

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



ESTIMACIÓN DE LAS FILTRACIONES QUE SE PRODUCEN A TRAVÉS DEL ESTRIBO DE TIERRA IZQUIERDO DE LA PRESA WARÁ I EN EL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA

TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO POR LOS BACHILLERES MARTÍNEZ P., ROWIL A. Y ROMERO L., CARLOS J. PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO. GEÓLOGO



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
 NÚCLEO BOLÍVAR
 ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: “ESTIMACIÓN DE LAS FILTRACIONES QUE SE PRODUCEN A TRAVÉS DEL ESTRIBO DE TIERRA IZQUIERDO DE LA PRESA WARÁ I EN EL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA”, presentado por los bachilleres, MARTÍNEZ P., ROWIL A. de cédula de identidad No 25.721.552 y ROMERO L., CARLOS J. de cédula de identidad No 22.807.011; como requisito arcial 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:
 Prof. Dafnis Echeverría

 (Asesor)

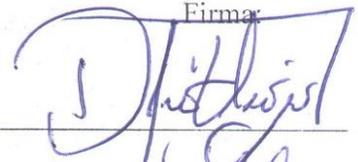
Dafnis Echeverría

 (Jurado)

Juan Espino

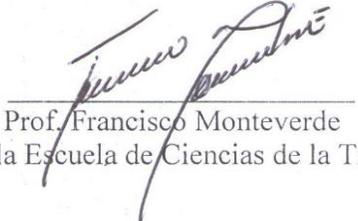
 (Jurado)

Berenice Sandoval
 Prof. Berenice Sandoval
 Jefe de Dpto. de Ing. Geológica.

Firma:







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

En Ciudad Bolívar, a los 29 días del mes Noviembre

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

Por el esfuerzo, dedicación, paciencia, por su confianza y por todo lo que me ha dado a lo largo de mi carrera y de mi vida, este Proyecto va dedicado a mi madre Yoneida Leal Martínez.

A nuestros hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Rowil Alejandro Martínez Pérez
Carlos José Romero Leal

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

De igual forma, agradecemos a nuestro tutor de tesis el Ing. Dafnis Echeverría, que gracias a sus consejos y correcciones hoy pudimos culminar este trabajo.

Agradecemos a los todos profesores que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, nos motivaron a desarrollarnos como personas y profesionales en la Universidad de Oriente.

Rowil Alejandro Martínez Pérez

Carlos José Romero Leal

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la cuenca baja del río Wará, específicamente en la represa Wará I, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. El objetivo fundamental del estudio es estimar la magnitud de las filtraciones que se producen a través del estribo izquierdo de la represa antes mencionada. Para el desarrollo de este objetivo se aplicó una metodología de investigación de tipo descriptiva para lo cual se implementó una estrategia de campo y documental. Para el logro de la investigación se efectuó un levantamiento topográfico en el área del estribo izquierdo de la represa Wará I cuyos datos se utilizaron para construir un plano topográfico del mencionado cuerpo terreo. Se realizó el análisis textural de las muestras de los suelos tomadas en la perforación practicada en el estribo izquierdo. Se estimó la carga hidráulica a la cual estará sometido el talud del estribo izquierdo del embalse Wará I. Entre los resultados relevantes se concluyó que la geomorfología indica que el embalse tiene una capacidad actual de 1001.74 m^3 de agua para un Nivel de Aguas Máximas de Operación (NAMO) de 890.3 msnm.. Por otro lado, en la perforación del sitio de ubicación del estribo izquierdo se diferenciaron tres (3) horizontes de tope a base de la perforación correspondientes con: arena arcillosa de color beige con un espesor de 7.00 m. un estrato de arena arcillosa compactada de color marrón con 5.50 m de espesor y un estrato de arcilla de color rojizo con 12.00 m de espesor.- El estribo izquierdo del embalse presenta evidencias de filtraciones que fueron estimadas mediante el programa SEEP/W con un caudal unitario de $2.03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN.....	V
CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABLAS.....	XIII
LISTA DE ANEXOS.....	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
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.....	6
1.3 Alcance de la investigación	7
CAPÍTULO II	8
GENERALIDADES	8
2.1 Ubicación del área de estudio.....	8
2.2 Clima.....	10
2.3 Hidrografía.....	15
2.4 Geología.....	18
2.5 Geomorfología	18
2.6 Suelos	23
2.7 Erosión.....	25

2.8 Vegetación del área de estudio	28
2.9 Fauna del área de estudio	29
CAPÍTULO III	32
MARCO TEÓRICO.....	32
3.2.1 Presas y embalses	33
3.2.2 Tipos de represa	35
3.2.3 Hidrología fluvial	40
3.2.4 Análisis granulométrico por el método del tamizado	41
3.2.5 Embalse.....	42
3.2.6 Embalses artificiales	43
3.2.7 Características de los embalses.....	43
3.2.8 Causas de las filtraciones en embalses	48
3.2.9 Diseño geométrico de presas de materiales sueltos.....	55
3.2.10 Pantallas de hormigón o concreto	59
3.2.11 Pantallas o muros de corte	62
3.2.12 Coeficiente de filtración de suelos gruesos	63
3.2.13 Densidad de suelos finos	64
3.2.14 Coeficiente de filtración de suelos finos	64
3.2.15 Filtración en presas de tierra	66
3.2.16 Filtración en una presa homogénea con cimentación permeable.....	69
3.3 Bases Legales	71
3.3.1 Ley de aguas	71
3.4 Definición de términos básicos	72
3.4.1 Afluentes	72
3.4.2 Aliviadero	72
3.4.3 Área del embalse	72
3.4.4 Ataguía.....	73
3.4.5 Auscultación	73
3.4.6 Avenida	73
3.4.7 Avenida de proyecto	73
3.4.8 Caudal.....	73
3.4.9 Coronación	74
3.4.10 Corte.....	74
3.4.11 Cuenca hidrográfica	74
3.4.12 Cuenca vertiente	74
3.4.13 Derivar	74
3.4.14 Desagüe de fondo	74
3.4.15 Distancia de resguardo	75
3.4.16 Erosión	75

3.4 17 Espesor de tongada del hormigón	75
3.4 18 Estabilidad.....	75
3.4 19 Evaporación.....	75
3.4.20 Longitud de la coronación de la presa.	76
3.4.21 Márgenes del embalse.....	76
3.4.22 Nivel aguas abajo	76
3.4.23 Nivel mínimo de explotación.....	76
3.4.24 Órgano de desagüe.....	76
3.4.25 Pie de la presa.....	76
3.4.26 Talud	77
3.4.27 Toma de agua	77
3.4 28 Umbral de los aliviaderos.....	77
3.4.29 Volumen activo.....	77
3.4.30 Volumen de control de avenidas.....	77
3.4.31 Volumen de la presa	78
3.4.32 Volumen de nivelación	78
3.4 33 Volumen del embalse	78
3.4-34 Volumen inactivo	78
3.4.35 Volumen muerto	78
3.4.36 Volumen útil	78
3.4.37 Zona inundable	79
CAPÍTULO IV	80
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	80
4.1 Tipo de investigación	80
4.2 Diseño de investigación.....	80
4.2.1 Investigación de campo	80
4.2.2 Investigación documental.....	81
4.3 Población y muestra de la investigación	81
4.3.1 Población de la investigación	81
4.3.2 Muestra de la investigación.....	82
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	82
4.4.1 Técnicas de recolección de datos	82
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos	83
4.5 Flujograma de la metodología de trabajo.	84
CAPÍTULO V	86
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	86
5.1 Geometría y dimensiones del estribo izquierdo de la represa Wará I.	86

5.2 Caracterización textural de los materiales del estribo izquierdo	87
5.3 Evidencias de filtraciones a través del estribo izquierdo del embalse Wará I. .	88
5.4 Esfuerzos producidos por la carga hidráulica sobre el talud del estribo izquierdo	
90	
5.5 Estimación de las filtraciones a través del estribo izquierdo.....	92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
Conclusiones	96
Recomendaciones	97
REFERENCIAS	98
HOJAS DE METADATOS	103

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	Embalse Wará I.....	9
2.4	Clasificación Bioclimática en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC). (CVG-EDELCA, 2004).....	11
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	Río Wará aguas abajo del dique Wará I.....	16
2.8	Vista actual del lecho del embalse de la represa Wará I.....	16
2.9	Hidrografía de la subcuenca del río Uairén (CVG EDELCA, 1983).....	17
2.10	Región Hidrológica del Río Caroní (CVG EDELCA, 2004).....	17
2.11	Geología de la cuenca del Caroní (CVG EDELCA, 2004).....	19
2.12	Geomorfología de cuenca del río Caroní (CVG EDELCA, 2004).....	20
2.13	Pendientes de Wará (Figuroa, M. 2007).....	22
2.14	Vista 3D, sección topográfica Wará (Figuroa, M. 2007).....	22
2.15	Suelos de la cuenca del río Caroní (CVG EDELCA, 2004).....	23
2.16	Cárcavas a 1 km aguas abajo del dique Wará I.....	26
2.17	Erosión en la cuenca del río Caroní (CVG-EDELCA, 2004).....	27
2.18	Bosque de galería por la ribera derecha descendente del río Wará.....	29
3.1	Presa de tipo gravedad. (Wikipedia, 2012).....	36
3.2	Presa en Arco. (wikipedia, 2012).....	37
3.3	Presa de materiales sueltos. (wikipedia, 2012).....	39
3.4	Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte (Hjulstrom, F., 1935).....	41
3.5	Medición del nivel del embalse.....	44
3.6	Tubificación retrograda.....	52
3.7	Fractura hidráulica.....	52
3.8	Fisuras en una presa por la forma de la boquilla (Sandoval, W. 2018)..	56
3.9	Condiciones geológicas de la boquilla (Sandoval, W. 2018).....	57
3.10	Proceso constructivo de una pantalla de concreto de hormigón (Sandoval, W. 2018).....	60
3.11	Detalle de una junta de una pantalla de concreto (Sandoval, W. 2019),,	61
3.12	Pantalla de concreto del proyecto Mazar (Sandoval, W. 2019).....	61
3.13	Proceso de construcción de una pantalla de concreto plástico (Sandoval, W. 2019).....	62
3.14	Flujo a través de un bloque permeable de suelo (Sndoval, W. 2019)....	66

3.15	Enrocado al pie de una presa de tierra (Sandoval, W. 2019).....	67
3.16	Filtración por una presa de fundación permeable (Sandoval, W. 2018).	70
4.1	Flujograma de la investigación.....	83
5.1	Croquis topográfico del estribo izquierdo de la represa Wará I.....	85
5.2	Curva granulométrica de la arena, muestra M1.....	86
5.3	Aspecto del estribo izquierdo de tierra y parte del monolito de concreto del dique Wará I.....	87
5.4	Vista del estribo izquierdo aguas abajo del dique.....	87
5.5	Embalse del dique Wará I lleno de agua el 21/04/2017 según imagen de satélite Landsat (Google Earth).....	88
5.6	Perfil lateral del dique de concreto Wará I (Pérez, H. y Sánchez, V., 2018).....	89
5.7	Sección transversal A-A' del estribo izquierdo del embalse Wará I.....	89
5.8	Malla de elementos finitos de SEEP/W a través de la sección transversal del cuerpo del estribo izquierdo y su fundación.....	90
5.9	Líneas de flujo, líneas equipotenciales y vectores de velocidad de las filtraciones a través del estribo izquierdo del embalse Wará I.....	91
5.10	Magnitud de las filtraciones a través del estribo izquierdo del embalse Wará I.....	91
5.11	Curva de áreas y capacidades del embalse Wará I (García y Cordova, 2018).....	93

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).....	12
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).....	12
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).....	24
2.5 Descripción erosión fuerte (CVG EDELCA, 2003).....	26
3.1 Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth (Pettijohn, 1949).....	42
5.1 Coordenadas de ubicación de la perforación.....	85
5.2 Análisis granulométrico de la muestra M-1.....	86

LISTA DE ANEXOS

- 1 MAPA TOPO-BATIMÉTRICO DEL EMBALSE WARÁ I

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo se ha actuado como si los recursos naturales fueran realmente ilimitados y el hombre se ha dedicado a su explotación de forma absolutamente irracional, en la mayoría de los casos para la obtención de bienes de consumo, (OCDE, 1984).

