCA, 2004).

A partir de observaciones realizadas en campo, pareciera predominar en el área de asentamiento de la población los Entisoles asociados a la textura arenosa en el valle coluvio-aluvial, con algunas variaciones por rocosidad y pedregosidad en los sectores de mayor pendiente (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Características de los suelos en Wará (CVG EDELCA, 1983)

Relieve	Taxonomía	Textura	Profundidad	Características hidrológicas de los suelos
Cuestas de areniscas	Entisoles	Arenosa	<30 cm	Alta permeabilidad y baja capacidad de retención de humedad.
Valle coluvio - aluvial	Ultisoles	Arcillosa	>120 cm	Lenta a moderada permeabilidad y alta retención de humedad asociado a la escasa pendiente que impide el drenaje.
Áreas deprimidas planicie aluvial	Inceptisoles	Arenosa	>120 cm	Sometidos a un anegamiento permanente asociado al drenaje lento. Alto contenido de materia orgánica.

Los Entisoles específicamente se caracterizan por ser suelos:

“Superficiales a moderadamente profundos...predominan las texturas arenosas y arena francosas con proporciones variables de grava, guijarros de cuarzo y nódulos de hierro...Los Entisoles tienen su mayor expresión en los sectores Medio y alto Caroní donde alcanza a cubrir casi el 60% del área” (Ibidem, p.86).

En particular, los suelos Entisoles en el área en estudio se evidencian en la existencia de un gran potencial de yacimientos de minerales no metálicos, específicamente, arena granza (blanca y rosada). Estos han sido explotados durante más de 30 años, para satisfacer la demanda local de la industria de la construcción. La explotación de esta materia prima ha generado entradas económicas a la comunidad y funge como uno de los aspectos positivos sobre la comunidad manifestado por las personas encuestadas.

Asimismo, las personas empadronadas expresaron su preferencia hacia este suelo, su condición de alta permeabilidad facilita la movilidad a pie en épocas de lluvia.

De otra forma, los órdenes Entisoles y Ultisoles tienen características comunes, entre las que predominan la baja fertilidad y, por ende, el bajo potencial para el desarrollo de actividades agrícolas convencionales sin aplicación de alguna técnica productiva especial.

Los suelos muy húmedos y/o con concentraciones de agua superficial se ubican generalmente en la planicie aluvial y la primera y segunda terraza del valle coluvio aluvial, las cuales presentan la menor pendiente y por ende, suelen ser las preferidas en general para ubicar los asentamientos. Sin embargo, su característica hidrológica (considerable el grado de sedimentación que presenta el lecho en la planicie aluvial que proviene de las cuestas de areniscas) debe ser tomada en cuenta debido al efecto que tiene sobre la estabilidad de los proyectos de instalación de servicios de infraestructura de redes y de las viviendas.

2.7 Erosión

Los efectos de los condicionantes y agentes externos como: el clima, el suelo, la topografía, la cobertura vegetal y la acción antrópica, se manifiestan, sobre el suelo, en un proceso de degradación, el cual tiene como resultado la producción de sedimentos y la disminución de sus atributos necesarias para la producción de bienes y servicios (CVG-EDELCA, 2004, p.87).

Según el Estudio del Plan Maestro de la Cuenca del río Caroní (2003) el área en estudio se encuentra en una zona de erosión fuerte determinados por factores

naturales como antrópicos. A continuación, se describe ese tipo de erosión (tabla 2.5 y figura 2.15).

Tabla 2.5. Descripción erosión fuerte (CVG EDELCA, 2003)

Erosión	Descripción
Fuerte	Áreas con erosión laminar severa y generalizada, que ha producido la pérdida de más de la mitad del espesor original del epipedón, en más del 50% de la superficie, o áreas donde se presenta erosión concentrada (surcos o cárcavas) que requieren trabajos intensos para su corrección.

A través de la visita de campo se pudieron detectar varias zonas de erosión intensa: Los primeros, aguas abajo del dique Wará I, al este de la Planta de Tratamiento Wará, se observa una cárcava en los terrenos de la comunidad indígena de Wará, colocando en situación de franco peligro a la tubería que proviene de la planta de tratamiento de agua, la cual en algún tramo de su tendido se encuentra sin apoyo (en el aire), solo anclada en los bordes de la cárcava. Cabe destacar que esta cárcava pareciera de origen natural ya que se encuentra en un valle rodeado por elevaciones o cerros, de muy escasa vegetación y elevada pendiente, por cuyas laderas se presume el descenso del agua a gran velocidad.

Existen otras zonas en la cuenca que fueron utilizadas como saques de arena que actualmente están inactivos ya que fueron declarados Zonas de Recuperación por el Estado.

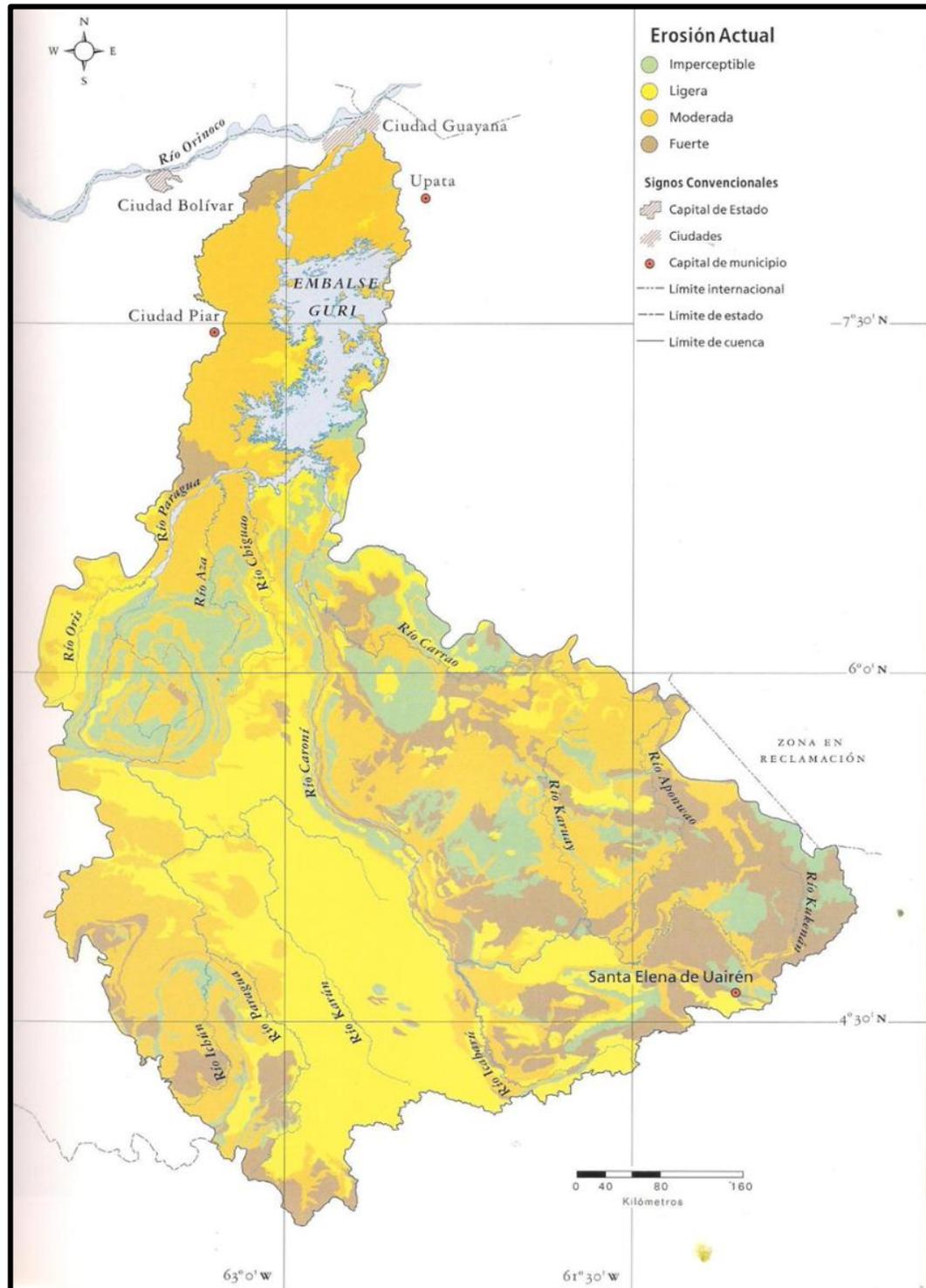


Figura 2.17 Erosión en la cuenca del río Caroní (CVG-EDELCA, 2004).

Las consecuencias son en detrimento del ambiente físico-natural de la microcuenca del río Wará, principalmente por:

a. La deforestación de estas zonas, dejándolas carentes de vegetación y proclives al desarrollo de cárcavas.

b. La alteración de la dinámica de la microcuenca, que genera áreas de erosión concentrada bajo la forma de profundas cárcavas y surcos que se integran a los cursos de aguas.

c. La aceleración de la deposición de sedimentos en los cauces pudiendo influir en la disminución del caudal del río Wará y posteriormente el del río Uairén.

d. Se pueden generar movimientos en masa que amenacen la estabilidad de las viviendas ubicadas en los asentamientos que se encuentran en las cercanías de los saques.

Como se ha demostrado, una parte de los suelos en el área en estudios presentan severas limitaciones por las pendientes fuertes y el anegamiento permanente, bajo estas características se sugiere usos para: preservación, recreación conservación, de los regímenes de agua.

Se recomienda estudios del medio físico puntuales en las zonas donde se desarrolle urbanismo y/o obras de gran envergadura con el fin de minimizar riesgos.

2.8 Vegetación del área de estudio

En el área de estudio se ha desarrollado un considerable número de especies vegetales adaptadas a sus ecosistemas. La vegetación se caracteriza por ser particular

de la región y se desarrolla sobre suelos muy ácidos, derivados de la descomposición de las areniscas. Dominan las sabanas y bosques de galería, los cuales se sitúan a lo largo de los cursos de los ríos y quebradas que atraviesan las sabanas. Estos bosques presentan una vegetación muy variada donde se observan árboles, arbustos, bejucos, plantas epifitas y la palma moriche *Mauritia flexuosa*. Los arbustos raramente superan los 2 a 3 metros de altura. Las familias de plantas más importantes son Theaceae, Humiriaceae, Ericaceae, Compositae, Aquifoliaceae, Burseraceae, Sapotaceae. Entre las especies más altas, cabe destacar una Rutácea, la *Spathelia Fruticosa*, con tallos no ramificados de hasta cuatro metros, y un penacho de hojas compuestas en el ápice (figura 2.18).

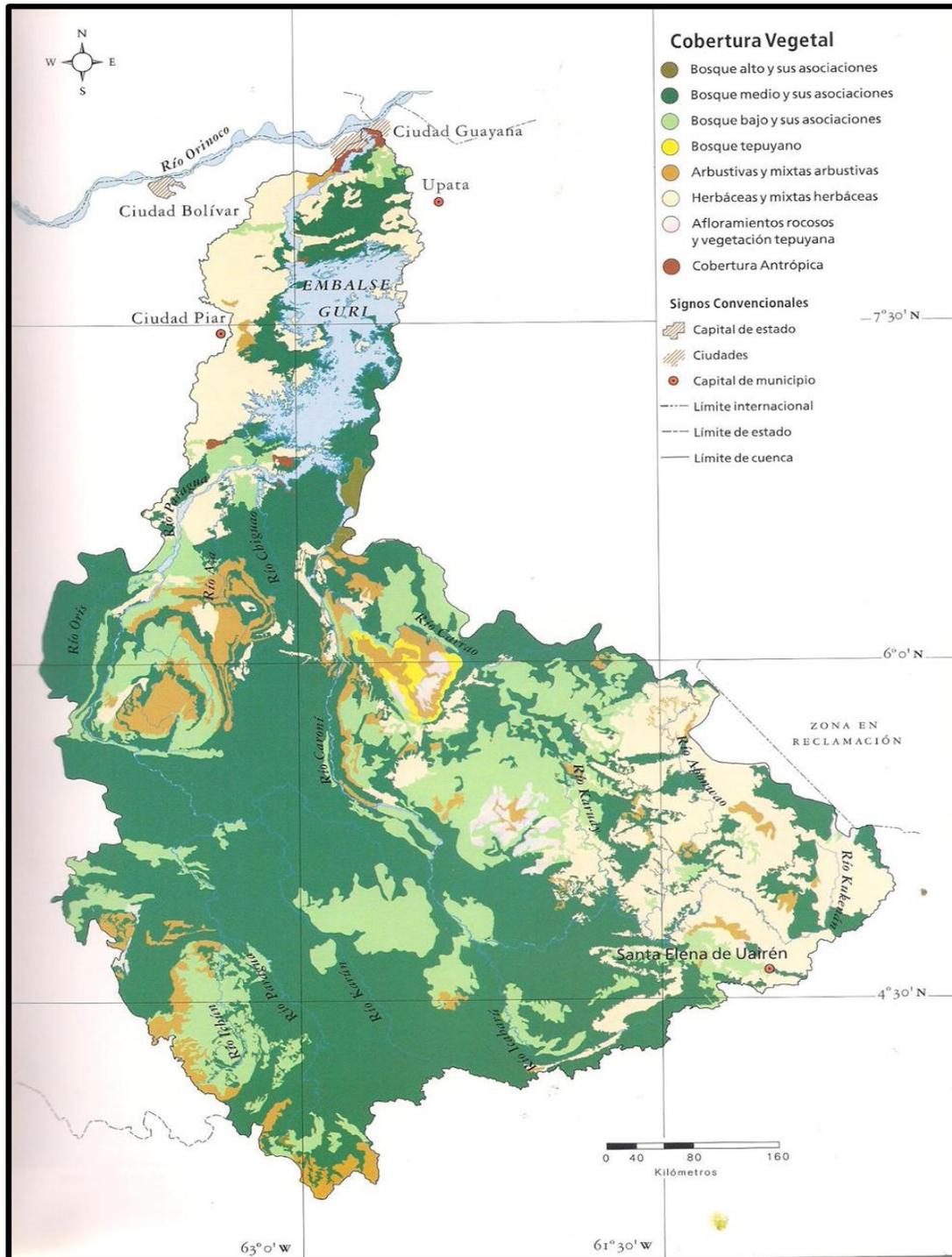


Figura 2.18 Cobertura vegetal de la cuenca del río Caroní (CVG-EDELCA, 2004).



Figura 2.19 Bosque de galería por la ribera derecha descendente del río Wará.

2.9 Fauna del área de estudio

La fauna de la Gran Sabana es muy variada y depende de la altura y el tipo de vegetación.

Encontramos con oso melero, báquira, ardilla guayanesa, puma, venado, pereza de tres dedos, comadreja, zorro granjero, monos cara rayada, monos machín, ratones, oso hormiguero gigante, perro de agua o nutria gigante, jaguar o tigre y cunagueros, Murciélago Pescador, Vampiro Desmodus, Murciélago Narión, Mono Araña, Mono Capuchino, Oso Melero, Perezoso de Dos Dedos, Ardilla Común, Conejo de Monte, Tonina Delfín de río. Reptiles como el camaleón, la iguana, el morrocoy selvático, serpientes como la falsa coral, Bejuca, anaconda, falsa mapanare, y venenosas como la coral, mapanare, cuaima piña y cascabel. En cuanto a las aves podemos citar el Guacamayo rojo, perico cara sucia, rey zamuro, campanero, colibrí, pájaros capuchinos, gallito de las rocas, tucanes. También hay numerosas especies de ranas y sapos.