Esta actitud expoliadora de nuestra sociedad ha producido su escasez en nuestro planeta y un deterioro de la calidad de vida. Como consecuencia del mal llamado progreso y del desarrollo tecnológico, existen altos índices de contaminación tanto en el aire, como en el suelo y en el agua, al tiempo que la población mundial crece de forma desmesurada.

Uno de los recursos que está siendo esquilado, aunque sea renovable, es el agua, por ello en el presente trabajo profundizaremos en el uso, consumo y gestión del agua. Este tema es preocupante por la cantidad de problemas que lo envuelven y por encontrarse cercano al mundo real de la academia, de forma que hemos sentido la necesidad de investigar las visiones del sector universitario sobre la utilización del agua según un modelo de desarrollo sostenible.

Venezuela, es un país que acumula el 80% de su población en un espacio geográfico donde apenas dispone del 20% de los recursos hidráulicos, necesita de sus casi 100 embalses para satisfacer las demandas de agua y requiere del compromiso serio y sostenido de todos los venezolanos para mantener en perfecto estado de funcionamiento todas nuestras presas y embalses.

El caso que ocupa esta investigación trata específicamente de la represa Wará I, la cual fue construida en el río Wará, municipio Gran Sabana del estado Bolívar con

la finalidad de abastecer de agua a los habitantes de la población de Santa Elena de Uairén. Sin embargo, debido a la pérdida masiva de agua que sufrió el embalse debido a las filtraciones de agua presuntamente a través del estribo izquierdo o por socavaciones que se han producido en las interfaces del dique de concreto con los cuerpos téreos adyacentes, se propone en esta investigación estimar las posibles pérdidas que se producen a través del cuerpo térreo que constituye el estribo izquierdo del embalse Wará I-

Para el desarrollo de la investigación se aplicará una metodología de tipo descriptiva aplicando una estrategia o diseño de la investigación de campo y documental. El alcance de la investigación incluirá la estimación del estado actual de las filtraciones, la descripción de los elementos integrantes de la represa: el embalse y sus estructuras de cierre. En ambos casos se describirá la geometría y dimensiones, del estribo izquierdo. Se describirán los características texturales de los suelos presentes en las fundaciones del estribo propiamente dichas y se estimarán los esfuerzos hidráulicos a los que estará sometido el talud aguas arriba del estribo y las filtraciones que se producen a través del cuerpo térreo superior y por sus fundaciones.

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

Sin la presencia de agua la existencia de los seres humanos es imposible, por lo que en todo el planeta, las diversas comunidades humanas, de casi cualquier etnia, han elegido las riberas de los ríos como fuente de agua dulce para su abastecimiento propio, para los cultivos, para saciar la sed de sus animales, como fuente de materia prima como agregado para material de construcción, etc.

Venezuela no es una excepción de esta situación, y a todo lo ancho y largo del país podemos observar muchísimas poblaciones y grupos humanos, de pequeña y gran magnitud, ubicados o arraigados en las riberas de los ríos a lo largo de toda su trayectoria. La ubicación estratégica de estos grupos humanos ha permitido que muchas actividades antrópicas de carácter productivo (agricultura, ganadería, etc.) se desarrollen también en las adyacencias de estas corrientes de agua dulce.

De las 108 presas importantes construidas en Venezuela, aproximadamente una decena de ellas han presentado problemas de pérdida de agua debido a filtraciones a través de los cuerpos térreos de las presas, de sus fundaciones o de los estribos. De hecho se conoce que las estadísticas de fallas de presas a nivel nacional e internacional causadas por filtraciones corresponde a un 29% de la totalidad de las construidas.

El embalse Wará I en el río Wará en el municipio Gran Sabana del estado Bolívar, fue construida hace tres (3) décadas y sirve como vaso de almacenamiento de agua para la población de Santa Elena de Uairén. Sin embargo, el embalse sufrió

la pérdida masiva de agua posiblemente por problemas de filtraciones a través del estribo de tierra izquierdo de la presa.

En vista de esa situación, los administradores del dique decidieron la colocación de sacos de material impermeable llenos de arena arcillosa adosados al talud del estribo izquierdo, sin lograr resultados satisfactorios.

En virtud de ello, se hace necesario estimar las presuntas filtraciones que se producen a través de este cuerpo térreo para determinar las causas verdaderas de la pérdida del vital líquido del embalse.

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

¿Cuáles son las características topográficas del estribo izquierdo del embalse Wará I del río Wará?

¿Cuáles son las características texturales de los suelos de las fundaciones de la pantalla de concreto propuesta y del estribo de concreto propiamente dicho?

¿Cuál es la magnitud de los esfuerzos hidráulicos sobre el talud del estribo izquierdo del embalse?

¿Cuáles son las condiciones de filtraciones actuales a través del estribo izquierdo y de sus fundaciones en el embalse Wará I?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Estimar la magnitud de las filtraciones que se pudieran producir a través del estribo izquierdo de la represa Wará I ubicada en el río Wará, municipio Gran Sabana, estado Bolívar, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Describir las condiciones actuales que presenta el estribo izquierdo del embalse Wará I.
2. Describir las condiciones topográficas del estribo izquierdo de la represa Wará I.
3. Caracterizar texturalmente los materiales que constituyen el estribo izquierdo y las fundaciones del mencionado cuerpo térreo.
4. Determinar los esfuerzos hidráulicos que se producen sobre el talud del estribo izquierdo del embalse Wará I
5. Caracterizar las filtraciones actuales que se producen a través del estribo izquierdo del embalse Wará I.

1.2 Justificación de la investigación

La represa Wará I constituye una importante fuente de agua para el abastecimiento de este preciado líquido a los habitantes de la población de Santa Elena

de Uairén. En virtud de ello, es de vital importancia contar con esta represa en estado operativo.

Sin embargo, debido a los problemas de filtraciones de agua que posiblemente se hayan producido a través del estribo izquierdo del embalse por lo que se ha observado que no cumple con los requerimientos que esperan sus usuarios en cuanto al almacenamiento de agua y su posterior bombeo hasta la población antes citada. En vista de ello, es necesario realizar la presente investigación con la finalidad de estimar las filtraciones que realmente se producen a través del estribo izquierdo del embalse.

1.3 Alcance de la investigación

El desarrollo de la presente investigación ameritará en primer lugar la descripción de la geometría y dimensiones del estribo izquierdo de la represa Wará I.

En segundo lugar, se describirá las evidencias de posibles filtraciones que se producen a través del mencionado cuerpo térreo (estribo izquierdo). También se evaluará las características texturales de los suelos que constituirán la fundación de la pantalla de concreto y del estribo izquierdo del embalse propiamente dicho. Se deberá evaluar el esfuerzo hidráulico que se producirá sobre el talud del estribo izquierdo. Finalmente, se estimará la magnitud de las filtraciones que se producen por el mencionado estribo y por sus fundaciones.

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). Geográficamente, Wará I se encuentra geográficamente ubicado de acuerdo a las coordenadas UTM (REGVEN): N 707664 y E 510982.

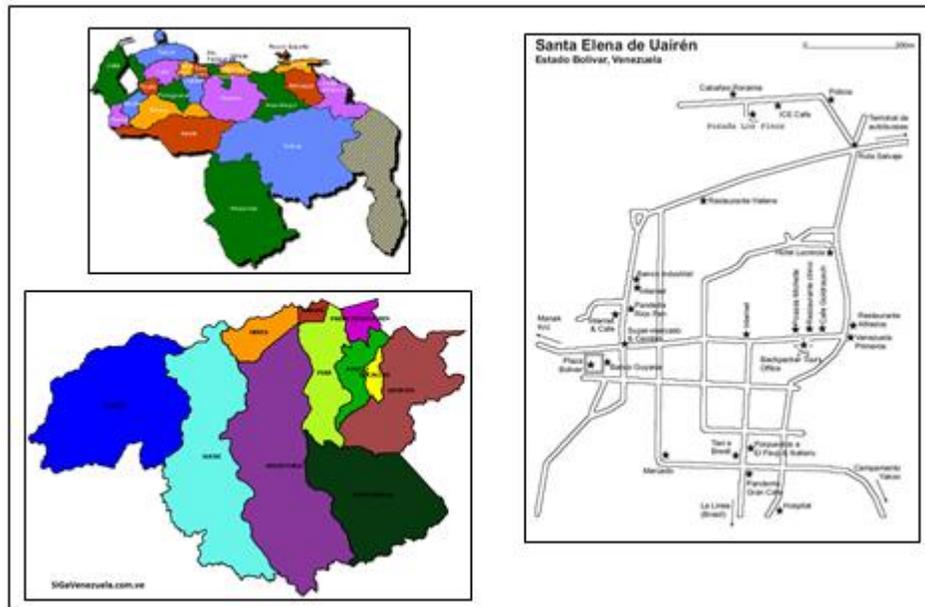


Figura 2.1 Ubicación relativa del área de estudio



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



Figura 2.3 Embalse Wará I(Google Earth, 2016).

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).

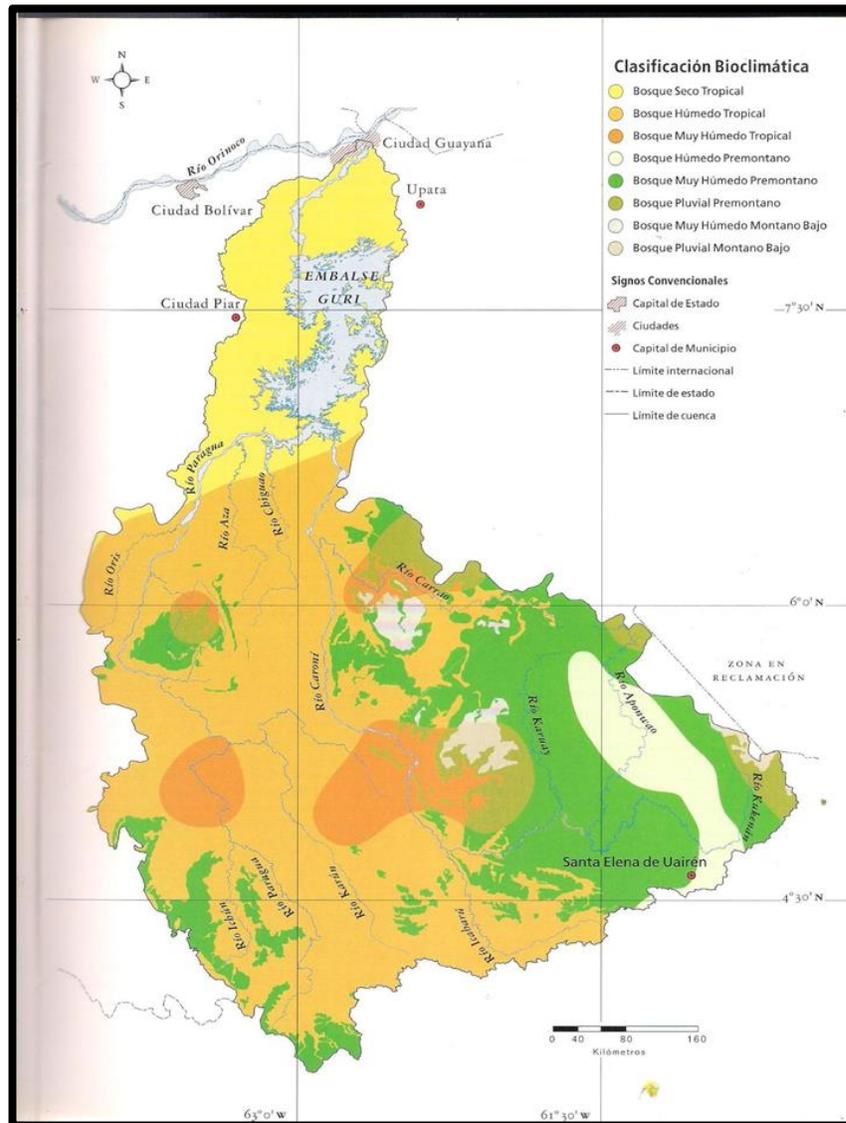


Figura 2.4 Clasificación Bioclimática en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC). (CVG-EDELCA, 2004).

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 2.5:

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

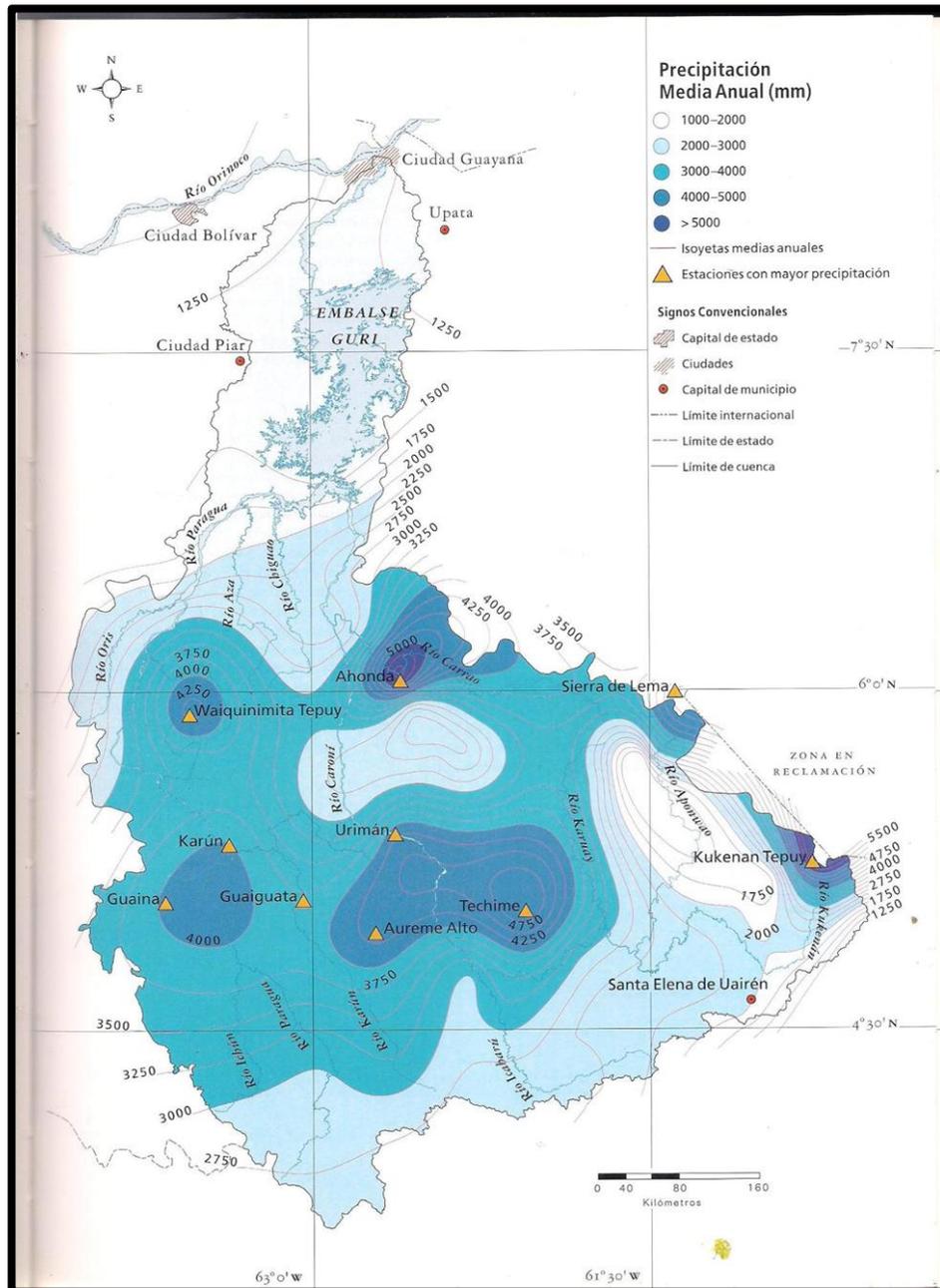


Figura 2.5 Precipitación en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC). (CVG-EDELCA, 2004).

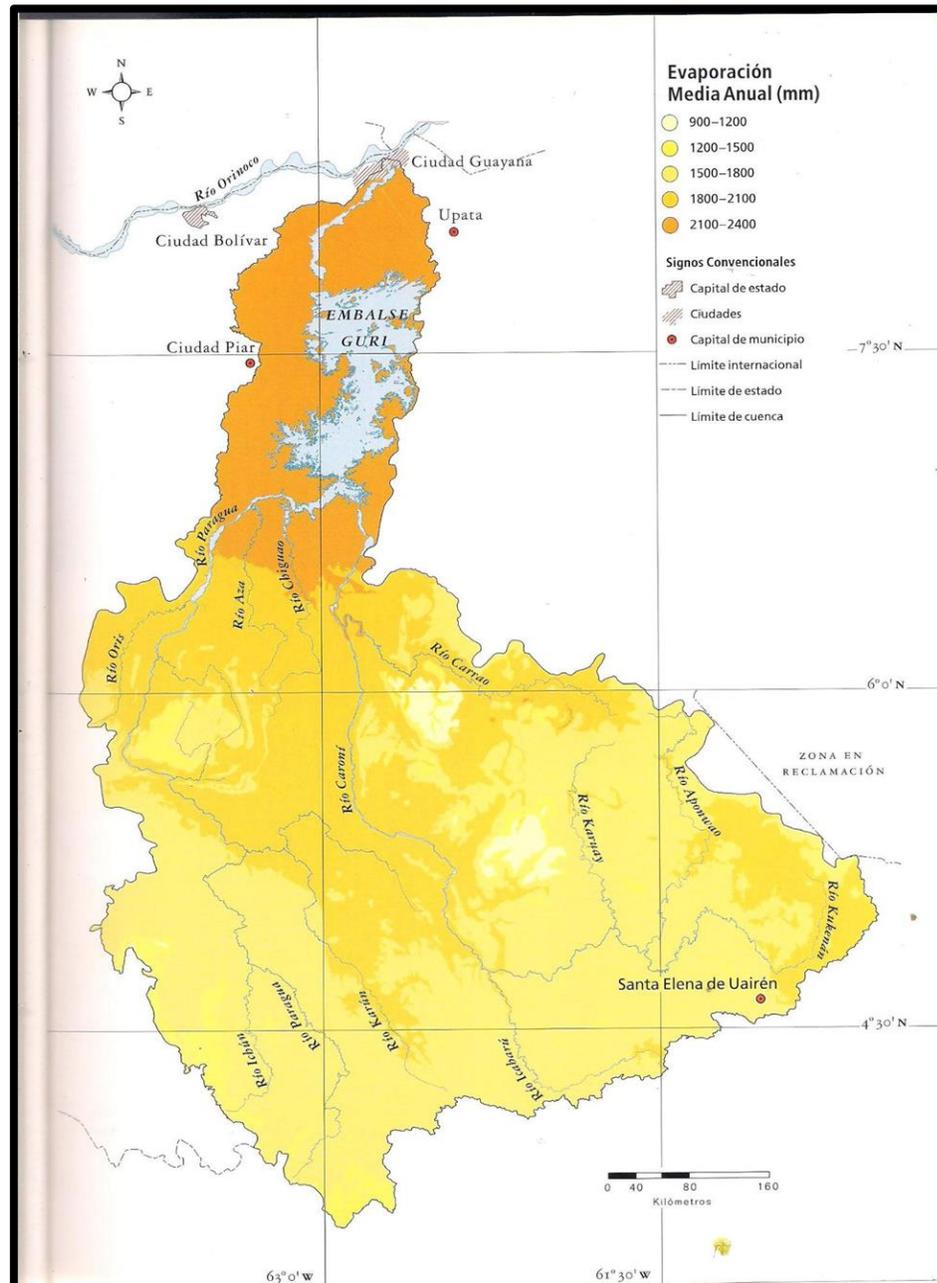


Figura 2.6 Evaporación en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC). (CVG-EDELCA, 2004).

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 2.8).

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 Río Wará aguas abajo del dique Wará I.



Figura 2.8 Vista actual del lecho 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 (Julio, 2018) el cauce del río Wará medía 6.00 m aproximadamente de ancho aguas abajo del dique Wará I.