El Sapo Minero, es uno de los anfibios más interesantes de La Gran Sabana, al sur de Venezuela. Pertenece a una familia de sapos, cuyas especies se caracterizan por la secreción venenosa abundante que produce su piel. También son llamados "Veneno de flecha", ya que los indios usan dicha sustancia para envenenar la punta de sus dardos y flechas.

Viven en el piso húmedo y sombrío de la selva. Se los encuentra a menudo caminando sobre el ripio acumulado en el suelo y entre las plantas que lo cubren. Aún así, se destacan claramente, ya que la combinación de color negro y dorado que ostentan es muy fácil de detectar.

El hecho de ser tan llamativos, no los pone en peligro, pues pocos animales están interesados en saborear el veneno que producen. Por lo general, esta coloración avisa a un depredador potencial que si se le ocurre cazarlos se llevará un gran chasco y es posible que hasta pueda morir. En lugar de poner muchos huevos en el agua, como hacen otras especies, los sapos mineros ponen pocos huevos para que el macho pueda llevarlos todos adosados a su espalda.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes o estudios previos.

Cordova, G. y García, E. (2018) preparó una investigación de tipo descriptiva como trabajo de grado en la Universidad de Oriente titulada “**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO Y VIDA ÚTIL DEL EMBALSE WARÁ I, RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.**”, cuyo objetivo era describir con detalle los aspectos involucrados en el almacenamiento de agua y la vida útil de la mencionada represa. En ese estudio, se describen las condiciones morfológicas del vaso de almacenamiento y los criterios utilizados para la cuantificación de la vida útil del embalse

Perez, H. y Sánchez, H. (2018). Elaboró el Trabajo de grado en la Universidad de Oriente titulado “**DIAGNÓSTICO OPERATIVO Y ESTRUCTURAL DEL VASO DE ALMACENAMIENTO Y DIQUE DE CONCRETO DE LA REPRESA WARÁ I EN EL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.**” cuyo objetivo principal consistió en presentar un diagnóstico de las condiciones de operatividad del embalse y estructural del dique Wará I Este estudio presenta un apoyo sustancial a la presente investigación por cuanto en ella se describe los procesos de erosión, depositación y del movimiento de sedimentos y del almacenamiento del agua en el embalse Wará I lo cual será de utilidad en esta investigación para la estimación de los caudales de avenida que la cuenca aporta al embalse.

Lira, A. y Orta, K. (2018). Elaboraron la investigación titulada “**PROPUESTA PARA EL CONTROL DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LAS FUNDACIONES DEL DIQUE DE CONCRETO DE LA REPRESA WARÁ I EN EL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.**”, cuyo objetivo general es presentar una propuesta de protección para evitar las filtraciones de agua a través de las fundaciones del dique de concreto de la mencionada represa. Dicha investigación servirá de apoyo al presente estudio por cuanto por cuanto se describe la magnitud de las pérdidas a través de las fundaciones y esta información permitirá dilucidar si los caudales de avenida de la cuenca media del río Wará son capaces de compensar dichas pérdidas.

3.2 Bases teóricas

Chow, *et al*, (1994) en su obra “Hidrología Aplicada” establece expresamente como parámetros climatológicos hidrológicos vitales que intervienen en el balance hídrico, los siguientes: precipitación, evaporación. Temperatura, insolación, humedad relativa velocidad de los vientos, el escurrimiento y la infiltración, entre otras.

En ese sentido, se describen a continuación cada una de estas variables.

3.2.1 Precipitación

La precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmosfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de masa de aire son la elevación frontal, donde el aire caliente es elevado sobre el frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la

elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica. Las celdas convectivas se originan por el calor superficial, el cual causa una inestabilidad vertical de aire húmedo, y se sostienen por el calor latente de vaporación liberado a medida que el vapor del agua sube y se condensa.

Las pequeñas gotas de agua crecen mediante la condensación e impacto con las más cercanas a medida que se mueven por la turbulencia del aire, hasta que son lo suficientemente grandes para que la fuerza de gravedad sobrepase la fuerza de fricción y empiezan a caer, incrementando su tamaño cuando golpean otras gotas en su descenso. Sin embargo, a medida que la gota cae, el agua se evapora de su superficie y su tamaño disminuye, de tal manera que puede reducirse nuevamente al tamaño de un aerosol y desplazarse hacia arriba en la nube debido a la turbulencia.

Las gotas permanecen esféricas hasta un diámetro de alrededor de 1mm, pero empiezan a aplanarse en el fondo cuando aumenta su tamaño, y dejan de ser estables en su caída al atravesar el aire dividiéndose en pequeñas gotas de lluvia. Las gotas de lluvia normales que caen a través de la base de una nube tienen de 0.1 a 3 mm de diámetro (Chow *et al*, 1994).

3.2.1.1 Intensidad-duración y frecuencia de las lluvias.

Las características de las lluvias a considerar en el diseño de obras civiles de drenaje dependen del grado de protección que se desee, lo cual, por razones económicas, se basa en la importancia del sector, en su densidad de población y en los inconvenientes de tránsito por ser arterias principales o secundarias (Chow *et al*, 1994).

❖ Frecuencia de las lluvias: el concepto de frecuencia está asociado al de probabilidad y se le llama también intervalo de recurrencia, y es el número de veces que un evento es igualado o excedido en un intervalo de tiempo determinado o en número de años.

La frecuencia se denota por tanto como

$$f = \frac{\text{n}^\circ \text{ de años}}{\text{n}^\circ \text{ de veces}} \quad (3.1)$$

Las normas INOS establecen que para el cálculo del caudal de aguas de lluvia se estimen las frecuencias siguientes:

- a. Para zonas residenciales, de 2 a 5 años.
- b. Para zonas comerciales y de elevado valor, de 5 a 15 años, dependiendo de su justificación económica.
- c. Para obras de canalizaciones de cursos naturales, ríos o quebradas, 50 años o más (Chow *et al*, 1994).

❖ Intensidad de las lluvias: la intensidad de una lluvia se define como el volumen de agua que precipita por unidad de tiempo, y generalmente se expresa en mm/h, mm/min, mm/sg/ha o lt/sg/ha. En el diseño de alcantarillados, generalmente se utiliza la unidad lt/sg/ha, sin embargo, muchas estaciones pluviográficas reportan sus datos en mm/h, por lo cual conviene tener presente el factor de conversión:

$$1 \text{ mm/h} = 2,78 \text{ lt/sg/ha} \quad (3.2)$$

La intensidad de la lluvia depende de la duración de ésta, existiendo generalmente una relación inversa entre ellas (Chow *et al*, 1994).

❖ Duración de las lluvias: la duración de la lluvia es el tiempo comprendido entre el comienzo y el final de la lluvia, este final puede ser del total o el momento hasta donde es apreciable la lluvia para efectos prácticos. La lluvia según su duración puede denominarse como corta, cuando la duración es menor de 120 minutos, y larga, cuando es mayor de 120 minutos (Chow *et al*, 1994).

Las normas INOS establecen en su artículo 3.14.1 lo siguiente:

“El tiempo de duración que debe considerarse para la determinación de la intensidad de lluvia, no será inferior a 5 minutos. En cada caso se fijará el tiempo de precipitación, de acuerdo a las condiciones locales”
(p. 207)

3.2.2 Evaporación

Los dos factores principales que influyen en la evaporación desde una superficie abierta de agua son el suministro de energía para proveer el calor latente de vaporización, y la habilidad para transportar el vapor fuera de la superficie de evaporación. La radiación solar es la principal fuente de energía calórica. La habilidad de transporte del vapor fuera de la superficie de evaporación depende de la velocidad del viento sobre la superficie y del gradiente de humedad específica en el aire por encima de ella (Chow *et al*, 1994).

La evaporación desde la superficie terrestre comprende la evaporación directa desde la superficie del suelo y desde la superficie de la vegetación, y la transpiración a través de las hojas de las plantas, mediante la cual el agua es extraída por las raíces

de éstas, transportada hacia arriba a lo largo de sus tallos y difundida a la atmosfera a través de pequeñas aberturas en las hojas llamadas estómagos. Los procesos de evaporación desde la superficie terrestre y de transpiración de la vegetación se conocen con el nombre de evapotranspiración. La evapotranspiración es influida por los dos factores descritos anteriormente para la evaporación desde superficie abierta de agua, y también por un tercer factor, el suministro de humedad hacia la superficie de evaporación (Chow *et al*, 1994).

La evapotranspiración potencial es la que puede ocurrir desde la superficie bien cubierta por vegetación cuando el suministro de humedad es limitado, y se calcula de una forma similar a la que se aplica para la evaporación sobre una superficie abierta de agua. La evapotranspiración real cae por debajo de su nivel potencial a medida que el suelo se seca (Chow *et al*, 1994).

3.2.3 Escurrimiento

La cuenca es la entidad que transforma la lluvia en escurrimiento. El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre la superficie o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca, ya sea a un cuerpo de agua o al mar (Chow *et al*, 1994).

Antes de que ocurra el escurrimiento superficial, la lluvia debe satisfacer las demandas inmediatas de infiltración, evaporación, intercepción y almacenamientos superficiales (vasos o cauces). Algunas de esas pérdidas son menores, por ejemplo, en un cultivo de maíz, que la intercepción es de 0.5 mm (1 mm de lámina de precipitación distribuido en 1 m² equivale a un litro), pero en un bosque puede llegar a ser hasta de 25% de la lluvia (Chow *et al*, 1994).

Despreciando la intercepción de la precipitación por la vegetación, el escurrimiento superficial es aquella parte de la lluvia que no es absorbida por el suelo mediante infiltración.

3.2.3.1 Estimación del coeficiente de escorrentía.

Martínez de Azagra & Navarro (1996), establece que el coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo; de la humedad inicial del suelo; del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente, micro-relieve, rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente; de la intercepción que provoque; del lapso de tiempo que consideremos (minutos, duración del aguacero, horas, días, meses, un año), etcétera. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores comprendidos entre cero y uno. (p. 41)

Según Bateman (2007), se denomina coeficiente de escorrentía C , a la relación promedio entre el volumen de agua que escurre superficialmente V_e , en una cuenca a lo largo de un período de tiempo, dividido por el volumen total precipitado V_p .

$$C = \frac{V_e}{V_p} \quad (3.3)$$

Esta definición es general y se usa para saber la producción media anual de una cuenca. A nivel de episodio también se pueden definir estas cantidades. Si se limita al área de la cuenca A , el volumen precipitado por unidad de tiempo es exactamente el producto de la intensidad de lluvia i por el área de la cuenca. El volumen escurrido medio en la cuenca por unidad de tiempo es el caudal medio medido en la cuenca.

Así:

$$C = \frac{V_e/t}{V_p/t} = \frac{Q}{iA} \quad (3.4)$$

t: es la duración del evento. (p. 41).

El tipo de superficie y sus pendientes, así como los porcentajes de construcción, son factores que influyen sobre el grado de impermeabilidad que facilita o retarda el escurrimiento de las aguas de lluvias que puedan concentrarse en un punto. Por ello, al considerar la zona a proyectarse debemos medir las áreas correspondientes a cada característica.

La superficie total a considerar en el proyecto estará constituida por el área propia, más el área natural de la hoya que drena a través de ella. Definida y medida el área a drenar, se deben determinar las diferentes características de la superficie que la constituyen. En este sentido las Normas del Instituto Nacional de Obras Sanitarias establecen los coeficientes de escorrentía, que se presentan en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Coeficientes de Escorrentía (Arocha, 1983).

Coeficientes de Escorrentía	
Características de la Superficie	Coeficientes de escorrentía
Pavimentos de concreto	0,70 a 0,95
Pavimentos de asfalto	0,70 a 0,95
Pavimentos de ladrillo	0,70 a 0,85
Tejados y azoteas	0,75 a 0,95
Patios pavimentados	0,85
Caminos de grava	0,3
Jardines y zonas verdes	0,3
Praderas	0,2

Asimismo, establece el rango de variación de los coeficientes, de acuerdo a la zonificación (tabla 3.2), así.

Tabla 3.2 Zonificación y Coeficientes de Escorrentía (Arocha, 1983).

Zonificación y coeficientes de escorrentía	
Zona	Coeficientes de escorrentía
Comercial, en el centro de la localidad	0,75 a 0,95
Comercial, en otra ubicación	0,50 a 0,70
Residencias unifamiliares	0,30 a 0,50
Residencial multifamiliar separada	0,40 a 0,60
Residencial multifamiliar agrupada	0,60 a 0,75
Residencias sub-urbanas	0,25 a 0,40
Zona industrial	0,50 a 0,80
Parques y cementerios	0,10 a 0,25
Parques de juego	0,20 a 0,35

Así mismo Camacho (2004), presenta en las tablas 3.3 y 3.4 los siguientes coeficientes de escorrentía.

Tabla 3.3 Coeficientes de escorrentía (Camacho, 2004).

TIPO DE ÁREAS A DRENAR		COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA
Comercial	Centro de la ciudad	0,70-0,95
	Áreas vecinales	0,50-0,70
Residencial	Unifamiliares	0,30-0,50
	Multifamiliares separadas	0,40-0,60
	Multifamiliares apareadas	0,60-0,75
	Suburbanas	0,25-0,40
	Áreas de edificios de apartamentos	0,50-0,70
Industria	Industria liviana	0,50-0,80
	Industria pesada	0,60-0,90
Parques y cementerios		0,10-0,25
Áreas deportivas		0,20-0,40
Áreas de patios ferroviarios		0,20-0,40

TIPO DE ÁREAS A DRENAR		COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA
Áreas no mejoradas		0,10-0,30
Terrenos	Suelo arenosos: hasta 2%	0,05-0,10
	Suelo arenoso: 2 a 7%	0,10-0,15
	Suelo arenoso: 7% y más	0,15-0,20
	Suelo denso: hasta 2%	0,13-0,17
	Suelo denso: 2 a 7%	0,18-0,22
	Suelo denso: 7% y más	0,25-0,35
Calles	Asfalto	0,70-0,95
	Concreto	0,80-0,95
	Ladrillos	0,70-0,85
Veredas y caminos		0,75-0,85
Techos		0,75-0,95

Por razones prácticas, resulta útil la determinación de un coeficiente medio, bien sea por sectores o para toda la zona en proyecto, dependiendo de la extensión del mismo. Este coeficiente medio de escorrentía o de impermeabilidad, puede determinarse en función de área, la pendiente y de los coeficientes absolutos de cada una. (p. 204) (tabla 3.7).

Tabla 3.4 Coeficiente de escorrentía (C) (Camacho, 2004).

Coeficiente de Escorrentía "C"						
Cobertura Vegetal	Tipo de Suelo	Pendiente del Terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
			50%	20%	5%	1%
Sin Vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos Vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque Densa Vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

NOTA: Para zonas que se esperan pueden ser quemadas se debe aumentar los coeficientes así Cultivos: multiplicar por 1,10; Hierba, pastos y vegetación ligera, bosques y densa vegetación: multiplicar por 1,30

3.2.4 Temperatura

Chereque (2003) expresa que la temperatura es un factor importante del ciclo hidrológico pues interviene en todas sus etapas.

Desde el punto de vista práctico, la temperatura interviene como parámetro en las fórmulas para calcular la evaporación y en las fórmulas para calcular las necesidades de agua de riego de las plantas. Como prácticamente en todas partes hay registros de temperatura, su empleo está plenamente justificado.