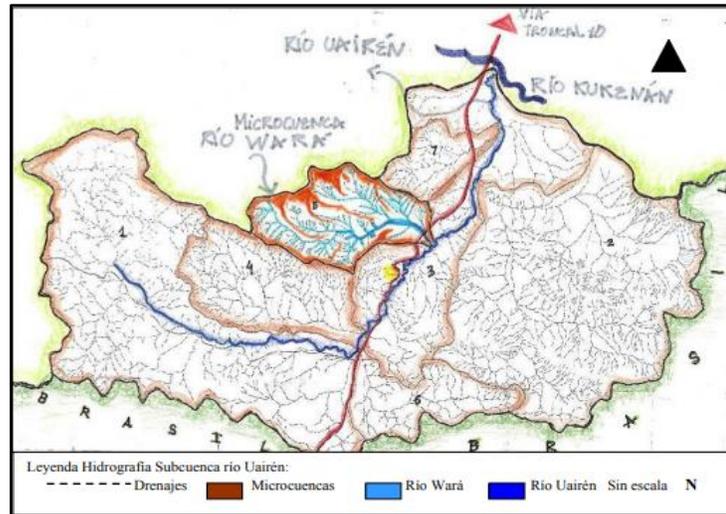


Figura 2.9 Hidrografía de la subcuenca del río Uairén (CVG EDELCA, 1983).

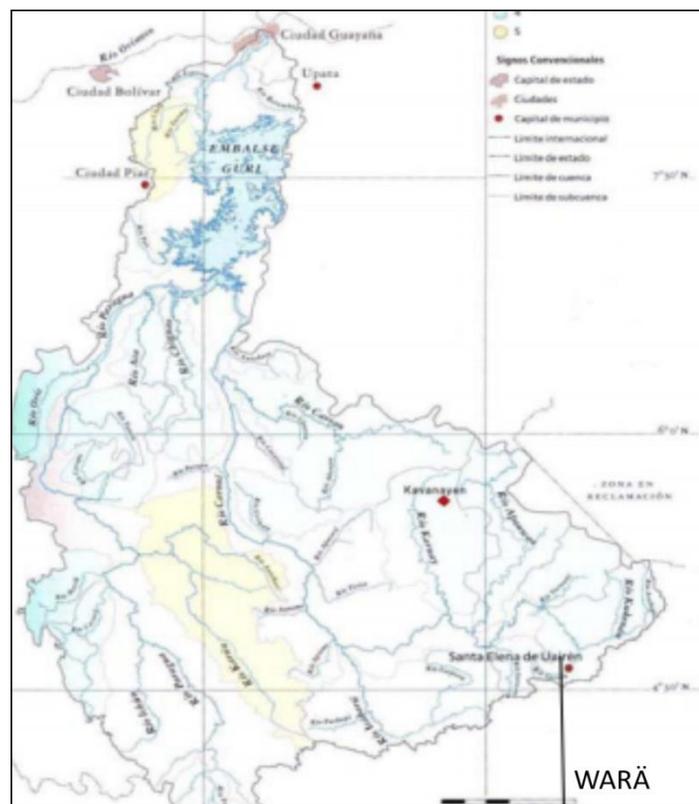


Figura 2.10 Región Hidrológica del río Caroní (CVG EDELCA, 2004).

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).

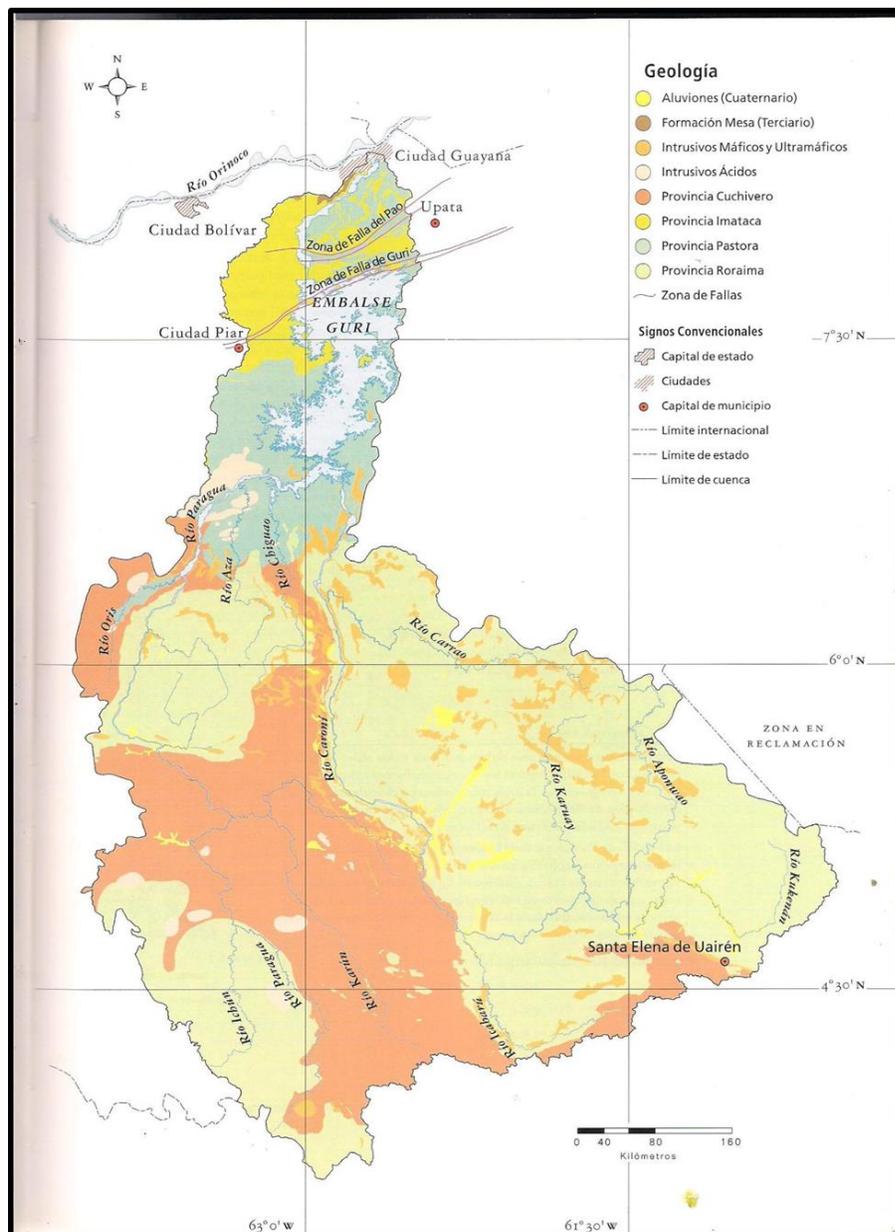


Figura 2.11 Geología de la cuenca del Caroní (CVG EDELCA, 2004).

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).

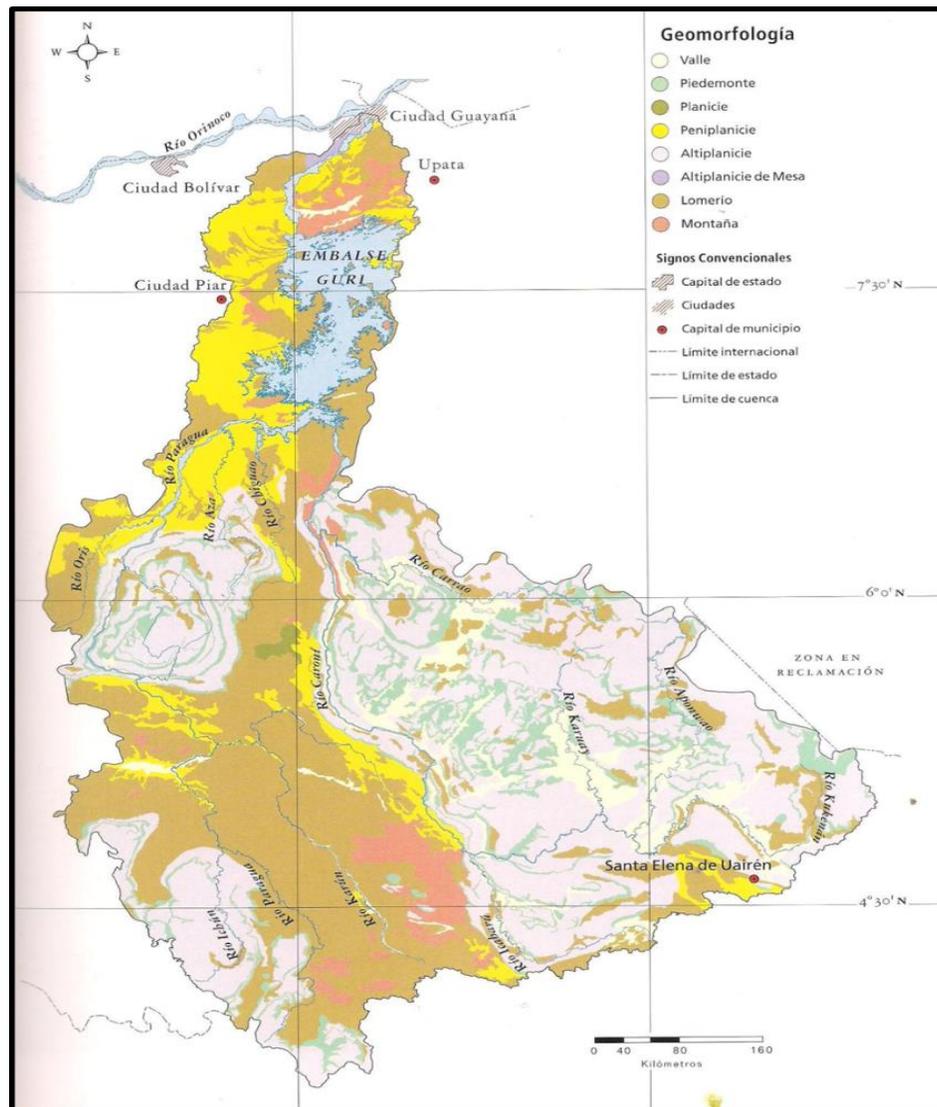


Figura 2.12 Geomorfología de cuenca del río Caroní (CVG EDELCA, 2004).

El valle coluvio-aluvial está conformado por material transportado de origen coluvial y aluvial. Los materiales coluviales se presentan bajo la forma de glaciares 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.

A continuación, en la Figura 2.12 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.

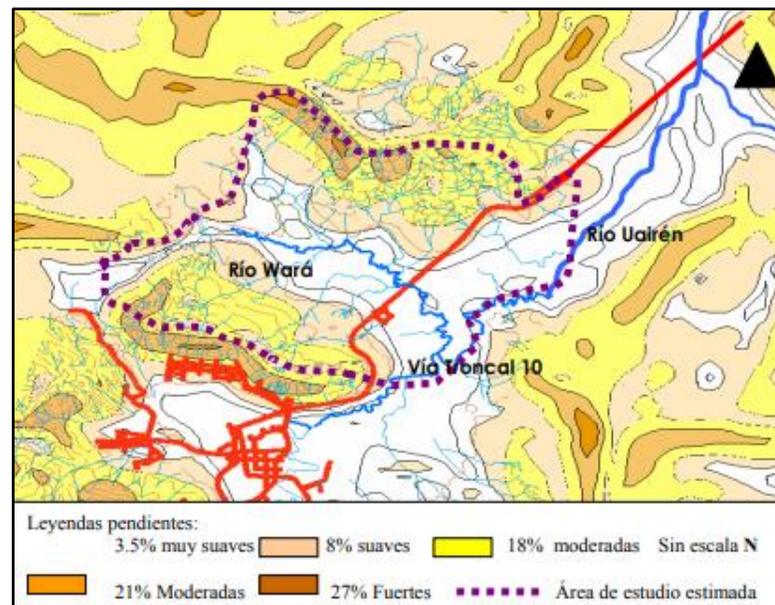


Figura 2.13 Pendientes de Wará (Figuerola, M. 2007).

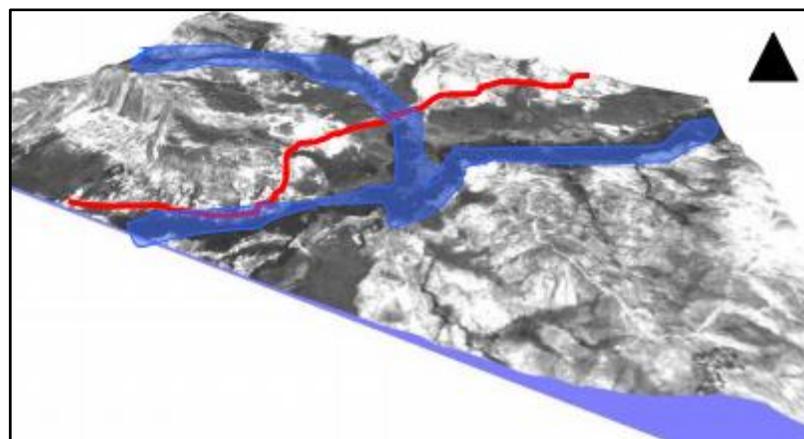


Figura 2.14 Vista 3D, sección topográfica Wará (Figuerola, M. 2007).

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, Utilosoles e Inceptisoles, que responden a la “diversidad existente de materiales litológicos, tipos de relieve, clima y cobertura vegetal” (CVG-EDELCA, 2004, p.85).

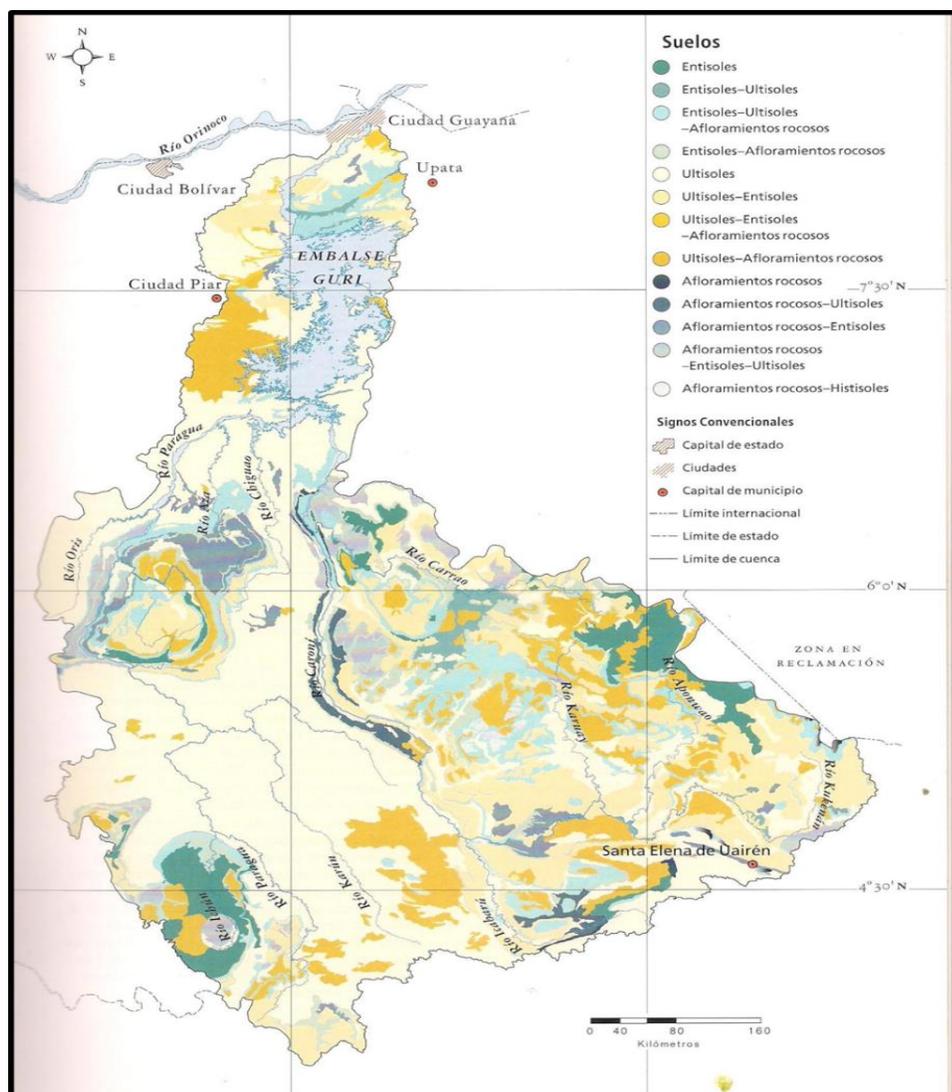


Figura 2.15 Suelos de la cuenca del río Caroní (CVG EDELCA, 2004).

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 2.16).

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 (figura 2.15), 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.



Figura 2.16 Cárcavas a 1 km aguas abajo del dique Wará I.

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 Instituto Autónomo de Minas del estado Bolívar (IAMIB).

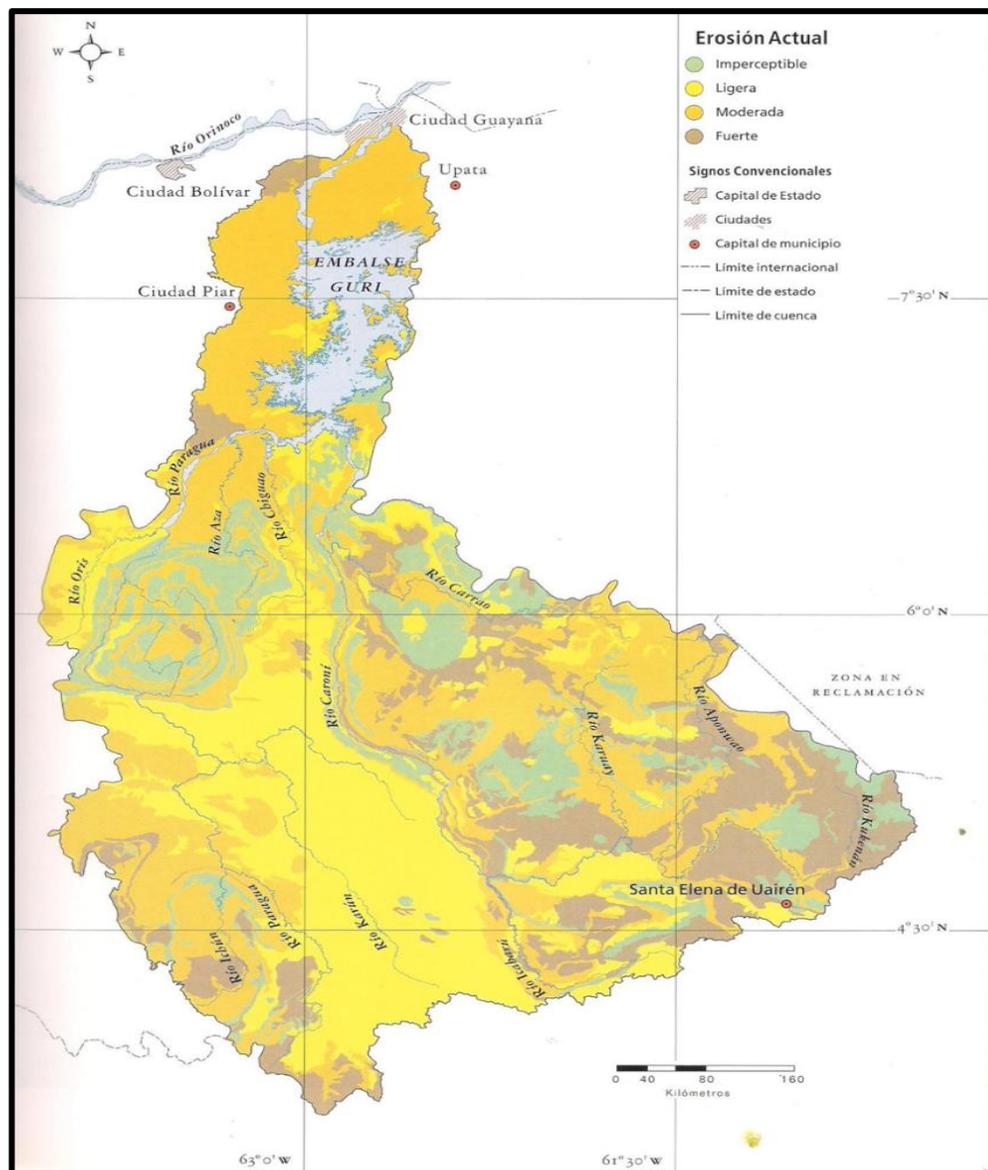


Figura 2.17 Erosión en la cuenca del río Caroní (CVG-EDELCA, 2004).

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 estudio 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 (figura 2.18), 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 2.19 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 cunaguaro, Murciélago Pescador, Vampiro Desmodus, Murciélago Narisón, 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. Cuando los renacuajos maduran son capaces de nadar, se desprenden de la espalda de su padre y se hacen libremente al agua.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes o estudios previos.

Cueche, S. y Pino, C. (2009), desarrollaron el trabajo de investigación como trabajo de grado, titulado **“INCIDENTES EN LAS PRESAS DE VENEZUELA”**. Este trabajo tenía como objetivo general describir los incidentes ocurridos en algunas presas de Venezuela. Entre los objetivos específicos que son relevantes para el estudio que aquí se realizará se puede mencionar que se identificaron las presas venezolanas que han presentado algún tipo de falla antes, durante y/o después de su construcción causando algún tipo de daño. Asimismo, se realizó en ese trabajo de grado una exposición de los factores que ocasionaron las diferentes fallas presentadas en las presas venezolanas. Cabe destacar, que este último objetivo mencionado es de importancia relevante en cuanto a metodología de investigación para aplicarlos en el desarrollo de la investigación diagnóstica de la represa Wará I.