3.2.4.1 Gradiente vertical de temperatura

La temperatura disminuye en la tropósfera, en una cantidad que varía según las condiciones locales, pero que en promedio es de alrededor de 0.6 °C por cada 100 m, de ascenso. Esto es lo que constituye el gradiente vertical de temperatura (Chow *et al*, 1994).

3.2.5 Radiación solar

La radiación solar es la fuente de energía del ciclo hidrológico. No corresponde hacer aquí un estudio detallado de este factor hidrológico, pero tampoco se puede soslayar su enorme importancia. La radiación solar debe ser considerada como el factor más importante del ciclo hidrológico. Produce variaciones de calor que se traducen en una mayor o menor evaporación.

La tendencia actual en hidrología es que la radiación solar vaya sustituyendo a la temperatura como parámetro en el cálculo de la evaporación y de la transpiración (Chow *et al*, 1994).

3.2.5.1 Radiación directa y difusa

La intensidad de la energía radiante en los confines de la atmósfera es de unos 2 cal gr/cm²/min. Durante su recorrido a través de la atmósfera terrestre, la radiación se debilita por dispersión, en las moléculas de aire seco, y por absorción, por el agua, el polvo y los gases. El resto de radiación solar que llega a la Tierra constituye la radiación directa.

Radiación difusa, es la que proviene de la radiación solar previamente dispersa en la atmósfera. Puede, a veces, exceder en intensidad a la radiación directa.

Cuando ambas radiaciones inciden sobre los objetos, una parte se refleja nuevamente al aire donde a su vez vuelve a reflejar. El problema real no es tan sencillo; pero una descripción como la hecha puede ser suficiente con fines de ilustración (Chow et al, 1994).

3.2.6 Humedad atmosférica

La humedad atmosférica expresa el contenido de vapor de agua de la atmósfera, vapor de agua que proviene de la evaporación que tiene lugar en los espejos de agua, en los suelos húmedos o a través de las plantas. La humedad atmosférica interesa a la hidrología por dos motivos: por ser el origen de las aguas que caen por precipitación y porque determina en cierto modo la velocidad con que tiene lugar la evaporación (Chow et al, 1994).

3.2.6.1 Tensión de vapor

En toda mezcla de gases cada gas ejerce una presión parcial independientemente de los otros gases; la atmósfera es una mezcla de gases; la

presión parcial que ejerce el vapor de agua se llama tensión de vapor (Chow *et al*, 1994).

3.2.6.2 Tensión de vapor de saturación

Un mismo volumen de aire puede contener cantidades variables de vapor de agua. Cuando un volumen de aire contiene la máxima cantidad de vapor de agua para una temperatura dada, se dice que el aire está saturado.

Se llama tensión de vapor de saturación a la tensión de vapor en un volumen de aire saturado (Chow *et al*, 1994).

3.2.6.3 Condensación

Condensación es el proceso mediante el cual el vapor de agua pasa al estado líquido. Por enfriamiento, una masa de aire disminuye su capacidad para contener vapor de agua. Todo exceso de vapor de agua se condensa en pequeñas gotitas (neblinas y nubes) (Chow *et al*, 1994).

3.2.7 Viento

El viento no es otra cosa que el aire en movimiento. Es un factor importante del ciclo hidrológico porque influye en el transporte del calor y de la humedad y en el proceso de la evaporación. El viento produce olas en los embalses, olas cuya altura es necesario calcular para determinar la altura de las presas.

El viento es muy susceptible a la influencia del relieve y de la vegetación, por lo que se tiende a estandarizar su medida a algunos metros sobre el suelo. Del viento

interesa su velocidad (se mide con los anemómetros) y su dirección (se mide con las veletas) (Chow *et al*, 1994).

3.2.8 Infiltración

En relación a la infiltración, el agua precipitada sobre la superficie de la tierra, queda detenida, se evapora, discurre por ella o penetra hacia el interior. Se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire inicialmente presentes en su interior.

A medida que el agua infiltra desde la superficie, las capas superiores del suelo se van humedeciendo de arriba hacia abajo, alterando gradualmente su humedad. En cuanto al aporte de agua, el perfil de humedad tiende a la saturación en toda la profundidad, siendo la superficie el primer nivel a saturar.

Normalmente la infiltración proveniente de precipitaciones naturales no es capaz de saturar todo el suelo, sólo satura las capas más cercanas a la superficie, conformando un perfil típico donde el valor de humedad decrece con la profundidad (Chow *et al*, 1994).

Cuando cesa el aporte de agua en la superficie, deja de haber infiltración, la humedad en el interior del suelo se redistribuye, generando un perfil de humedad inverso, con valores de humedad menores en las capas cercanas a la superficie y mayores en las capas más profundas. Se destacan los siguientes factores que afectan la capacidad de infiltración:

3.2.9 Caudales de drenaje

Erazo (2004), señala que la estimación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno, es uno de los principales procedimientos en Hidrología, que tiene como fin la determinación del caudal de diseño para una determinada estructura hidráulica o para el trazado de mapas de inundación.

La meteorología más común para la determinación de estos caudales máximos, es la meteorología estadística, la cual ajusta de los datos registrados en una estación hidrométrica a una función de distribución y determina los valores para diferentes períodos de retorno.

3.2.10 Caudal aportado por una cuenca

Arocha (1983), afirma que las aguas pluviales, provienen de los techos y patios interiores de las edificaciones, aunadas a las que reciben las calles directamente, constituirán un problema para la comunidad, que a veces toman proporciones económicas de cierta consideración, por lo cual es preciso determinar la magnitud de estos caudales que se van acumulando en calles y avenidas, y cuyo incremento progresivo de la pendiente de la calle llegaría a constituir serios problemas, que el proyectista debe evitar mediante un diseño eficiente.

Para lograr un buen diseño deben tomarse en cuenta todas las variables que pueden intervenir en la determinación de un caudal de aguas de lluvia acumulándose, y que puede crear inconvenientes a la comunidad; sin embargo, no deja de reconocerse que ello resulta difícil de evaluar, y que aun con la mejor información disponible, existirán criterios económicos que privarán para limitar los proyectos a un determinado rango de probabilidad de ocurrencia de daños.

En general podemos considerar cinco factores importantes, para efectos de diseño de un sistema de recolección de aguas de lluvia.

3.2.10.1 Tiempo de concentración

Arocha (1983), menciona que el tiempo de concentración se define como el tiempo máximo que tarda la partícula más alejada del área, drenando hasta el punto de recolección.

Para el diseño de los colectores de aguas de lluvia en zonas urbanas, este tiempo de concentración representa la suma de dos tiempos:

- a. El tiempo que tarda la partícula más alejada en escurrir sobre la superficie.
- b. El tiempo de traslado que existe en una cierta longitud de colector, comprendida entre dos sumideros consecutivos.

El primero, tiempo de escurrimiento en la superficie, a través de cunetas, canales o sobre las zonas de escurrimiento natural, puede ser estimado o calculado para las distintas características de la superficie. En el caso de cuencas rurales, tal determinación se hace basada en medidas hechas directamente sobre el terreno, determinando la mayor distancia o recorrido de la partícula más alejada o bien por mediciones hechas en planos topográficos. Se establece una ecuación que permite estimar el tiempo de concentración conocida:

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (3.5)$$

Donde:

Tc : tiempo de concentración en minutos

L : longitud del cauce más largo en metros

H: La diferencia de elevación entre el punto más remoto de la cuenca y la salida de la misma en metros.

O por su variante:

$$T_c = ((0,886 \times L^3)/H)^{0,385} \quad (3.6)$$

Donde:

Tc : tiempo de concentración en horas

L : Longitud del cauce más largo (Km)

H : Diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal (m).

3.2.10.2 Métodos de estimación del caudal

La determinación del gasto de diseño para un sistema de recolección de aguas de lluvia en zonas pobladas o rurales atiende generalmente al Método Racional o al Método del Hidrograma Triangular Unitario SCS.

❖ **Método Racional:** asume que el caudal máximo que se acumula en un determinado punto, como consecuencia de la esorrentía de aguas pluviales está expresado por la ecuación:

$$Q = C \times I \times A \quad (3.7)$$

Dónde:

Q= Caudal en lt/s.

C= Coeficiente de escorrentía.

I= Intensidad de lluvia (lt/s/ha) de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.

A= Área de la cuenca en ha.

O por su variante:

$$Q = (C \times I \times A) / 360 \quad (3.8)$$

Donde:

Q = Caudal máximo en m³/s

C= Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad de lluvia en mm/h de duración igual al tiempo de concentración (T_c) de la cuenca.

A= Área de la cuenca en ha

Consideraciones:

- a. El pico de flujo se obtiene cuando toda el área está contribuyendo.
- b. La intensidad de la lluvia es la misma sobre toda el área de escurrimiento (i=cte).
- c. Esta intensidad permanece constante durante la duración de la lluvia y esta última se toma igual al tiempo de concentración (Dur=T_c).
- d. El período de retorno del pico de creciente se considera igual al período de retorno correspondiente al de la intensidad de la lluvia (Una intensidad de lluvia cuyo

período de retorno es de 10 años, produce un caudal pico cuyo período de retorno es de 10 años).

e. El coeficiente de escorrentía permanece constante para todas las lluvias y períodos de retorno.

El coeficiente de escorrentía es constante con el tiempo, ignora el efecto de almacenamiento o retención temporal en las superficies, conductos y cauces, el cual es mayor mientras más impermeable sea el área; por lo tanto, el coeficiente de escorrentía sólo será constante para áreas impermeables, luego a menor extensión del área de escurrimiento, los valores obtenidos para los caudales son más precisos (Camacho, 2004).

El método considera la intensidad de lluvias, para una duración igual al tiempo de concentración, ya que se estima que habrá un incremento de caudal a medida que se incrementa el área, puesto que la disminución en intensidad con el tiempo es compensada con el mayor incremento de área. Cuando toda el área ha contribuido, ésta permanece constante, pero habrá disminución de intensidad a mayor tiempo, y por tanto el gasto disminuiría. (Arocha, 1983)

Se fundamenta en el modelo estadístico de valores extremos de Gumbel. Esta fórmula empírica, por su simplicidad, es utilizada para el cálculo de alcantarillas, galerías de aguas pluviales, estructuras de drenaje de pequeñas áreas, a pesar de presentar algunos inconvenientes, superados por procedimientos de cálculo más complejos. También se usa en ingeniería de carreteras para el cálculo de caudales vertientes de la cuenca a la carretera, y así poder dimensionar las obras de drenaje necesarias, siempre que la cuenca vertiente tenga un tiempo de concentración no superior a 6 horas y un área menor a 500 ha.

❖ **Método del Hidrograma Unitario:** si se mide el gasto (que se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo) que pasa de manera continua durante todo un año por una determinada sección transversal de un río y se grafican los valores obtenidos contra el tiempo, se obtendría una gráfica como la presentada en la figura 3.1.

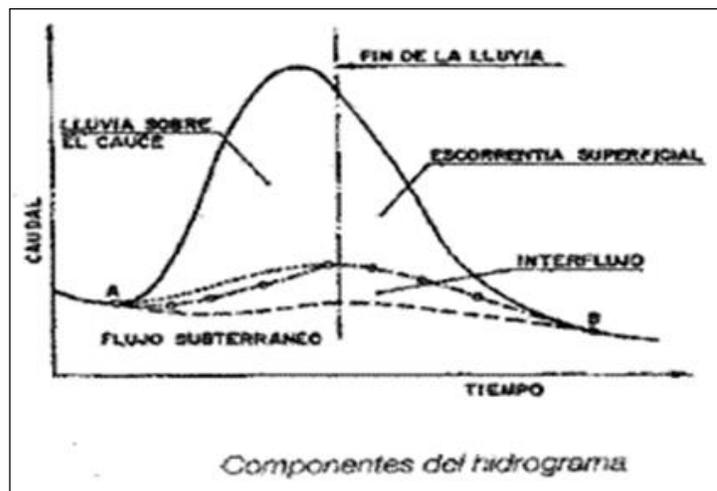


Figura 3.1. Hidrograma típico aislado (Aparicio, 2001).

El hidrograma final de escurrimiento de una cuenca es el resultado de la sumatoria de todos los hidrogramas parciales de las subcuencas infinitesimales que la conforman, modificados por efecto del almacenamiento, mientras se baja a través de la superficie de la cuenca y de sus cauces. Si las características físicas de una cuenca tales como su forma, tamaño, cobertura y pendientes, permanecen constantes, las lluvias efectivas de características semejantes producirán hidrogramas de forma similar y magnitudes de gastos proporcionales a dichas lluvias.

Estas observaciones pueden expresarse así: si sobre una misma cuenca ocurriesen dos tormentas distribuidas en forma similar en el espacio y en el tiempo, los hidrogramas resultantes de cada una de ellas serán de la misma forma, con la

única diferencia de que los gastos serán proporcionales a la respectiva lámina escurrida. La duración efectiva de la precipitación que realmente genera escurrimiento, es un factor fundamental por cuanto si ella se incrementa se alargará el hidrograma y se reducirá su pico o viceversa. En consecuencia, aun manteniendo todos los factores constantes, existe un hidrograma para cada duración efectiva de la lluvia. Basándose en el concepto anterior, se estableció la definición de hidrograma unitario para una duración efectiva dada de la lluvia de una determinada cuenca, como aquél cuya lámina escurrida es 1 mm.

En la cuenca resulta casi imposible encontrar tormentas con una distribución más o menos uniforme. Imposibilidad que se acentúa a medida que la extensión de ella se hace mayor. La obtención de un hidrograma unitario para cuencas con registros fluviométricos es sencilla. Para obtener el hidrograma total generado por una tormenta base se seguirán los siguientes pasos:

Se calcula la lluvia efectiva y se la divide en intervalos de tiempo (t_u) de intensidad aproximadamente constante.

Se calcula el hidrograma unitario tal que su duración (t_h) sea igual a (t_u).

Se multiplican los gastos del hidrograma unitario por la lluvia total efectiva de cada intervalo.

Se suman los hidrogramas obtenidos en la fórmula del método racional, desplazados entre sí. Esta suma dará como resultado el hidrograma total (Bolinaga y Franceschi, 1980).

❖ **Método del hidrograma triangular:** la característica más resaltante del Hidrograma Unitario Adimensional del SCS es que tiene un volumen de escorrentía

acumulado del 37.5% hasta el gasto máximo (q_p), para un tiempo al pico (T_p). Este hidrograma puede ser representado por un Hidrograma triangular equivalente en las mismas unidades, el cual tiene en su lado ascendente hasta el gasto pico (q_p) un volumen de escorrentía acumulado del 37.5%.

La figura 3.2 representa el Hidrograma Triangular Unitario obtenido por el Soil Conservation Service, en donde:

q_p = caudal unitario pico en $m^3/s/mm$.

A = área de la cuenca en km^2 .

T_p = tiempo al pico en horas = $0.67T_c$.

T_c = tiempo de concentración en horas.