Díaz, M. y Rivas, M. (2009), elaboraron como trabajo de grado, la investigación titulada **“PREDIMENSIONADO Y CALCULO DE ESTABILIDAD EN REPRESAS DE TIERRA”**, cuyo objetivo general era elaborar un procedimiento para el predimensionado y cálculo de la estabilidad en represas de tierra. Se considera relevante, para la investigación diagnóstica de la represa Wará I, el objetivo específico desarrollado sobre el predimensionamiento de la presa para evaluar el caso específico de los estribos de tierra del dique Wará I.

Asimismo, será un valioso aporte complementario, la revisión de los criterios de estabilidad del cuerpo térrico del estribo de la presa Wará I.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Presas y embalses

Según Bolinaga, J. (2002). las presas constituyen un elemento decisivo y esencial en las infraestructuras, deben responder a criterios específicos en los planos técnico y administrativo y de esta forma asegurar seguridad, eficacia y economía en su operación.

El proyecto, la construcción y el funcionamiento de todas las presas deben estar de acuerdo con las especificaciones técnicas y administrativas:

3.2.1.1 Especificaciones técnicas de una presa

a. La presa, las cimentaciones y los apoyos deben ser estables, sea cual sea la carga (sea cual sea el nivel del embalse y también en caso de temblores de tierra).

b. La presa y las cimentaciones deben ser suficientemente estancas y será necesario tener los medios para controlar las fugas para asegurar el funcionamiento con plena seguridad y mantener la capacidad de embalse.

c. La presa debe ser lo suficientemente alta como para impedir que las olas pasen por encima de la coronación y, en el caso de una presa de materiales sueltos, debe haber un resguardo suplementario para que tenga en cuenta los asentamientos de la presa y su cimiento.

d. La presa debe tener una capacidad suficiente de aliviadero y de desagüe para impedir cualquier desbordamiento del embalse en caso de avenidas extremas.

3.2.1.2 Especificaciones administrativas de una presa

- a. Una instrucción para su funcionamiento es su mantenimiento.
- b. Instrumentos de medida adaptados para conocer su comportamiento.
- c. Un plan de acción en caso de urgencia.
- d. La valoración del medio ambiente natural.
- e. Inspecciones periódicas, así como una revisión global que permita evaluar
- f. la presa y realizar modificaciones en casos necesarios.
- g. Todos los documentos (planos, notas de cálculo...) del proyecto y de la construcción y todos los informes sobre la obra (Bolinaga, 2002)..

3.2.1.3 Objetivos de una presa

Como es el caso para todas las grandes obras públicas o privadas, las presas se construyen para responder a objetivos bien precisos. En el pasado, las presas se construían con el único fin de suministrar agua o de regar las tierras. El desarrollo de las civilizaciones ha conllevado el aumento de necesidades para el suministro de agua, regadío, control de avenidas, navegación, calidad del agua, control de sedimentos y energía hidroeléctrica. A veces un objetivo turístico es un beneficio añadido para la población. Una presa está en el corazón del desarrollo y de la gestión del incremento de las reservas de agua de una cuenca hidrográfica. Una presa con fines múltiples es

un proyecto capital para los países en desarrollo, puesto que su sola inversión origina beneficios para la vida cotidiana y económica de las poblaciones (Bolinaga, 2002).

3.2.2 Tipos de represa

Los diferentes tipos de presas que existen responden a las diversas posibilidades de cumplir la doble exigencia de resistir el empuje del agua y evacuarla cuando sea preciso. En cada caso, las características del terreno y los usos que se le quiera dar al agua, condicionan la elección del tipo de presa más adecuado.

Existen numerosos tipos, comenzando con que puede hablarse de presas fijas o móviles, pero primero debemos clasificarlas en dos grandes grupos según su estructura y según los materiales empleados en su construcción. También hay presas hinchables, basculantes y pivotantes pero son de mucha menor entidad o han caído en desuso, por lo que no se consideran aquí (Bolinaga, 2002).

3.2.2.1 Según su estructura

❖ Presas de Gravedad

Son todas aquellas en las que su propio peso es el encargado de resistir el empuje del agua. El empuje del embalse es transmitido hacia el suelo, por lo que éste debe ser muy estable capaz de resistir, el peso de la presa y del embalse. Constituyen las represas de mayor durabilidad y que menor mantenimiento requieren.

Su estructura recuerda a la de un triángulo isósceles ya que su base es ancha y se va estrechando a medida que se asciende hacia la parte superior aunque en muchos casos el lado que da al embalse es casi de posición vertical.

La razón por la que existe una diferencia notable en el grosor del muro a medida que aumenta la altura de la presa se debe a que la presión en el fondo del embalse es mayor que en la superficie, de esta forma, el muro tendrá que soportar más fuerza en el lecho del cauce que en la superficie. La inclinación sobre la cara aguas arriba hace que el peso del agua sobre la presa incremente su estabilidad. .

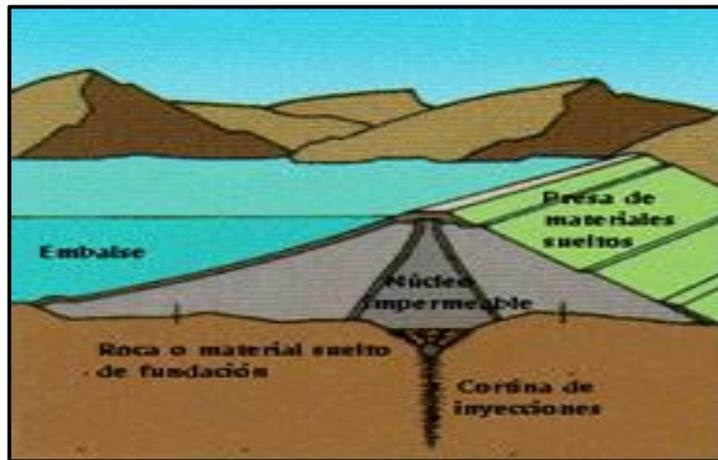


Figura 3.1. Presa de tipo gravedad. (Wikipedia, 2012).

❖ Presas de bóveda o arco

Son todas aquellas en las que su propia forma es la encargada de resistir el empuje del agua. Debido a que la presión se transfiere en forma muy concentrada hacia las laderas de la cerrada, se requiere que ésta sea de roca muy dura y resistente. Constituyen las represas más innovadoras en cuanto al diseño y que menor cantidad de hormigón se necesita para su construcción.

Cuando la presa tiene curvatura en el plano vertical y en el plano 15 horizontal, también se denomina de bóveda. Para lograr sus complejas formas se construyen con hormigón y requieren gran habilidad y experiencia de sus constructores que deben recurrir a sistemas constructivos poco comunes.

Debido a que transfieren en forma muy concentrada la presión del agua al terreno natural, se requiere que éste sea de roca muy sana y resistente, la que debe también ser muy bien tratada antes de asentar en ella la represa.



Figura 3.2: Presa en Arco. (wikipedia, 2012)

3.2.2.2 Según su material

❖ Presas de hormigón:

Son las más utilizadas en los países desarrollados ya que con éste material se pueden elaborar construcciones más estables y duraderas. Normalmente, todas las presas de tipo gravedad, arco y contrafuerte están hechas de este material. Algunas presas pequeñas y las más antiguas son de ladrillo, de sillería y de mampostería.

En España, el 67% de las presas son de gravedad y están hechas con hormigón ya sea con o sin armaduras 16 de acero. Las represas de gravedad de hormigón, se compone de cemento, piedras, gravas y arenas, en proporciones variables según el tipo de estructura y las partes de las mismas que se trate.

La particularidad de este material, que le permite adoptar complejas formas una vez fraguado, da la posibilidad de optimizar la forma y, por lo tanto disponer el peso de una manera tal que sea mayor la capacidad de la represa en su conjunto para resistir el empuje (Bolinaga, 2002)..

❖ **Presas de materiales sueltos:**

Son las más utilizadas en los países subdesarrollados ya que son menos costosas y suponen el 77% de las que podemos encontrar en todo el planeta. Son aquellas que consisten en un relleno de tierras, que aportan la resistencia necesaria para contrarrestar el empuje de las aguas.

Los materiales más utilizados en su construcción son piedras, gravas, arenas, limos y arcillas aunque dentro de todos estos los que más destacan son las piedras y las gravas. Este tipo de presas tienen componentes muy permeables, por lo que es necesario añadirles un elemento impermeabilizante.

Este elemento puede ser arcilla (en cuyo caso siempre se ubica en el corazón del relleno) o bien una pantalla de hormigón, la cual se puede construir también en el centro del relleno o bien aguas arriba. Las represas de materiales sueltos no soportan ser sobrepasadas por una crecida.

Por ello es necesario, basándose en el conocimiento del comportamiento histórico del río, efectuar una predicción de la forma en que se deberá operar el embalse formado, para evitar que en toda la vida de la obra sea sobrepasada por ninguna crecida, ya que corren el riesgo de desmoronarse y arruinarse.

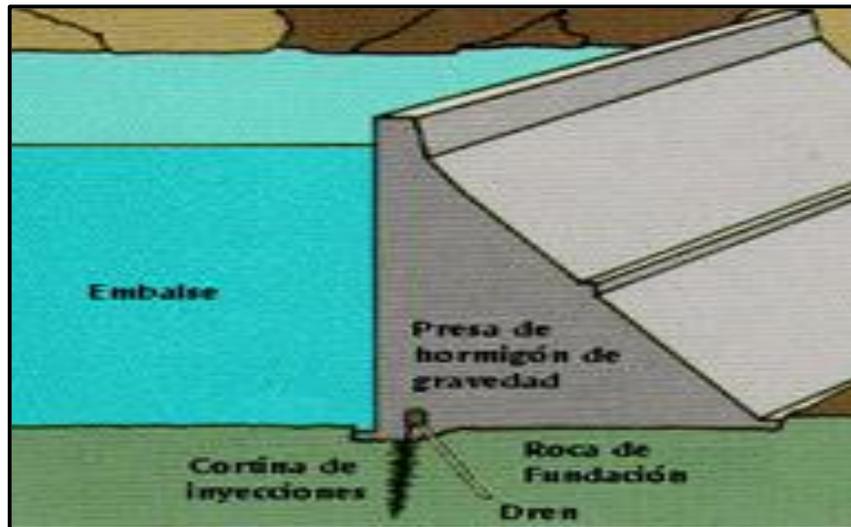


Figura 3.3: Presa de materiales sueltos. (wikipedia, 2012).