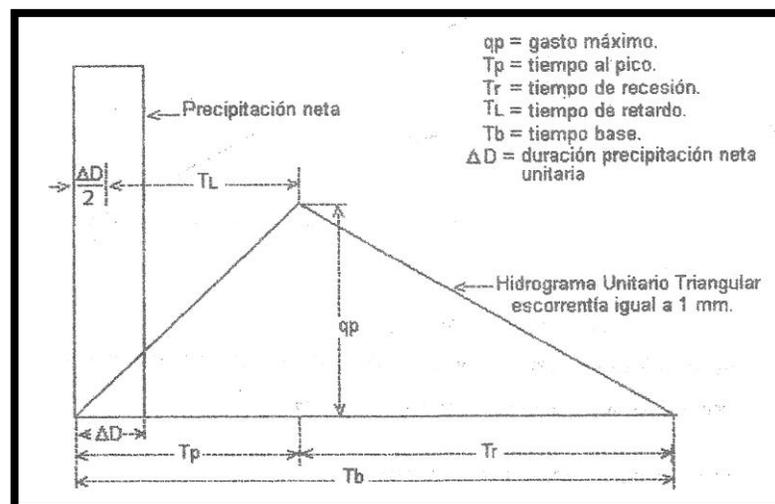


Figura 3.2 Hidrograma Unitario Triangular. (Camacho, 2004).

Encontrándose que:

$$q_p = 0.208 \cdot A/T_p \text{ (m}^3\text{/s.mm)} \quad (3.9)$$

Conociendo la precipitación efectiva: P_e (mm) podemos obtener el caudal pico (m^3/s), aplicando la expresión:

$$Q_p = q_p \cdot P_e \quad (m^3/s) \quad (3.10)$$

También se conoce que el valor de:

$$AD = T_c/7.5 \quad (min) \quad (3.11)$$

$$T_p = T_c/1.5 \quad (min) \quad (3.12)$$

Para el tiempo base del hidrograma T_b se tiene la siguiente ecuación:

$$T_b = T_p + T_r \quad (3.13)$$

El tiempo de ocurrencia del pico a su vez puede ser expresado en función de la duración de la precipitación neta unitaria y el tiempo de retardo:

$$T_p = (AD/2) + T_L \quad (3.14)$$

El Hidrograma Unitario Triangular equivalente, puede ser representado a su vez por dos triángulos denominados A_1 y A_2 .

Tomando como base que el volumen de escorrentía en el triángulo A_1 es del 37.5%, se tiene que el volumen de escorrentía en el triángulo A_2 es de 62.5% (figura 3.3).

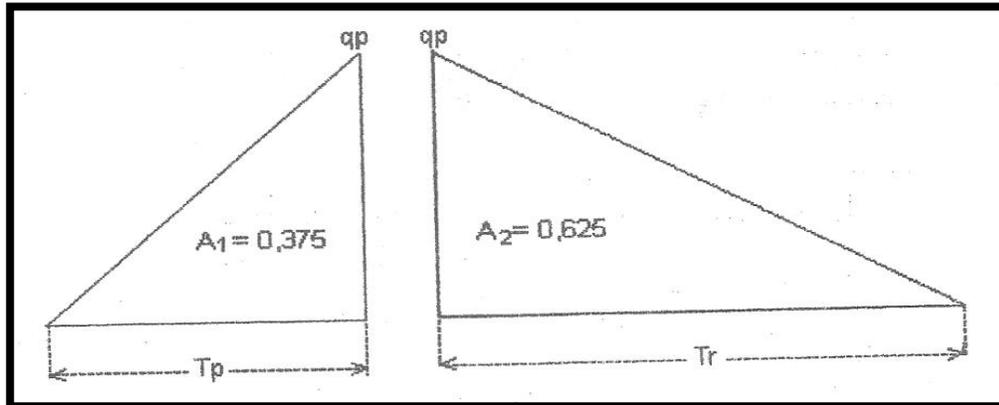


Figura 3.3 Representación gráfica del Hidrograma Unitario Triangular como la suma de dos triángulos A_1 y A_2 (Camacho, 2004).

De acuerdo con la geometría de los triángulos tenemos:

$$\text{Área del triángulo } A_1 = (T_p + q_p) / 2 = 0.375 \quad (3.15)$$

$$\text{Área del triángulo } A_2 = (T_r + q_p) / 2 = 0.675 \quad (3.16)$$

Resolviendo las ecuaciones (3.15) y (3.16) se tiene la siguiente relación entre T_r y T_p :

$$T_r = 1.67 T_p \quad (3.17)$$

Sustituyendo la ecuación (3.31) en la ecuación (3.30) tenemos para el tiempo base:

$$T_b = 2.67 T_p \quad (3.18)$$

Por definición el volumen total de esorrentía Q bajo la curva del Hidrograma Unitario Triangular es igual a 1 mm y de acuerdo a las ecuaciones podemos expresarlo como sigue:

$$Q = (q_p/2) (T_p + T_r) \quad (3.19)$$

$$q_p = 2Q / (T_p + T_r) \quad (3.20)$$

Efectuando un cambio de variable:

$$K = 2 / (1 + T_r/T_p) \quad (3.21)$$

Tenemos que

$$q_p = KQ/T_p \quad (3.22)$$

Q está en unidades de mm y el tiempo T_p en horas. Realizando la conversión de unidades de mm/hora a $m^3/s/mm$, incluyendo el área de drenaje A en km^2 , la ecuación (3.22) se transforma en:

$$q_p = KQ / 3.6 T_p \quad (3.23)$$

Sustituyendo la ecuación se obtiene un valor de $K = 0.75$, entonces la ecuación se transforma en:

$$q_p = 0.208 A / T_p \quad (3.24)$$

q_p en unidades de $m^3/s/mm$.

Dado que el volumen de escorrentía en el lado ascendente del Hidrograma Unitario Triangular, es igual al del lado curvilíneo del Adimensional, se concluye que el factor de gasto pico 0.208 de la ecuación, es válido para el Hidrograma Triangular Adimensional de SCS.

Cualquier modificación en el Hidrograma Unitario Adimensional que conlleve cambios en el porcentaje del volumen de escorrentía bajo su rama ascendente producirá variaciones en el factor de forma asociado al Hidrograma Unitario Triangular, y por lo tanto el tiempo de recesión T_r y la constante K también cambiará. Para las cuencas analizadas por el SCS, el factor del gasto pico varió desde un valor de 0,258 en zonas de pendiente empinada, hasta un valor de 0.129 en terrenos muy planos. De lo anterior, se deduce que si se utiliza un Hidrograma Unitario Adimensional diferente al derivado por el SCS, el factor de gasto pico cambia de valor y por consiguiente, dicho caudal será distinto del que se obtiene con la ecuación (3.38) (Camacho, 2004).

3.2.11 Parámetros morfométricos de una cuenca

Consiste en la obtención de los parámetros que ayudan a definir el comportamiento hídrico de una subcuenca, tales como:

3.2.11.1 Área

Corresponde a toda la superficie drenada por la microcuenca, la cual intercepta el cauce principal en un punto de interés. Se mide en km^2 .

3.2.11.2 Perímetro

Corresponde a la medida longitudinal en km de la línea divisoria o parteaguas.

3.2.11.3 Longitud axial

Se expresa en km y es la distancia en línea recta medida desde la desembocadura del colector principal hasta el punto más alejado de la micro-cuenca.

3.2.11.4 Longitud del cauce

Se refiere al recorrido en km del cauce principal de la micro-cuenca, desde su nacimiento hasta el punto de cierre. En el caso de que las cabeceras del cauce estén fuera del área de estudio, esta longitud se referirá únicamente al recorrido localizado dentro del área.

3.2.11.5 Factor forma (Ff)

Es un índice de la tendencia de las crecientes de los ríos. Dos cuencas que tengan igual área y semejantes características fisiográficas e iguales condiciones de precipitaciones, pero factores formas diferentes, presentarán diferentes crecientes. La cuenca que presente un valor del factor forma cercano a 0,785 (Ff de cuenca circular), será más propensa a producir crecientes mayores (tabla 3.4).

$$Ff = A / (Lax)^2 \quad (3.25)$$

Donde

A : área de la cuenca (Km²)

Lax : Longitud Axial (Km)

Tabla 3.5 Valores interpretativos del factor forma (Pérez, 1979).

Valores Aproximados	Forma de la Cuenca
> 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.300	Alargada
0.300 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.450	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente Ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy Ensanchada
> 1.200	Rodeando el Desagüe

3.2.11.6 Coeficiente de compacidad (Kc)

Consiste en comparar el perímetro de la cuenca receptora con el de un círculo que tuviera su misma superficie:

$$Kc = 0,282 (P/A^{1/2}) \dots\dots\dots(3.26)$$

Donde

P : Perímetro de la cuenca (km)

A : área de la cuenca (km²)

Kc siempre mayor que 1. Mientras mayor sea su valor, mayor será la irregularidad de la forma circular.

3.2.11.7 Pendiente media del cauce principal (Sm)

La pendiente de los ríos influye directamente sobre la velocidad de sus aguas, es una característica muy importante para analizar la respuesta de la cuenca.

El cálculo de la pendiente media del cauce principal se realizó utilizando la

fórmula para cuencas relativamente llanas:

$$S_m = (H^M - H^m) / 1000 * L \quad (3.27)$$

Donde:

S_m : Pendiente media del cauce principal (m/km)

$(H^M - H^m)$ es el desnivel del cauce principal (m)

L: Longitud del cauce principal (Km)

3.2.11.8 Pendiente media de la cuenca (S_c)

En la medida en que los valores de este parámetro se incrementan mayor será la posibilidad de generar crecidas, ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en caso de tormentas se incrementa en aquellas cuencas que presenten valores altos de pendientes, caso contrario ocurre cuando la pendiente media del cauce principal y la pendiente media de la cuenca presentan valores bajos, los cuales contribuyen a que los picos de crecidas sean menos violentos.

$$S_c = \left(\frac{\sum l_i * e_q}{A} \right) 100$$

Donde:

S_c : Pendiente media de la cuenca

$\sum l_i$: Sumatoria de todas las longitudes de las curvas de nivel en km

e_q : Equidistancia entre curvas en km. Por ejemplo, en un mapa a escala 1:25000 la equidistancia será igual 0.1 Km, debido a la separación de las curvas cada 100 metros.

A : Área de la cuenca en Km^2

Tabla 3.6 Valores interpretativos de la pendiente de la cuenca (Pérez, 1979).

Pendiente media (%)	Terrenos
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

3.3 Bases legales

3.3.1 Ley de aguas

Se considera que esta ley contenida y publicada en la Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela No: 35.595 del 02-01-2007 apoya en todas sus partes este tipo de trabajo de investigación. Sin embargo, se mencionan a continuación solo dos (2) de los más importantes artículos que contiene.

Artículo 3.- La gestión integral de las aguas comprende, entre otras, el conjunto de actividades de índole técnica, científica, económica, financiera, institucional, gerencial, jurídica y operativa, dirigidas a la conservación y aprovechamiento del agua en beneficio colectivo, considerando las aguas en todas sus formas y los, ecosistemas naturales asociados, las cuencas hidrográficas que las contienen, los actores e intereses de los usuarios o usuarias, los diferentes niveles territoriales de gobierno y la política ambiental, de ordenación del territorio y de desarrollo socioeconómico del país.

Artículo 12.- El control y manejo de los cuerpos de agua se realizará mediante:

1. La clasificación de los cuerpos de agua o sectores de éstos, atendiendo a su calidad y usos actuales y potenciales.
2. El establecimiento de rangos y límites máximos de elementos contaminantes en afluentes líquidos generados por fuentes puntuales.
3. El establecimiento de condiciones y medidas para controlar el uso de agroquímicos y otras fuentes de contaminación no puntuales.
4. La elaboración y ejecución de programas maestros de control y manejo de los cuerpos de agua, donde se determinen las relaciones causa-efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas, las alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros, y las condiciones en que se permitirán sus vertidos, incluyendo los límites de descargas máxicas para cada fuente contaminante y las normas técnicas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de los cuerpos de aguas.

La clasificación de los cuerpos de agua y la aprobación de los programas maestros de control y manejo de los mismos, las cuales se podrán realizar conjunta o separadamente con los planes de gestión integral de las aguas en el ámbito de las cuencas hidrográficas.

3.4 Definición de términos básicos

3.4.1 Afluentes

Corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. Ordoñez, J. (2011).

3.4.2 Aliviadero

Estructura por encima de la cual o a través de la cual el caudal es liberado durante las avenidas. Si, por ejemplo, el caudal es controlado por medio de compuertas, se trata de un aliviadero con compuertas; en el caso contrario, se trata de un aliviadero de labio fijo (CIGB, 2015).

3.4.3 Área del embalse

Superficie cubierta por un embalse lleno (expresado en km^2) (CIGB, 2015).

3.4.4 Ataguía

Estructura temporal realizada durante la construcción con el fin de que las obras definitivas pueda hacerse en seco. Una ataguía de desvío permite desviar un curso de agua a un conducto, un canal, un túnel (CIGB, 2015).

3.4.5 Auscultación

Colocación de aparatos de medida instalados en una presa o cerca de ella para evaluar el comportamiento y los rendimientos de una estructura (CIGB, 2015).

3.4.6 Avenida

Subida temporal de las aguas de un río o de un cauce como consecuencia de lluvias importantes en la cuenca vertiente. Conlleva la inundación de zonas habitualmente secas (CIGB, 2015).

3.4.7 Avenida de proyecto

Avenida de cálculo utilizada para proceder al dimensionamiento de una presa y sus obras anejas tales como los aliviaderos y los órganos de desagüe y para determinar la capacidad máxima de almacenamiento, la altura de la presa y los resguardos necesarios (CIGB, 2015).

3.4.8 Caudal

Es el volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m^3 /s . (Ordoñez, J., 2011).

3.4.9 Coronación

Plano más alto de una presa de hormigón o mampostería.

3.4 10 Corte

Vista de una presa como sección del interior en sentido perpendicular al eje (CIGB, 2015).

3.4 11 Cuenca hidrográfica

Zona drenada hasta un punto particular de un río o de un curso de agua (expresada en km^3) (CIGB, 2015).

3.4.12 Cuenca vertiente

La cuenca de captación o cuenca vertiente es, para una presa, la zona situada aguas arriba de la presa (a menudo expresada en km³). Las precipitaciones que caen en la cuenca vertiente de una presa discurren y vierten hasta la presa (CIGB, 2015).

3.4.13 Derivar

Hacer ir en una dirección diferente (CIGB, 2015).

3.4.14 Desagüe de fondo

Órgano de desagüe en la parte baja del embalse utilizado habitualmente para vaciar el embalse o evacuar los sedimentos y a veces para permitir el regadío (CIGB, 2015).

3.4.15 Distancia de resguardo

Vertical entre el nivel máximo de un embalse y la altura de la presa (CIGB, 2015).

3.4.16 Erosión

Deterioro progresivo de una superficie, sea un río, el lecho de un curso de agua, una riera o cualquier otra superficie provocado por el flujo del agua, las olas de los embalses, el viento o cualquier otro proceso natural (CIGB, 2015).

3.4 17 Espesor de tongada del hormigón

Espesor de las capas sucesivas de hormigón delimitadas por juntas de construcción horizontales (CIGB, 2015).

3.4 18 Estabilidad

Condición de una estructura que es capaz de soportar fuerzas y presiones instantáneas o de larga duración sin sufrir deformaciones significativas (CIGB, 2015).

3.4 19 Evaporación

Proceso de paso de un líquido al estado gaseoso o de vapor que se mezcla con el aire (CIGB, 2015).

3.4.20 Longitud de la coronación de la presa.

Longitud de la cima de la presa de una orilla a otra (CIGB, 2015).

3.4.21 Márgenes del embalse

Límites de la superficie del agua del embalse (CIGB, 2015).

3.4.22 Nivel aguas abajo

Nivel del agua que se encuentra inmediatamente aguas abajo de la presa. El nivel de aguas abajo varía según los caudales liberados desde la presa y según las influencias de las otras presas y estructuras situadas aguas abajo (CIGB, 2015).

3.4.23 Nivel mínimo de explotación

Nivel más bajo que puede alcanzar el embalse en condiciones normales de explotación; corresponde al nivel inferior de capacidad útil de embalsado (CIGB, 2015).

3.4.24 Órgano de desagüe

Abertura a través de la cual el agua puede ser liberada desde un embalse a un río (CIGB, 2015).

3.4.25 Pie de la presa

Intersección del paramento aguas abajo con el terreno; se llama también “pie de aguas abajo”. La intersección con el paramento aguas arriba se llama talón o pie de aguas arriba. fin de crear un embalse y controlar el caudal (CIGB, 2015).

3.4.26 Talud

Inclinación en relación con un plano horizontal; pendiente mide la inclinación respecto a la vertical (CIGB, 2015).

3.4.27 Toma de agua

Situada a la entrada de los órganos de desagüe, la toma de agua fija el nivel último de vaciado del embalse. Puede tratarse de torres verticales o inclinadas, o de estructuras sumergidas. El nivel de las tomas está fijado según los caudales requeridos, teniendo en cuenta la sedimentación y el nivel deseado de vaciado (CIGB, 2015).

3.4.28 Umbral de los aliviaderos

Nivel inferior de los aliviaderos; corresponde al nivel mínimo del embalse que permite el paso del agua por los aliviaderos (CIGB, 2015).

3.4.29 Volumen activo

Suma del volumen útil y del volumen inactivo (CIGB, 2015).

3.4.30 Volumen de control de avenidas

Hecho de almacenar o de retardar las avenidas por medio de una operación planificada como en el caso de los embalses, o por el relleno temporal de zonas inundables, como el hecho de hacer derivar agua en un canal de flujo natural (CIGB, 2015).

3.4.31 Volumen de la presa

Volumen total de la estructura de la presa desde el nivel de cimentación a la coronación de la presa y del estribo derecho al estribo izquierdo (CIGB, 2015).

3.4.32 Volumen de nivelación

Volumen de la franja por encima del volumen útil entre el nivel de embalse normal y el nivel máximo del agua (CIGB, 2015).

3.4.33 Volumen del embalse

Volumen de agua retenida y almacenada por la presa (CIGB, 2015).

3.4.34 Volumen inactivo

Volumen entre el órgano de desagüe más bajo y el nivel mínimo de explotación (CIGB, 2015).

3.4.35 Volumen muerto

Volumen de la capa de agua situada debajo de la toma de agua más baja y que, por tanto, no puede evacuarse del embalse excepto por bombeo (CIGB, 2015).

3.4.36 Volumen útil

Volumen del embalse que está disponible para usos como la producción de energía, el regadío, el control de las avenidas, el suministro de agua... Su nivel más bajo del embalse es el nivel mínimo de explotación. Su nivel más alto es el nivel de embalse normal (CIGB, 2015).

3.4.37 Zona inundable

Tierras próximas a un embalse o a un río que pueden ser cubiertas por el agua. Este término es igualmente utilizado para describir la zona aguas abajo que sería inundada o afectada por avenidas importantes, o en caso de rotura de la presa.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se tratará en este apartado los aspectos metodológicos y procedimentales que se ameritan para llevar a feliz término la investigación.

4.1 Tipo de investigación

Según Arias, F. (2006), esta investigación se considera de tipo descriptiva “se encarga de buscar la caracterización de los hechos mediante las relaciones de causa – efecto”.

Se establece que la presente investigación es descriptiva ya que se presentará la descripción o características de la cuenca media del río Wará entre las presas Wará I y Wará II. Asimismo, se describirán las características climáticas de la zona de estudio.

4.2 Diseño de investigación

4.2.1 Investigación de campo

El diseño de la investigación es de campo y constituye un plan estructurado de acción que en función de unos objetivos básicos está orientado a la obtención de datos relevantes a los problemas e indicadores planteados. El diseño de investigación de campo se explica según el criterio de Hernández y Otros (1996: 53), como:

“La estrategia metodológica que permite evaluar de manera adecuada las relaciones entre las variables, es decir, el diseño le indica al investigador

que observaciones hacer, cómo hacerlas y cómo analizar los datos que representan tales observaciones.”

La presente investigación se considera de campo, ya que se realizará la recolección de datos en el lugar objeto de la investigación y porque se realizaron mediciones de la geometría y dimensiones del dique, del vaso de almacenamiento de la represa Wará I y de la cuenca media del río Wará.

4.2.2 Investigación documental

Según Hernández, R., (2004), “es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, códigos, constituciones, etc.)”.

Es documental porque se realiza la recopilación de información bibliográfica, revisiones en la Web, revisión cartográfica y documentos ya existentes sobre la zona de estudio.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Balestrini, M. (2004:137) expresa que: “Estadísticamente hablando, por población se entiende un conjunto finito o infinito de personas, casos o elementos que representan características comunes. Una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación”.

La población a ser considerada como objeto de estudio es todo el cuerpo de agua, y la geomorfología de la cuenca media del río Wará desde la represa Wará I hasta la represa Wará II.

4.3.2 Muestra de la investigación

Según Balestrini, M. (2006), “La muestra es un subconjunto representativo de un universo o población”.

La muestra a utilizar será de carácter opinático, va a depender de la homogeneidad del cuerpo de agua y de sus flujos; sin embargo, se analizarán los caudales que podría aportar la cuenca con períodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Técnicas de recolección de datos

Según Arias, F. (2006), las técnicas de recolección de datos son las distintas maneras de obtener información. Por otra parte, este autor plantea que las herramientas son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información.

Para este trabajo de grado se utilizaron técnicas de recolección de datos mencionadas a continuación:

4.4.1.1 La revisión bibliográfica: La cual permitió abordar el estudio en función de los objetivos planteados. Primeramente, se buscó información sobre diferentes tipos de gestión y planificación de varios proyectos de investigación, la cual justifica ampliamente la realización de este trabajo de grado. Para maximizar los

resultados de este procedimiento se utilizaron a su vez técnicas operacionales como: subrayado, fichaje, notas de referencia bibliográfica, entre otras.

4.4.1.2 El fichaje: Esta técnica consiste en registrar los datos que se van obteniendo en la revisión bibliográfica, en fin, en las diferentes etapas y procesos que se van desarrollando. Esto nos permitió manejar la información de manera organizada y así maniobrar ideas de forma lógica.

La información obtenida de los diferentes medios, se fue archivando mediante el uso de Microsoft Word, cumpliendo el papel de las llamadas fichas, con los correspondientes datos bibliográficos para posteriormente al utilizar la información poderla citar de una manera correcta y con mayor facilidad.

4.4.2 Instrumentos de recolección de datos

- a. Teodolito
- b. Mira topográfica
- c. Cinta Métrica
- d. Clinómetro
- e. Jalón
- f. Nivel de burbuja
- g. GPS
- h. Pala
- i. Bolsas para muestras
- j. Equipo de computación
- k. Calculadora
- l. Programas de ofimática, Hec-Ras, Autocad, etc.

4.5 Flujograma de la metodología de trabajo.

A fin de realizar la investigación con mayor eficiencia y cumplir con los objetivos propuestos para la cuantificación de los caudales de avenida que la cuenca media del río Wará aportará al embalse Wará I, se plantean las siguientes actividades:

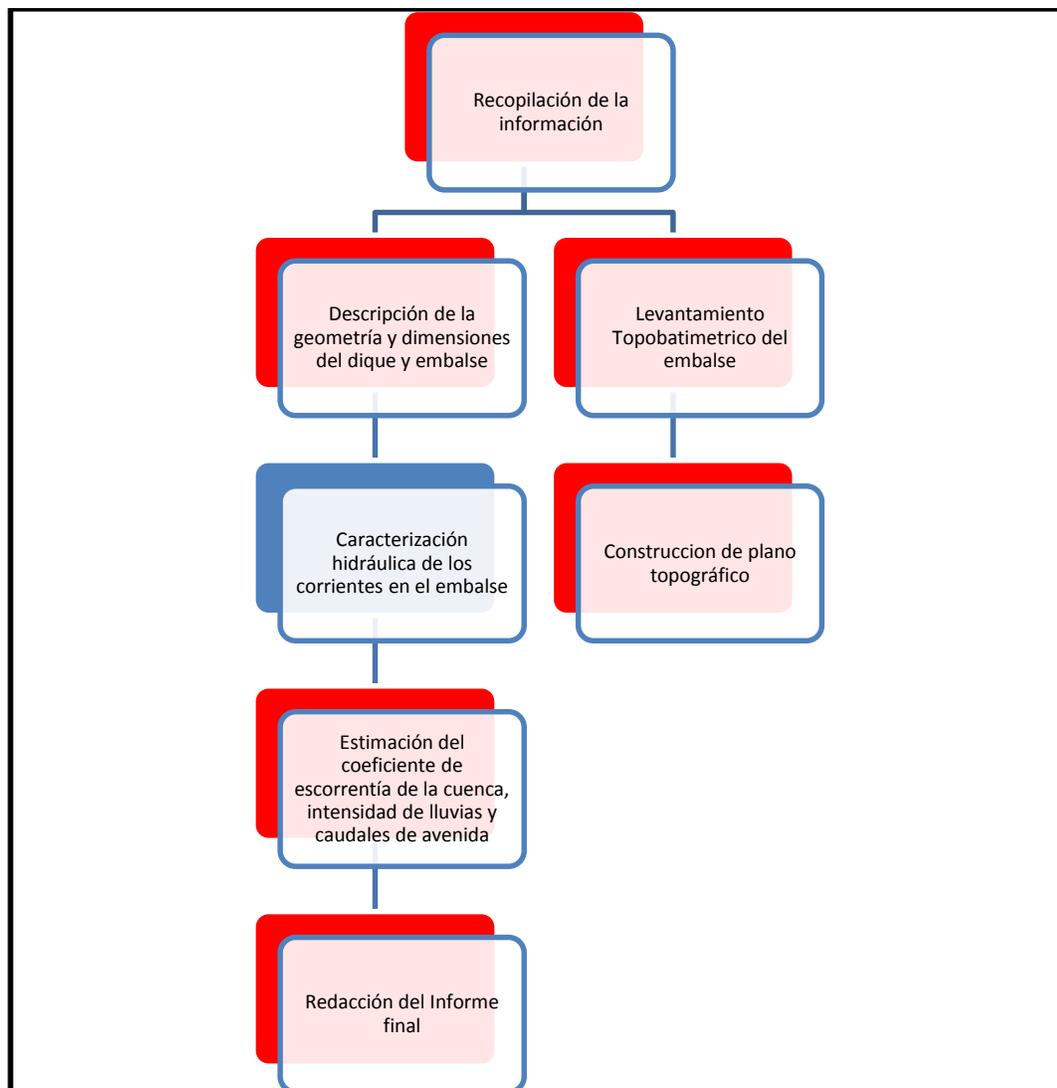


Figura 4.1 Flujograma de la investigación

4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

A continuación, se describirá la metodología que ha sido esquematizada en el flujograma antes presentado.

4.6.1 Recopilación de la información y reconocimiento de campo

Esta actividad comprendió la recopilación y consulta de toda la información tanto bibliográfica como cartográfica existente del área de estudio, que sirve de base en la elaboración de la investigación.

En la parte bibliográfica fueron revisados trabajos de investigación y libros relacionados al tema de estudio. Además de trabajos de investigación publicados en la web referentes a esta investigación.

En cuanto a la inspección en campo, esta se realiza para la selección del área definitiva de trabajo y la escogencia de la mejor estrategia para la ejecución de las actividades en campo.

4.6.2 Geometría y dimensiones del embalse y dique de concreto

Se efectuará el reconocimiento en campo para la determinación de las dimensiones y geometría del embalse Wará I y de la cuenca media del río Wará.

La descripción del vaso de almacenamiento se basará en la elaboración de un levantamiento topo-batimétrico para la construcción de un plano batimétrico del mismo.

4.6.3 Descripción morfométrica de la cuenca

A tal fin se efectuará la delimitación de la cuenca y se determinarán sus parámetros morfométricos que intervienen en su capacidad como fuente aportadora de agua y sedimentos. Entre estos parámetros se encuentran, el área, perímetro, longitud axial, longitud del cauce, pendiente, factor forma, factor de compacidad, tiempo de concentración, entre otros.

4.6.3.1 Delimitación de la cuenca y determinación de sus parámetros morfométricos

La cuenca se delimitará en las imágenes de satélite Landsat suministradas por Google Earth y a partir de esta delimitación se estimarán los parámetros morfométricos de la cuenca.

4.6.4 Estimación del coeficiente de escorrentía ponderado

En ese sentido, se cuantificarán las áreas de la cuenca de acuerdo al tipo de cobertura del suelo y se les asignará coeficientes de escurrimiento de acuerdo a lo establecido por Chow (1994). Finalmente, se aplicará la ecuación para la determinación del coeficiente de escorrentía ponderado, como una relación de la sumatoria de los productos de las áreas parciales por sus respectivos coeficientes de escurrimiento entre la sumatoria total de las áreas.

4.6.6 Estimación del caudal aportado por la cuenca

Debido a la magnitud del área de la cuenca, se utilizará el método racional para la estimación de los caudales con períodos de retorno de 50 y 100 años.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación, se mostrarán los productos o informaciones generadas a partir de los datos obtenidos y procesados según la metodología planteada en el capítulo anterior.

5.1 Geometría y dimensiones del embalse y dique de concreto

5.1.1 Geometría y dimensiones del embalse

En ese sentido, se realizó un levantamiento topo-batimétrico utilizando los siguientes equipos:

- a. Teodolito electrónico marca Leica
- b. Mira estadimétrica
- c. GPS marca Garmin
- d. Cinta métrica
- e. Brújula marca KE tipo Brunton
- f. Jalones
- g. Fichas o estacas metálicas

Durante este levantamiento de radiación taquimétrica se posicionaron 31 puntos de interés desde una única estación denominada A, ubicada en el extremo derecho de la rejilla de captación de agua en la cresta del dique de concreto. La determinación de las coordenadas UTM (Datum REGVEN) de los puntos de interés se muestran en el Apéndice A.1 y los resultados de las coordenadas y cotas se presentan en la minuta siguiente:

Tabla 5.1 Coordenadas UTM y cotas de los puntos de interés en el dique y embalse Wará I.