3.2.2.3 Según su aplicación

❖ **Presas filtrantes o diques de retención:** son aquellas que tienen la función de retener sólidos, desde material fino, hasta rocas de gran tamaño, transportadas por torrentes en áreas montañosas, permitiendo sin embargo el paso del agua (Bolinaga, 2002)..

❖ **Presas de control de avenidas:** son aquellas cuya finalidad es la de laminar el caudal de las avenidas torrenciales, con el fin de que no se cause daño a los terrenos situados aguas abajo de la presa en casos de fuerte tormenta (Bolinaga, 2002).

❖ **Presas de derivación:** El objetivo principal de estas es elevar la cota del agua para hacer factible su derivación, controlando la sedimentación del cauce de forma que no se obstruyan las bocatomas de derivación. Este tipo de presas son, en general, de poca altura ya que el almacenamiento del agua es un objetivo secundario.

En geología una Falla es una discontinuidad que se forma en las rocas de la corteza terrestre. En nuestro caso cuando se habla de falla de una presa se refiere a una rotura de la obra, con consecuencias graves para la población y la infraestructura que se encuentre aguas debajo de la misma.

Una falla es diferente de un incidente, pero a su vez un incidente no significa que la presa falle, aunque en algunos casos extremos eso ha llegado a ocurrir. La construcción de una represa es un mega proyecto que posee un gran espectro por lo tanto es necesario trabajar como sumo cuidado ya que los diferentes desastres pueden llegar a ocasionar grandes daños arrastrando todo a su paso. Existen muchas infraestructuras hidráulicas, desde la antigüedad hasta nuestros días, haremos énfasis en algunas a nivel mundial que se ha visto afectada por algún tipo de incidente, causando a su vez la falla de la obra.

3.2.3 Hidrología fluvial

En los sistemas o medios fluviales existe un conjunto de canales de drenaje organizado de manera coherente y convergente llamados cuencas hidrográficas, las cuales se entrelazan por una red de cauces o canales que convergen con respuesta hidrológica hacia el mar, como punto geográfico del sistema y muchas veces formando un sistema ramificado dendrítico. Todo el sistema ramificado de drenaje convergerá en un solo canal principal activo, el cual tendrá una respuesta hidrológica al llegar al océano, descargando en la boca de desembocadura, el volumen del agua y la carga de sedimentos no depositados en la cuenca hidrológica, lo cuales han viajado por saltación o suspensión (Miall, A., 1981).

El volumen de material transportado, sometido a cualquiera de los mecanismos de transporte pero siempre en contacto con el fondo del río, es que se llama carga de

fondo donde una corriente de agua fluyendo sobre una capa de arena, limo y arcilla puede transportar partículas por dos vías: tal como la carga o peso de sedimentos.

El material es rodado y movido a lo largo de la parte más baja; o la carga suspendida, donde el volumen del material restante, el cual está constituido por las partículas finas que son transportadas sin tener contacto con el fondo del canal (en suspensión) y se le denomina carga en suspensión (Figura 3.1).

Estos dos parámetros mencionados son los que definen la configuración geométrica del canal y el tipo de depósito allí presente (Hjulstrom, F., 1935).

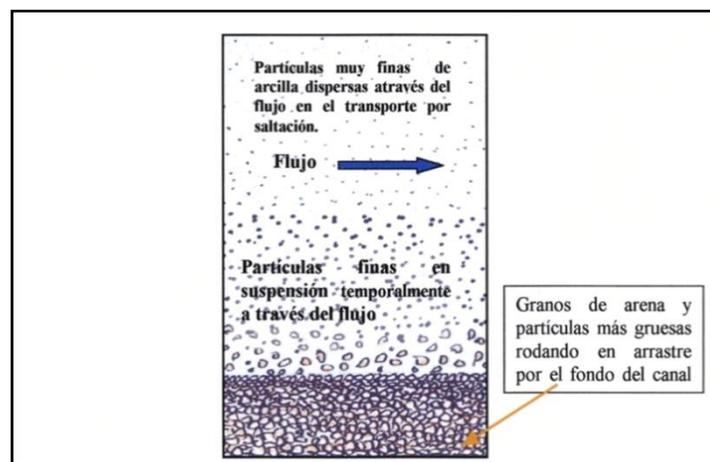


Figura 3.4 Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte (Modificado de Hjulstrom, F., 1935).

3.2.4 Análisis granulométrico por el método del tamizado

El análisis de granulometría se utilizó para determinar la variación del tamaño de los granos de los sedimentos.

Los resultados del mismo servirán para determinar la competencia y eficiencia del agente de transporte, así como también en caso de ser este último el agua, la mayor o menor proximidad de la roca generadora (Pettijohn F, 1970).

En el análisis de granulometría consiste en separar y clasificar a través de un juego de tamices, para lograr separar en forma cuantitativa las proporciones en peso de las partículas de diferentes tamaños que existen en cada muestra. La tabla de clasificación según el tamaño de las partículas de Wentworth (Tabla 3.1), es la más comúnmente usada para el análisis de sedimentos (Pettijohn, 1949).

Tabla 3.1 Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth (Pettijohn, 1949).

	CLASTO	SEDIMENTO	mm	SEDIMENTITA ó ROCA SEDIMENTARIA
PSEFITA	Bloque	Aglomerado <i>Aglomerado (Grava de bloques)</i>		Aglomerado <i>Aglomerado (Conglomerado de bloques)</i>
	Guijón	Grava	256	Conglomerado o brecha
	Guijarro		128	
	Guija		64	
			32	
			16	
			8	
			4	
			2	
PSAMITA	Grano	Arena	1	Arenisca
			0,5	
			0,25	
			0,125	
			0,062	
PELITA	Particula	Limo	0,031	Limolita
			0,016	
			0,008	
			0,004	
			0,002	
		Arcilla	0,001	Arcilita
			0,0006	

3.2.5 Embalse

Se denomina embalse a la acumulación de agua producida por una construcción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce. La construcción del embalse puede ocurrir por causas naturales como, por ejemplo, el derrumbe de una

ladera en un tramo estrecho del río o arroyo, la acumulación de placas de hielo o las construcciones hechas por los castores, y por obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas.

3.2.6 Embalses artificiales

Los embalses generados al construir una presa pueden tener la finalidad de:

- a. regular el caudal de un río o arroyo, almacenando el agua de los períodos húmedos para utilizarlos durante los períodos más secos para el riego, para el abastecimiento de agua potable, para la generación de energía eléctrica, para permitir la navegación o para diluir poluentes. Cuando un embalse tiene más de un fin, se le llama de usos múltiples;
- b. contener los caudales extremos de las avenidas o crecidas. Laminación de avenidas;
- c. crear una diferencia de nivel para generar energía eléctrica, mediante una central hidroeléctrica;
- d. crear espacios para esparcimiento y deportes acuáticos (Bolinaga, 2002)..

3.2 7 Características de los embalses

Las características físicas principales de un embalse son las curvas cota-volumen, la curva cota-superficie inundada y el caudal regularizado.

Dependiendo de las características del valle, si este es amplio y abierto, las áreas inundables pueden ocupar zonas densamente pobladas, o áreas fértiles para la agricultura. En estos casos, antes de construir la presa debe evaluarse muy objetivamente las ventajas e inconvenientes, mediante un Estudio de impacto ambiental, cosa que no siempre se ha hecho en el pasado.

En otros casos, especialmente en zonas altas y abruptas, el embalse ocupa tierras deshabitadas, en cuyo caso los impactos ambientales son limitados o inexistentes.

El caudal regularizado es quizás la característica más importante de los embalses destinados, justamente, a regularizar, a lo largo del día, del año o periodos plurianuales o quizás pasen siglos antes de que este sea deshabilitado por la mano humana, el caudal que puede ser retirado en forma continua para el uso para el cual se ha construido el embalse (Bolinaga, 2002)..

3.2.7.1 Niveles característicos de agua de los embalses



Figura 3.5 Medición del nivel del embalse

Según Bolinaga, J. (2012), el nivel del agua en un embalse es siempre mayor que el nivel original del río. Desde el punto de vista de la operación de los embalses, se definen una serie de niveles. Los principales son (en orden creciente):

❖ **Nivel mínimo minimorum:** es el nivel mínimo que puede alcanzar el embalse; coincide con el nivel mínimo de la toma situada en la menor cota.

❖ **Nivel mínimo operacional:** es el nivel por debajo del cual las estructuras asociadas al embalse y la presa no operan u operan en forma inadecuada.

❖ **Nivel medio.** Es el nivel que tiene el 50 % de permanencia en el lapso del ciclo de compensación del embalse, que puede ser de un día, para los pequeños embalses, hasta períodos plurianuales para los grandes embalses. El período más frecuente es de un año.

❖ **Nivel máximo operacional:** al llegarse a este nivel se comienza a verter agua con el objetivo de mantener el nivel pero sin causar daños aguas abajo.

❖ **Nivel del vertedero.** si la presa dispone de un solo [vertedero](#) libre, el nivel de la solera coincide con el nivel máximo operacional. Si el vertedero está equipado con compuertas, el nivel de la solera es inferior al máximo operacional.

❖ **Nivel máximo normal:** al llegarse a este nivel la operación cambia de objetivo y la prioridad es garantizar la seguridad de la presa. En esta fase pueden ocurrir daños aguas abajo; sin embargo, se intentará minimizar los mismos.

❖ **Nivel máximo maximorum:** en este nivel ya la prioridad absoluta es la seguridad de la presa, dado que una ruptura sería catastrófica aguas abajo.

Se mantiene el nivel a toda costa; el caudal descargado es igual al caudal que entra en el embalse.

3.2.7.2 Volúmenes característicos de un embalse

Los volúmenes característicos de los embalses están asociados a los niveles; de esta forma se tiene:

❖ **Volumen muerto**, definido como el volumen almacenado hasta alcanzar el nivel mínimo minimorum.

❖ **Volumen útil**, el comprendido entre el nivel mínimo minimorum y el nivel máximo operacional.

❖ **Volumen de laminación**, es el volumen comprendido entre el nivel máximo operacional y el nivel máximo normal. Este volumen, como su nombre indica, se utiliza para reducir el caudal vertido en las avenidas, para limitar los daños aguas abajo (Bolinaga, 2002)..

3.2.7.3 Caudales característicos de un embalse

❖ **Caudal firme**: es el caudal máximo que se puede retirar del embalse en un período crítico. Si el embalse ha sido dimensionado para compensar los caudales a lo largo de un año hidrológico, generalmente se considera como período crítico al año hidrológico en el cual se ha registrado el volumen aportado mínimo. Sin embargo, existen otras definiciones para el período crítico también aceptadas, como, por ejemplo, el volumen anual de aporte hídrico superado en el 75 % de los años, que es una condición menos crítica que la anterior.