Est.	Pto	Cota	COORDENADAS		OBSERVACIONES
			Norte	Este	
A		891.00	510985.00	707669.00	
	B	888.48	511004.13	707635.86	cresta izq diq 1
	a1	891.13	510984.71	707661.02	borde izq sacos
	12	891.03	510982.83	707661.55	borde izq tierra
	a3	892.03	510980.15	707638.97	borde izq tierra
	a4	891.52	510979.03	707645.80	borde izq tierra
	a5	891.52	510976.56	707642.34	borde izq tierra
	a6	894.37	510960.09	707551.82	borde izq tierra
	a7	891.83	510979.49	707631.96	
	a8	891.58	510980.58	707632.30	
	a9	887.53	510991.09	707712.99	
	a10	891.52	510976.58	707609.66	
	a11	891.02	510974.51	707601.85	
	a12	891.40	510971.65	707596.22	
	a13	891.80	510970.43	707594.41	
	a14	891.14	510978.73	707667.36	borde der tierra
	a15	891.56	510976.84	707665.21	borde der tierra
	a16	891.51	510972.82	707661.27	borde der tierra
	a17	891.77	510965.00	707654.90	
	a18	892.31	510955.26	707646.30	
	a19	891.14	510928.22	707713.27	
	a20	891.32	510954.45	707599.41	
	a21	891.26	511002.76	707621.79	borde izq canal descarga
	a22	891.69	511007.54	707625.04	borde izq cana descarga
	a23	890.99	511001.68	707654.37	borde izq canal descarga
	a24	889.75	510982.06	707666.51	pie taud derecho
	a25	889.72	510983.15	707662.75	pie talud izq
	a26	889.71	510972.82	707641.70	pie talud izq
	a27	889.34	510963.69	707645.33	pie talud der
	a28	889.63	510967.54	707632.00	centro embalse
	a29	889.68	510964.23	707620.25	centro embalse
	a30	889.64	510957.50	707620.29	centro embalse
	a31	889.74	510959.64	707612.48	

El plano topográfico respectivo se presenta en el Anexo 1.



Figura 5.1 Trabajo topográfico en el dique Wará II



Figura 5.2 Vista del embalse Wará I sin agua.

5.1.2 Secciones transversales del vaso de almacenamiento

Se construyeron cinco (5) secciones transversales, las cuales fueron codificadas como 10, 20, 30, 40 y 50 y se presentan en las figuras 5.3 a 5.7

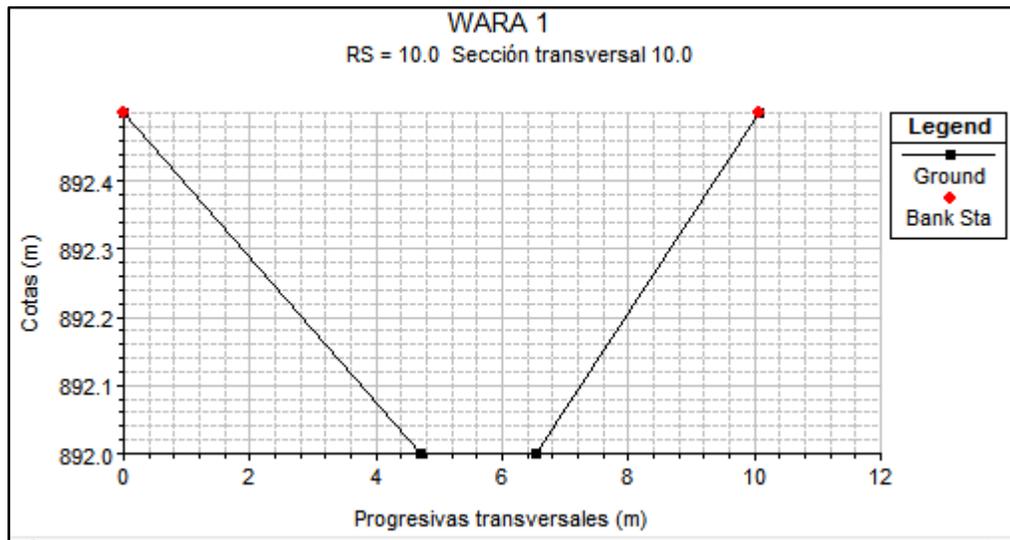


Figura 5.3 Sección transversal 10.

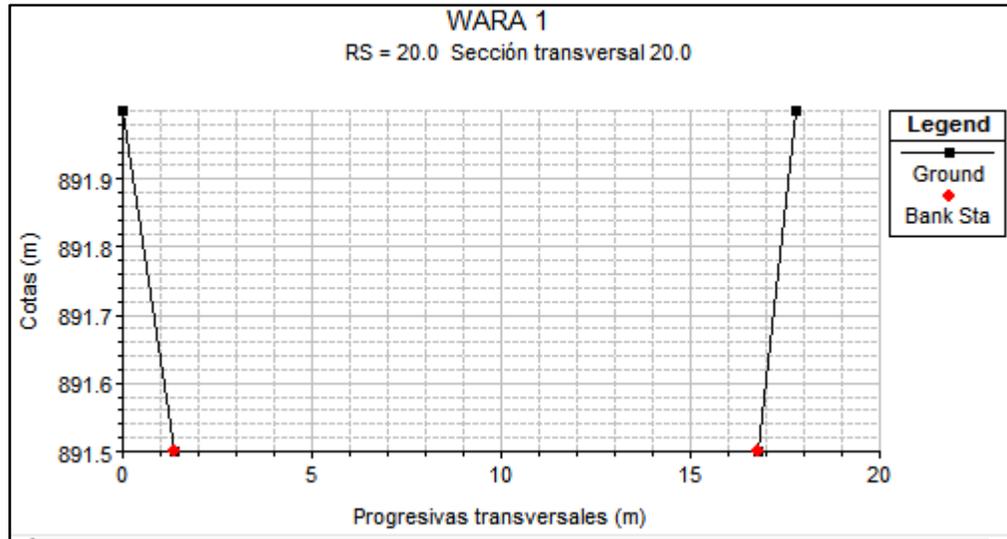


Figura 5.4 Sección transversal 20

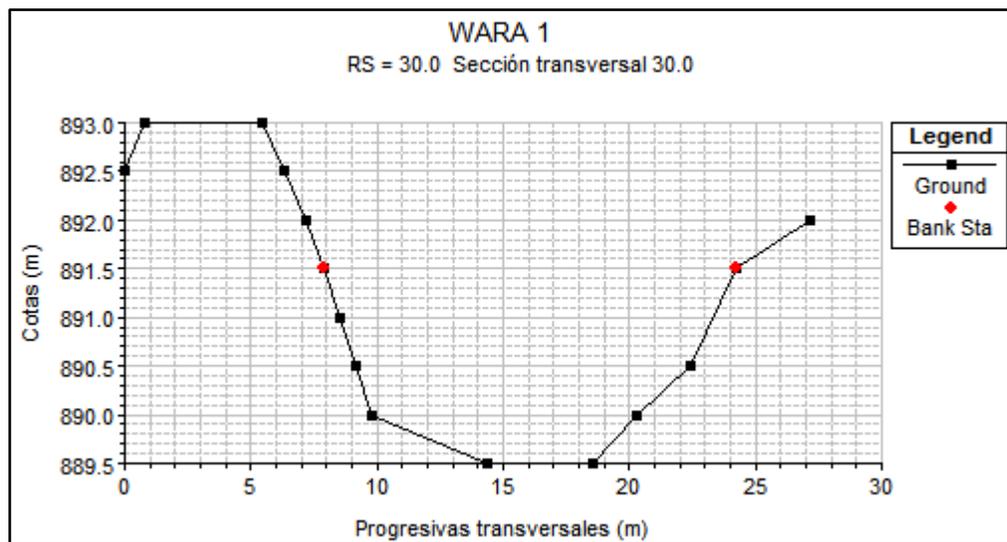


Figura 5.5 Sección transversal 30

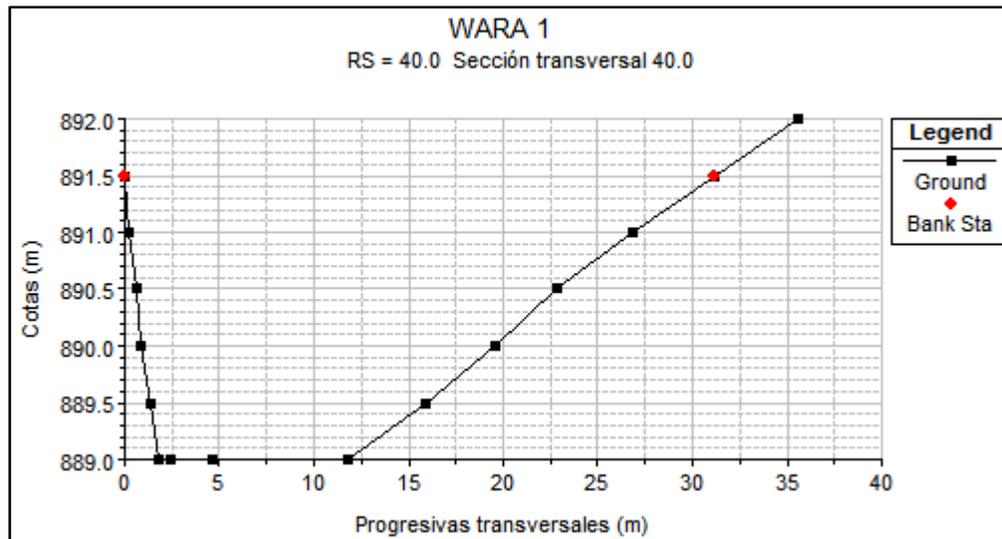


Figura 5.6 Sección transversal 40

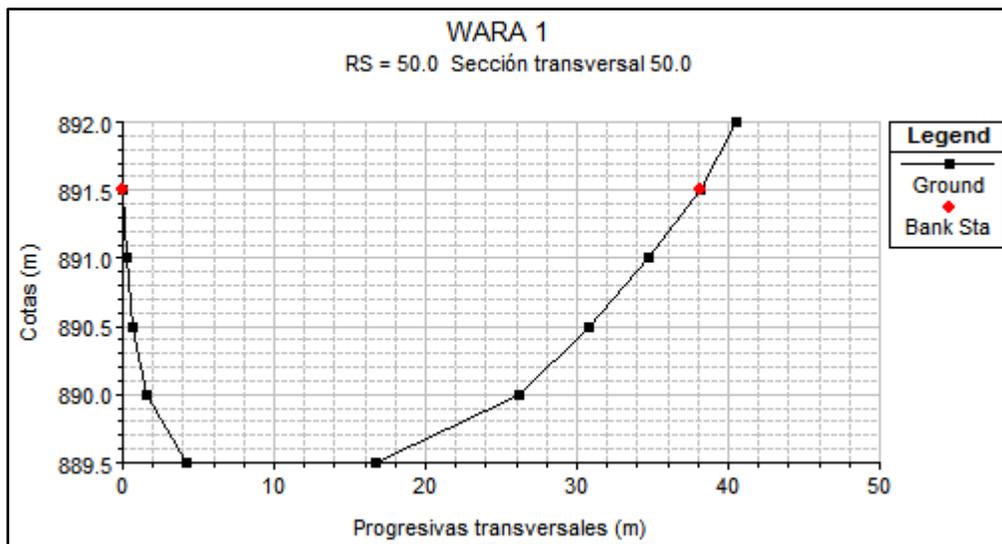


Figura 5.7 Sección transversal 50

5.1.3 Geometría y dimensiones del dique de concreto

A continuación, se presenta la representación esquemática del dique de concreto Wará I en sus vistas en planta, vertical y lateral.

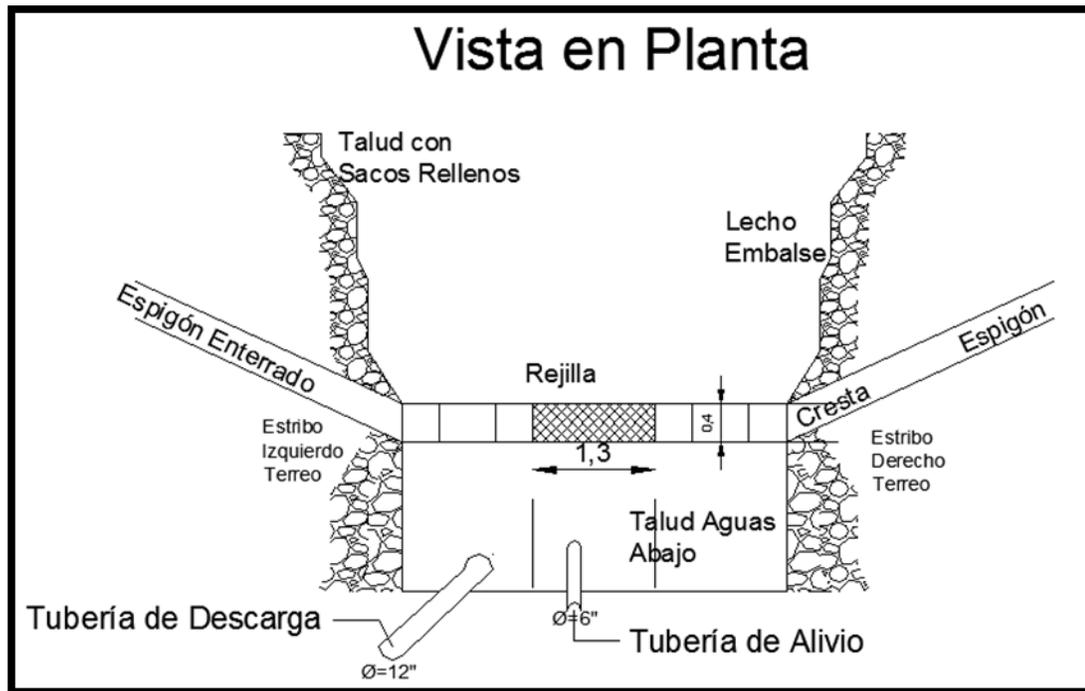


Figura 5.8 Vista en planta del dique Wará I.

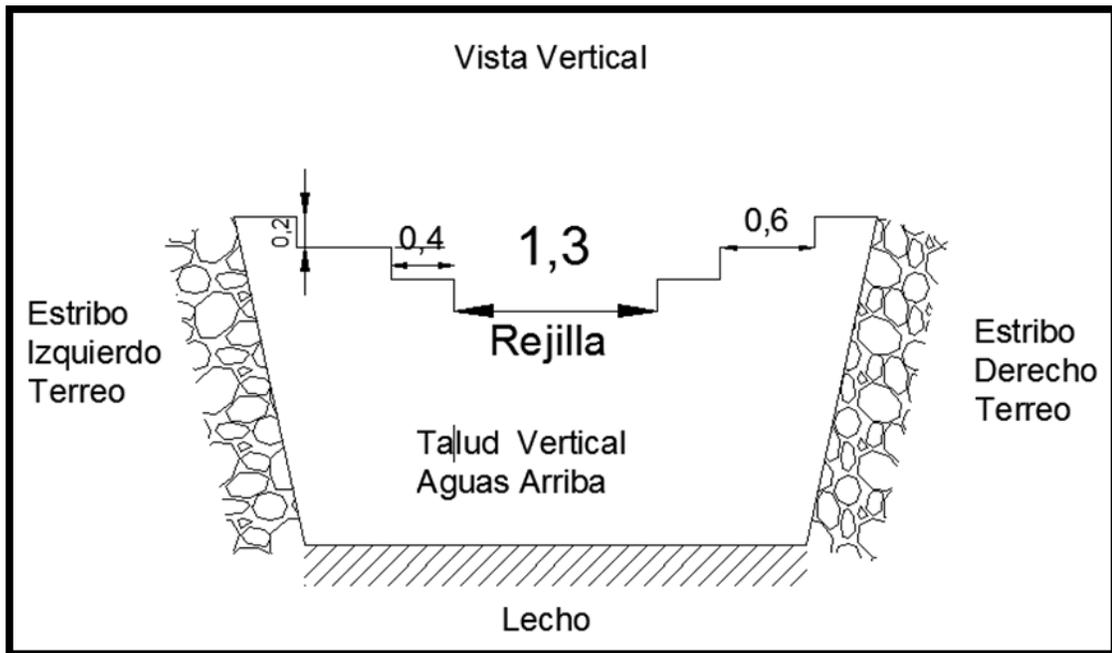


Figura 5.9 Vista vertical del dique Wará I.

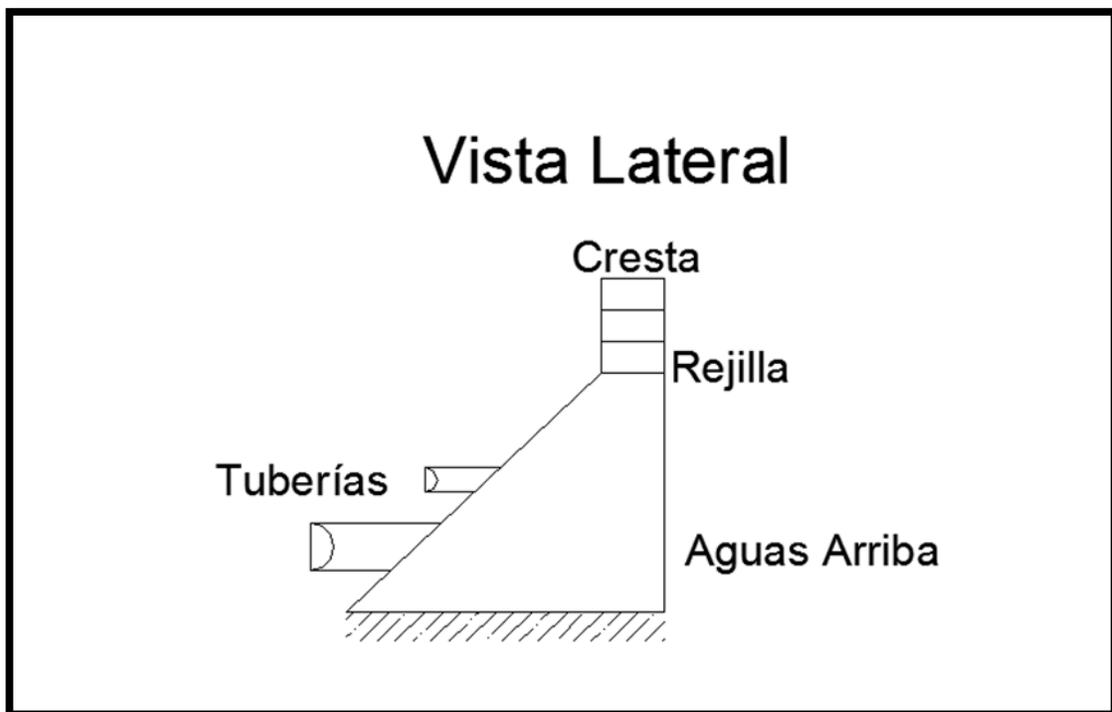


Figura 5.10 Vista lateral del dique Wará I.

5.2 Morfometría de la cuenca que aporta los sedimentos al embalse

A continuación, se presenta la delimitación de la cuenca del embalse Wará I:



Figura 5.11 Cuenca para embalse Wará I (línea amarilla: cauce principal, línea recta blanca: eje axial, Línea curva blanca: límites de la cuenca).

. Seguidamente, se presentan en la tabla 5.2 los parámetros morfométricos de la cuenca aportadora de escorrentías al embalse Wará I; es relevante los valores del coeficiente de Gravelius o de compacidad y del Factor forma los cuales implican una forma de cuenca alargada lo cual puede ser interpretado que la cuenca no será aportadora de crecientes importantes:

Tabla 5.2 Parámetros morfométricos para la cuenca del embalse Wará I.

Cuenca	Perímetro (Km)	Area (Km ²)	Long. Cauce (Km)	Long. Axial (Km)	Pendiente cauce principal (m/m)	Coef. Compac. (Kc)	Factor Forma (Ff)
Cuenca de Wará I	2.42	0.248	1.52	0.9	0.0217	1.39	0.29

5.3 Condiciones hidráulicas dentro del embalse

5.3.1 Volumen de agua almacenada en el embalse

Con base al levantamiento topo-batimétrico realizado en el vaso de almacenamiento de la represa Wará I, se calcularon las curvas de áreas y capacidades de acuerdo a la tabla y datos presentados a continuación:

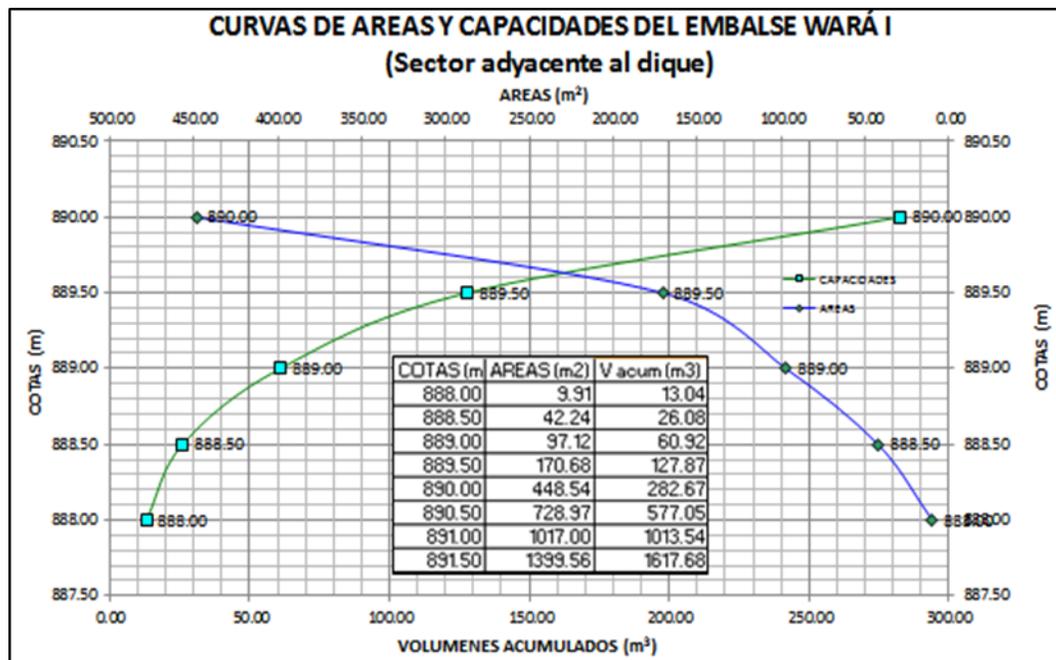


Figura 5.12 Curva de áreas y capacidades del dique Wará I.

Cabe destacar que este instrumento permite estimar una capacidad mínima de almacenamiento de 1.617.680 litros de agua en el vaso de almacenamiento adyacente al dique Wará I.

5.4 Coeficiente de escorrentía ponderado de la cuenca Wará II

Considerando la cobertura y uso del suelo en las dos cuencas y utilizando las tabulaciones de Aparicio (1999) y Benitez, et. al. (1980) se procedió a determinar los respectivos coeficientes de escorrentía ponderado.

Tabla 5.3 Coeficientes de escorrentía (Aparicio, 1999).

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Mínimo	Máximo
Zona comercial	0,70	0,95
Vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas	0,50	0,70
Zonas residenciales unifamiliares	0,30	0,50
Zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0,40	0,60
Zonas residenciales multifamiliares densas	0,60	0,75
Zonas residenciales semiurbanas	0,25	0,40
Zonas industriales espaciadas	0,50	0,80
Zonas industriales densas	0,60	0,90
Parques	0,10	0,25
Zonas deportivas	0,20	0,35
Estaciones e infraestructuras viarias del ferrocarril	0,20	0,40
Zonas suburbanas	0,10	0,30
Calles asfaltadas	0,70	0,95
Calles hormigonadas	0,70	0,95
Calles adoquinadas	0,70	0,85
Aparcamientos	0,75	0,85
Techados	0,75	0,95
Praderas (suelos arenosos con pendientes inferiores al 2%)	0,05	0,10
Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias)	0,10	0,15
Praderas (suelos arenosos con pendientes superiores al 7%)	0,15	0,20
Praderas (suelos arcillosos con pendientes inferiores al 2%)	0,13	0,17
Praderas (suelos arcillosos con pendientes intermedias)	0,18	0,22
Praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%)	0,25	0,35

Tabla 5.4 Coeficiente de escurrimiento (Benítez *et al.*, 1980)

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

En ese orden de ideas, el coeficiente de escurrimiento ponderado para la cuenca del embalse de Wará I se determina como se indica en el punto 4.6.5

Tabla 5.5 Coeficiente de escurrimiento ponderado para cuenca del embalse Wará I.

Uso del suelo	Área (A) (%)	Áreas (A) (Km ²)	Coef. Escorrentía (C)	A x C	Coef. Escorrentía ponderado cuenca Wará I
Cultivos	3	0.007	0.50	0.0035	0.425
Bosque de galería	36	0.089	0.30	0.0267	
Gramíneas	32	0.080	0.40	0.032	
Suelo desnudo	29	0.072	0.60	0.0432	
Σ =	100.0	0.248		0.1054	

5.5 Determinación de los tiempos de concentración.

Aparicio, F. (2001) manifiesta también, que el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio se denomina tiempo de concentración, y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Palacio, A. (2011) afirma que, para la estimación del tiempo de concentración en un determinado punto o sitio de una cierta cuenca, se usa la fórmula del California Culvert Practice:

$$T_C = 0,0195 (L^3/H)^{0,385} \quad (4.4)$$

En donde T_C es el tiempo de concentración en minutos, L la longitud en metros, desde el sitio de nacimiento del cauce en estudio hasta el sitio de considerado y H la diferencia de elevación en metros, entre el inicio del cauce principal y el sitio considerado. (Palacio, A. 2011).

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del tiempo de concentración mediante la ecuación del California Culvert Practice para la cuenca:

Tabla 5.6 Estimación del tiempo de concentración.

Cuenca	Long. Cauce (m)	Cota inicio (m)	Cota final (m)	Diferencia altura (m)	Tiempo de concentración (min)
Wará I	1520	884	917	33	24

5.6 Estimación de la intensidad de las precipitaciones (I)

Bolinaga, J. (1980), incluye en su texto “Drenaje Urbano” la gráfica de Intensidad, Duración y Frecuencia de las precipitaciones, obtenida por el método de los valores extremos de Gumbel para la estación de Santa Elena de Uairén, las cuales serán utilizadas para la estimación de la intensidad de las precipitaciones en el área de estudio considerando períodos de retorno (T_r) de 10, 25 y 50 años.

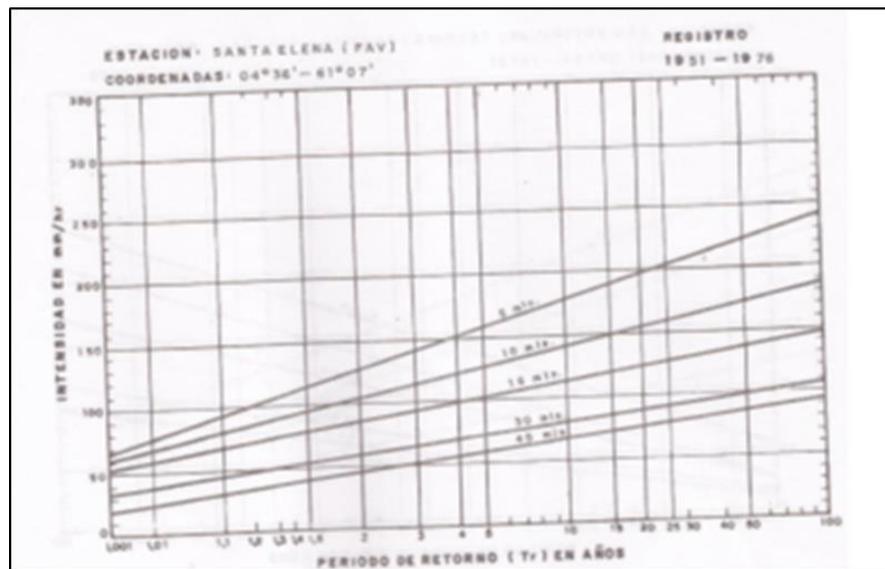


Figura 5.13 Gráfica IDF para Santa Elena de Uairén, período 1951-1976 (Bolinaga, J. 1979).

En ese orden de ideas, se presentan a continuación los valores de intensidad de precipitaciones extraídos de la gráfica anterior para la cuenca del embalse Wará I.

Tabla 5.7 Intensidad de precipitaciones para el embalse Wará I y períodos de retorno de 50 y 100 años.

Cuenca	Tiempo de concentración (T _c) (min)	Período de retorno (T _r) (años)	Intensidad de precipitación (I) (mm/hr)
Wará I	24	50	110
		100	120

La intensidad de las precipitaciones estimada de 110 mm/hr (305.8 lps/ha) y 120 mm/hr (333.6 lps/ha) para períodos de retorno de 50 y 100 años respectivamente.

5.7 Caudal aportado por la cuenca del embalse Wará I

Bolinaga, J. (1979), afirma que el Método Racional para la estimación del caudal aportado por una cuenca con un área menor de 500 ha, supone que, si sobre un área determinada cayese una precipitación de intensidad uniforme en el tiempo y en el espacio, llegará un momento en que la cantidad de agua que cae equivale a la que sale del área, siempre y cuando esta sea impermeable. El cálculo se hace utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_P = C \cdot i \cdot A_c / 360 \quad (5.2)$$

Donde:

Q_P: gasto máximo en m³/s;

I: intensidad de la lluvia en mm/hr para una duración igual al tiempo de concentración (T_c) del área tributaria;

A_c : área tributaria en hectáreas;

C : coeficiente de escorrentía ponderado. (Bolinaga, J. 1979)

En ese sentido, tenemos los siguientes resultados:

Considerando un área de la fracción de la cuenca aguas arriba de la represa Wará I, la cual se estimó en 24 ha y un Tiempo de concentración (T_c) de 24 min, se tiene:

Tabla 5.8 Estimación del caudal aportado por la cuenca del embalse Wará I.

Período de retorno (Tr) (años)	Coficiente de escorrentía Ponderado (C)	Área tributaria (A) (ha)	Intensidad de la Lluvia (I) (mm/hr)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (l/s)
50	0.425	24	110	3.12	3120
100			120	3.4	3400

El caudal de drenaje de la cuenca para períodos de retorno de 50 años y 100 años sería de 3.12 m³/s (3120 lps) y 3.40 m³/s (3400 lps) respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La represa Wará I está constituida por dos elementos principales: un dique monolítico de concreto armado que tiene una longitud de 4.10 metros de largo, 3.50 m de altura, 0.40 m de ancho de coronación y un talud aguas abajo con 45 grados de inclinación.
2. El vaso de almacenamiento tiene un área de 1399.56 m² y almacena aproximadamente unos 1617.68 m³ de agua cuando su nivel alcanza la cota de 891.50 msnm.
3. La cuenca aportadora de caudales de avenida tiene un área de 24.80 ha. presentando una forma alargada con coeficientes de forma de 0.29 y coeficiente de compacidad de 1.39 lo cual implica que no se considera una cuenca aportadora de inundaciones.
4. El coeficiente de escurrimiento ponderado de la cuenca se estimó en 0.425 con base a la distribución de áreas y sus respectivas coberturas (cultivos, bosque de galería, gramíneas y suelo desnudo).
5. El tiempo de concentración respondió a valores de 24 min lo cual se considera un valor reducido dado el área de la cuenca y su pendiente moderada (0.0217 m/m) y la intensidad de lluvia entre 110 mm/hr y 120 mm/hr.
6. . Hidráulicamente la cuenca media del río Wará proporcionará caudales de diseño 3.12 m³/s y 3.40 m³/s (para períodos de retorno de 50 y 100 años

respectivamente). Por lo que se considera que, de no existir pérdidas en el embalse, este podría ser llenado hasta su nivel de aguas normales en menos de 10 min.

Recomendaciones

1. Efectuar las evaluaciones necesarias de las filtraciones que se producen por las fundaciones de la presa y a través del cuerpo térreo del estribo izquierdo.
2. Se recomienda realizar estudios del movimiento de sedimentos aportados por el río Wará discriminando la sedimentación producida por los procesos de erosión de riberas dentro del río.
3. Proponer soluciones de rehabilitación del monolito de concreto, específicamente en las oquedades que presenta al pie del talud aguas abajo.
4. Se recomienda a los entes gubernamentales que administran la operación del dique designar un equipo de trabajo que garantice la operación eficiente de los sistemas de alivio y de captación del agua almacenada para evitar desbordamientos y racionalizar el uso del agua almacenada.

REFERENCIAS

Arias, Fideas. (2006). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Quinta Edición. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. (pp.143)

Arocha, Simón. (1983). **CLOACAS Y DRENAJES**. Ediciones Vega s.r.l. Caracas, Venezuela. (pp.263)

Aparicio, F. 1997. **FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Balderas, México: Limusa. 303 p.

Aparicio, Francisco. (2001) **FUNDAMENTOS DE LA HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Editorial LIMUSA, S.A de C.V. Grupo Noriega Editores, Décima reimpresión, Balderas 95, Distrito Federal, México. (pp 19-45).

Arias, Fideas (1999). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: GUÍA PARA SU ELABORACIÓN**. Caracas: Episteme, C.A. (p 66)

Arias, Fideas. (2012) **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA**. Editorial Episteme, Caracas, Venezuela. (p 146).

Balestrini, M. (2006). **COMO SE ELABORA UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. BL Consultores y Asociados, Caracas, Venezuela, 6ta Edición, P 220.

Balestrini, M. (2001) **¿CÓMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?** BL Consultores Asociados, Servicio Editorial, Caracas, Venezuela.

Bateman, Allen (2007). **HIDROLOGÍA BASICA Y APLICADA**. Grupo de Investigaciones en Transporte de Sedimentos. Colombia. (pp.70)

Becerra, M. (2018). **DIAGNÓSTICO OPERATIVO Y ESTRUCTURAL DEL VASO DE ALMACENAMIENTO Y DIQUE DE CONCRETO DE LA REPRESA WARÁ II, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Berti, C. y Hernández, C. (2018). **PROPUESTA DE PROTECCIÓN DE TALUDES DEL RÍO WARÁ EN EL EMBALSE WARÁ II, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Bolinaga, Juan. (1979). **DRENAJE URBANO**. Instituto nacional de obras. Caracas, Venezuela. (pp.399)

Cardenas, O. (2012). **ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN DE ORILLAS EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO CAUCA EN EL SECTOR CANDELARIA EN EL DISTRITO DE RIEGO ROLDANILLO – LA UNIÓN – TORO**. Trabajo de grado. Universidad del Valle. Cali. Pp. 1-1,

C.V.G. EDELCA (2003). **CUENCA DEL CARONÍ. UNA VISIÓN EN CIFRAS**. Puerto Ordaz

C.V.G Técnica Minera (1986). **INFORME DE AVANCE NC-20-14 Y NB-20-2 CLIMA, GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS, VEGETACIÓN. GERENCIA DE PROYECTOS ESPECIALES PROYECTO INVENTARIO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA REGIÓN GUAYANA**. Tomo I Y II. Ciudad Bolívar; (pp 9-489 Y 515-756).

Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.) Técnica Minera C.A., (1989). **INFORME DE AVANCE NC 20 – 14 Y NC20 – 15, CLIMA, GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, SUELOS Y VEGETACION TOMO I, II, III**. Ciudad Bolívar, Venezuela. (pp. 185-203, 441-444, 453 – 461).

Chaparro, J. (2018). **PLAN DE REHABILITACIÓN DE PROFUNDIDADES DEL EMBALSE WARÁ II, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Chereque, W. (2003). **HIDROLOGÍA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL**. Segunda edición. Editorial Concytec. Lima, Perú.(pp.223)

Chow., V. T. Maidmen, David., y Mays, Larry. (1994) **HIDROLOGÍA APLICADA**. Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santa Fé de Bogotá, Colombia. (pp 180-190).

Erazo, Adriana. (2004). [Servicio Nacional de Estudios Territoriales]. **REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS Y MEDIOS EN EL SALVADOR**. 30 de septiembre de 2014. [<http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/caudales.pdf>]. (pp.21)

González de Juana, Carlos., Iturralde, Juan y Picard, Xavier (1.980), **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**, tomo I y II, ed. facsimilar 1.993, Caracas: Ed. Foninves. (pp 99-111).

Hernández, M. (2003). **EL MANUAL DE TESIS DE GRADO Y ESPECIALIZACIÓN Y MAESTRÍA Y TESIS DOCTORALES DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA LIBERTADOR**. Tercera Edición. FEDUPEL. Caracas, Venezuela. (pp.245).

Lahee, Frederic. (1970) **GEOLOGÍA PRÁCTICA**, Tercera edición, Ediciones Omega. Barcelona, España. pp 143, 324-326.

Leliavsky, Serge. (1964) **INTRODUCCIÓN A LA HIDRÁULICA FLUVIAL**. Editorial Ediciones Omega, S.A. Casanova, Barcelona. (pp 2-5).

Landeau, Rebeca. (2007) **ELABORACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Alfa, Caracas, Venezuela. (pp 53-55).

Moreno, Guadalupe. (2000) **INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA II**. Editorial Progreso, S.A. de C.V. D.F., México, (pp 60-64).

Ordoñez, Juan. (2011). **CARTILLA TÉCNICA: ¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?**. Foro peruano para el agua, Sociedad Geográfica de Lima. Lima, Perú, octubre de 2011, [http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf]

Ortiz, Frida (2004). **DICCIONARIO DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Editorial Limusa, S.A. México. (pp 93-127).

Palacios, Álvaro. (2011) **ACUEDUCTO, CLOACAS Y DRENAJES**. Universidad Católica Andrés Bello, Facultad De Ingeniería, Escuela De Ingeniería Civil, Segunda edición Caracas, Venezuela. (pp 184-190).

Sabino, Carlos (2007). **COMO HACER UNA TESIS Y ELABORAR TODO TIPO DE ESCRITOS**. Caracas. (pp 14-21)

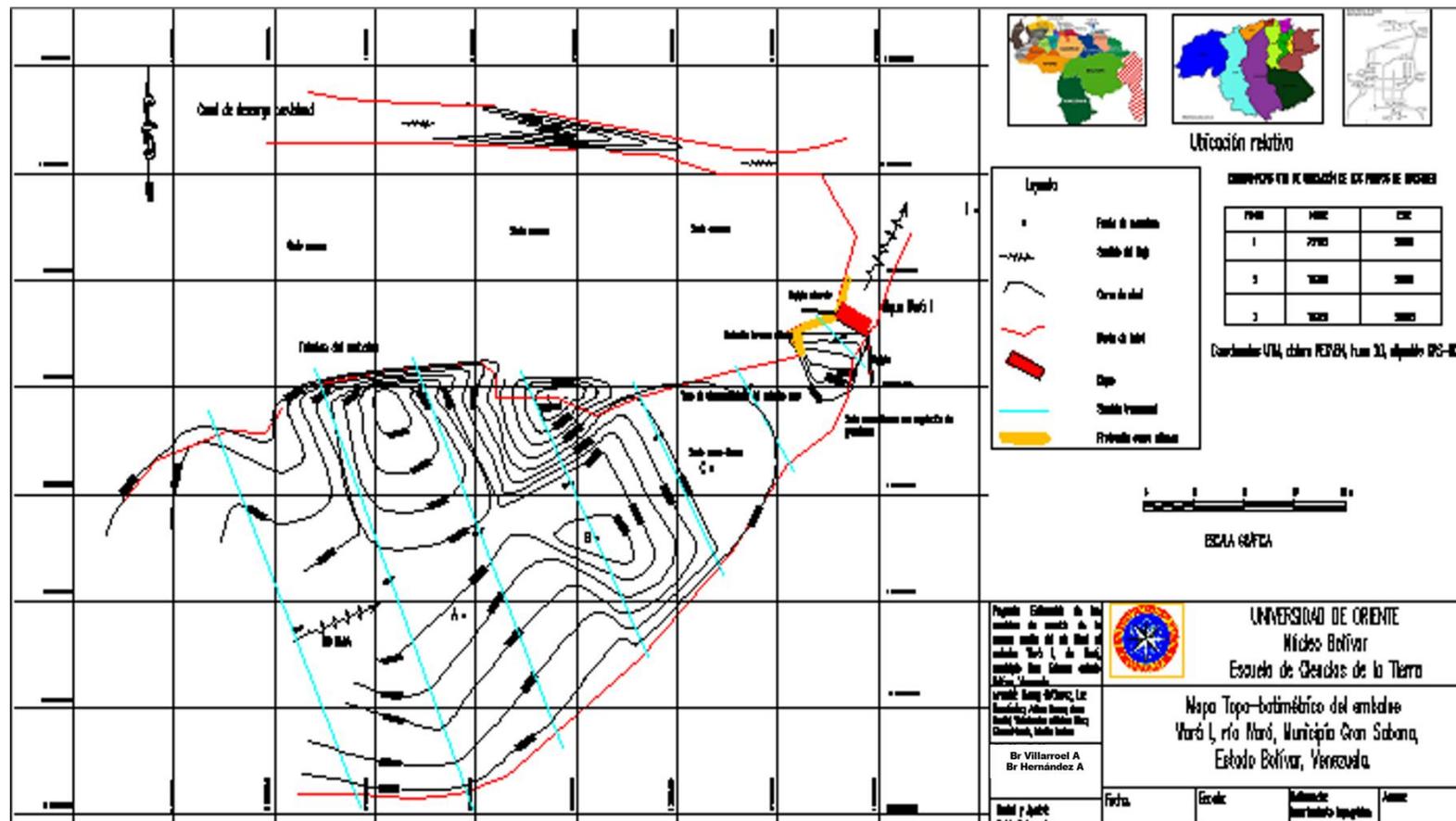
Schumm, Arthur (1960). **THE SHAPE OF ALLUVIAL CHANNELS IN RELATION TO SEDIMENT TYPE, UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER**. (pp 352B: 17-30).

Tarback, Edward y Lutgens, Frederick. (2005). **CIENCIAS DE LA TIERRA. UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA FÍSICA.** Edición Pearson-Prentice Hall, 8ª ed. Madrid. (p 64).

Yalin, M. S. (1972) **MECHANICS OF SEDIMENT TRANSPORT.** Pergamon Press. Denver. (pp 55-57).

APÉNDICES

APÉNDICE A
PLANO TOPOGRÁFICO DEL EMBALSE WARÁ I



A.1 Plano del embalse Wará I



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

CONSTANCIA DE REVISIÓN Y CONFORMIDAD DE TUTORÍA

A través de la presente hago de su conocimiento que el trabajo de grado intitulado “**ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE AVENIDA QUE APORTARÁ LA CUENCA MEDIA DEL RÍO WARÁ HASTA EL EMBALSE WARÁ I, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.**”, el cual fue desarrollado por los bachilleres **VILLARROEL C., ALBANI DE LOS A.** de cédula de identidad No **28.521.288** y **HERNÁNDEZ M., ÁLVARO A.** de cédula de identidad No **27.878.098**, fue revisado y aprobado por quien suscribe y en vista de ello, se propone para que sea expuesto y defendido por sus autores.

Sin otro particular

Atentamente.

Prof. Dafnis Echeverría
Asesor académico

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	"ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE AVENIDA QUE APORTARÁ LA CUENCA MEDIA DEL RÍO WARÁ HASTA EL EMBALSE WARÁ I, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR."
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
VILLARROEL CURABARE, ALBANI DE LOS ANGELES	CVLAC	28.521.288
	e-mail	albanivillarroel17@gmail.com
	e-mail	
HERNÁNDEZ MARRÓN, ÁLVARO ANTONIO	CVLAC	27.878.098
	e-mail	alvarohmhm@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Embalses
morfometría
Cuenca fluvial
Caudal de avenidas

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso

– 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Hidrología	Caudal de avenidas

Resumen (abstract):

La presente investigación se desarrolló en la cuenca del río Wará, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. El objetivo del estudio es estimar los caudales de avenida que aportará la cuenca media del mencionado río hasta el embalse Wará I. Para el desarrollo de este objetivo se aplicó una metodología de investigación de tipo descriptiva con un diseño de campo y documental. Para el logro de la investigación se realiza un reconocimiento del área de estudio; luego, se construyó un plano topográfico y las secciones transversales, con base a la información topo-batimétrica levantada en la ubicación de la represa, que permitirán describir geomorfológicamente dicha zona. Se determinaron las características morfométricas de la cuenca media del río Wará hasta la ubicación de la represa Wará I. Se estimó el volumen de agua almacenada en el vaso de almacenamiento de la represa Wará I. Entre los resultados relevantes se concluyó que la geomorfología indica que el embalse tiene una capacidad actual de 1617.68 m³ de agua, sin embargo, según estudios efectuados por Arias, R. y González, E. (2019) posee una cantidad de azolves acumulados en su interior de 85.28 m³. De acuerdo a la morfometría de la cuenca, específicamente en relación a los valores del factor forma (0.29) y el coeficiente de compacidad (1.39) de la cuenca, esta resulta ser de forma alargada con poca tendencia a generar crecientes significativos. Finalmente, se estimó que la cuenca media del río Wará puede suministrar caudales (Q) de 3.12 m³/s y 3.40 m³/s para períodos de retorno (Tr) de 50 y 100 años respectivamente.

Palabras claves: Wará, embalse, morfometría, caudal, cuenca

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso

– 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
<i>Echeverría Díaz, Dafnis José</i>	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	4.506.408
	e-mail	<i>dafnisecheverria2807@gmail.com</i>
	e-mail	
<i>Padilla Flores, Karla Andreina</i>	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	21.264.829
	e-mail	<i>@gmail.com</i>
	e-mail	
<i>España Rodríguez, Juan Carlos</i>	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	12.602.152
	e-mail	<i>@gmail.com</i>
	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2024	05	16

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso

– 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-(CAUDALES DE AVENIDA CUENCA MEDIA RÍO WARÁ HASTA EL EMBALSE WARÁ I, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR).doc	Application/msword

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Espacial: Río Wará, municipio Gran Sabana, estado (Opcional)
Nolívar

Temporal: 2024 (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio: Hidrología

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad Oriente de

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso

– 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda ***SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009***.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *Martínez*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

Juan A. Bolaños Curyelo
JUAN A. BOLANOS CURVELO
Secretario



C.C.: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Derechos:

**De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado
“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros
fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,
quien lo participara al Consejo Universitario”**

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuído. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.

Albani de los A. Villarroel C.

AUTOR 1

ÁLVARO A., HERNÁNDEZ M.

AUTOR 2

**DAFNIS ECHEVERRÍA
TUTOR**