❖ **Caudal regularizado**. es el caudal que se puede retirar del embalse durante todo el año hidrológico, asociado a una probabilidad.

3.2.7.4 Vida útil del embalse

La vida útil del embalse, para efectos de las evaluaciones económicas, del mismo se estiman entre 30 y 50 años, sin embargo, los embalses potencialmente pueden tener

una vida útil mucho más larga. Los factores que pueden influir en la vida útil del embalse se pueden mencionar:

- a. Problemas de degradación de la represa;
- b. Sedimentación del embalse, con su consecuente disminución del volumen útil del mismo.

La combinación de suelos empinados, lluvias intensas, el tipo de suelo y el uso que se le da a los mismos hacen que las tasas de erosión y sedimentación sean muy altas en los lugares donde se sitúan los embalses. El alto acarreo de sedimentos de algunos cursos de agua y el desarrollo desmedido en las áreas cercanas a los embalses, así como la falta de control preventivo de la erosión aceleran el proceso de sedimentación de los embalses. En cuencas con embalses, los ríos y quebradas transportan los sedimentos erosionados hacia los embalses donde son "atrapados".

La forma más precisa para medir sedimentación en los embalses es mediante estudios de batimetría. Se toman elevaciones del fondo del embalse para generar la topografía del fondo del mismo. De esta manera se determina el volumen disponible del embalse y se compara con el volumen de diseño del mismo. Con la información levantada de los estudios de batimetría se determina la capacidad existente del embalse y la tasa de pérdida de capacidad anual basada en una carga específica de sedimentos.

Existen una variedad de alternativas para el manejo de sedimentación en embalses. En un embalse se puede utilizar más de una técnica y diferentes técnicas pueden ser más apropiadas en diferentes momentos a lo largo de la vida del embalse. Las estrategias de manejo se pueden catalogar en cuatro temas básicos: (1) reducir el aporte de sedimentos hacia el embalse, (2) manejo hidráulico del embalse para minimizar el depósito de sedimentos, (3) remover los sedimentos una vez depositados,

y (4) manejar las consecuencias sin manejar el proceso de sedimentación como tal. (Bolinaga, 2002). A continuación un resumen de estrategias para el manejo de sedimentos:

❖ **Reducir el aporte de sedimentos.** esto se puede lograr mediante trampas de sedimento, las que pueden ser tanto estructurales como no estructurales, dentro o fuera del río.

Otra manera para reducir el aporte de sedimento es mediante controles de erosión superficial de los suelos, propiciando la formación de una protección vegetal de los mismos.

❖ **Minimizar el asentamiento de sedimentos.** esta estrategia se fundamenta en el desvío de sedimentos. Esto se puede lograr mediante el desvío de corrientes de agua turbia o el desvío de crecidas, entre otras.

Una estrategia para el desvío de sedimentos que se ha implantado en algunos países, es la construcción de embalses fuera del cauce.

❖ **Recuperar el volumen de almacenamiento.** una manera de lograr esto es mediante excavación, ya sea hidráulica o mecánica. Otra manera es mediante la redistribución de sedimentos, por ejemplo depositandolos en el volumen muerto.

Esta última se puede lograr también con modificaciones estructurales o subiendo el nivel operacional.

3.2.8 Causas de las filtraciones en embalses

3.2.8.1 Tubificación

La tubificación puede erosionar tanto los terraplenes de las presas como los sitios de paso de las estructuras de hormigón, socavando los terraplenes o sus fundaciones, y tanto desde aguas abajo hacia aguas arriba como a la inversa.

Un flujo de agua surge por una diferencia de energía (dada por la carga o diferencia en el nivel de agua) entre dos puntos. Gradiente hidráulico es la diferencia de carga de agua entre dos puntos, dividida por la distancia (trayectoria) entre los mismos ($i = h / L$). El flujo ejerce en un nivel dado de una masa del suelo además de la presión hidrostática, otra ($= h * g_{\text{agua}}$, Figura 1) que se debe exclusivamente a la carga hidráulica.

Esta es la presión de filtración:

$$p_f = h * g_{\text{agua}} = i * L * g_{\text{agua}} \quad (3.1)$$

El flujo tiende a ejercer presión sobre las partículas del suelo, y la fuerza de filtración actuante, definida por unidad de volumen, puede arrastrarlas en el sentido de la corriente. Las fuerzas que se oponen al arrastre del flujo es la trabazón entre las partículas (estructura) y su cohesión, pero al emerger aguas abajo de la presa, es el peso sumergido del suelo la principal fuerza en sentido opuesto, al menos en suelos sin cohesión. Una presa es, en cierta forma, un impedimento interpuesto en la corriente para que el agua pase por debajo de ella. La energía debe disiparse lo suficiente por fricción y otras pérdidas a través de esa trayectoria, de forma de que salga (aguas abajo de la presa) sin provocar erosión (tubificación y sufusión) que ponga en riesgo la estructura.

El sentido de la fuerza de filtración sigue el de las líneas de flujo, y en su origen, cuando el agua penetra en el suelo tiene el mismo que el del peso de las partículas,

pero la erosión se ve impedida por la masa del suelo. En cambio, al emerger aguas abajo, tienen sentidos opuestos, y allí no existe masa alguna que se oponga a la erosión.

Cuando el área de la sección transversal está restringida, como debajo de los tablestacados, la velocidad, la fuerza de filtración y el gradiente aumentan. Se llama gradiente hidráulico crítico al que resulta del perfecto equilibrio entre estas fuerzas, considerando el peso sumergido del suelo. El gradiente crítico es aproximadamente igual a 1, puesto que el peso saturado de los suelos es aprox. el doble del peso específico del agua (sumergido saturado agua $\gamma = \gamma_s - \gamma_w$).

3.2.8.2 Dispersión

Se denomina así al proceso por el cual las partículas de arcilla de muy pequeñas dimensiones, ven disminuidas sus fuerzas de atracción molecular por efecto de la presencia de iones de sodio, lo que las vuelve susceptibles al arrastre o dilución. Los cationes Na^+ aumentan el espesor de la doble capa y las fuerzas eléctricas de repulsión, siendo superiores a las de atracción de Van der Waals. El proceso degrada los suelos con alto contenido de sodio debido al arrastre (dispersión o defloculación) de coloides. Determinadas condiciones como flujos de agua pura (agua de lluvia), con bajos contenidos de sales, activan y aceleran el proceso, incluso con cargas nulas o muy pequeñas de agua.

3.2.8.3 Tubificación por levantamiento

En los primeros estudios se analizaron “reventones” donde la arena entraría en “ebullición”, provocando el colapso de la obra si el peso del suelo resultaba insuficiente para contener el movimiento ascendente del suelo bajo el efecto de la fuerza de filtración, en el momento de alcanzarse un determinado gradiente, denominado “crítico”.

Terzagui (Terzagui-Peck 1973) recomendó la construcción de un “filtro invertido cargado” (materiales gruesos arriba), de tal forma que su peso, colocado en la zona donde emergen las líneas de corriente en forma concentrada (inmediatas al tablestacado), evite el sifonamiento, incrementando el factor de seguridad.

3.2.8.4 Tubificación retrógrada

La tubificación retrógrada se puede producir en prácticamente todos los suelos (en los no cohesivos si algún estrato o estructura impide el desmoronamiento del túnel), desde aguas abajo hacia aguas arriba, siguiendo preferentemente el camino de concentración de las líneas de filtración.

El conducto se forma por las zonas geológicamente más débiles, por planos de estratificación permeables, o en cualquier otras zonas de concentración del flujo donde la energía llega sin sufrir grandes pérdidas debidas a la fricción (figura 3.6).

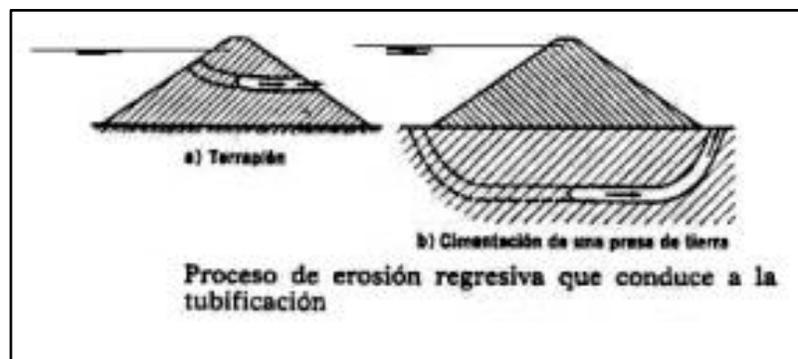


Figura 3.6 Tubificación retrógrada

3.2.8.5 Fractura hidráulica

Consiste en la brusca irrupción del agua a través de las grietas de los terraplenes, bajo los efectos de la carga hidráulica, ejerciendo subpresiones (fuerzas dirigidas de abajo hacia arriba) y presiones en todas direcciones, principalmente durante el primer llenado del embalse o al producirse alguna variación brusca de su nivel, (Jiménez S. Justo A. 1975). (figura 3.7)

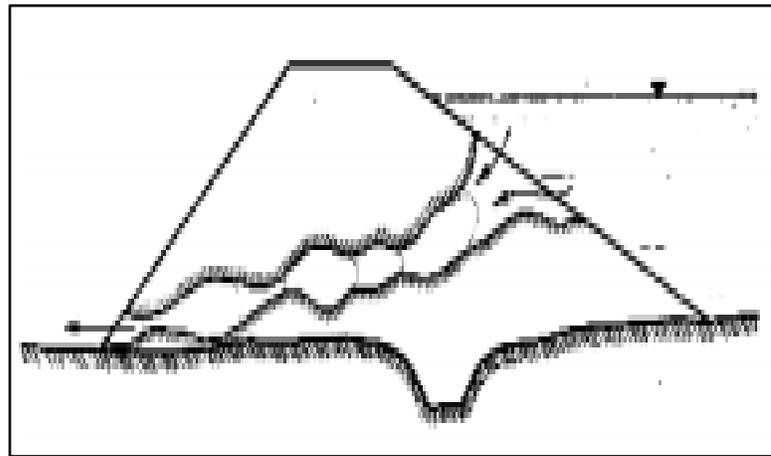


Figura 3.7 Fractura hidráulica

A las contracciones y secado como el origen de fisuras pueden agregarse diferencias en compactación producidas por el paso de los rodillos. Estas grietas internas pueden estar cerradas, pero, cuando el nivel del reservorio alcanza algunos metros (2 a 3) sobre ellas, la presión hidrostática puede ser superior a la presión total. El agua ejerce presión sobre la fisura abriéndola progresivamente.

3.2.8.6 Posibilidad de tubificaciones dispersivas en los cimientos

En general las tubificaciones (debidas a suelos dispersivos) se presentan en el cuerpo de la presa: en sus paramentos, en contactos con la fundación o con los conductos. Hay muy pocos casos por debajo de sus cimientos. Aún el mismo peso de la presa puede cerrar las incipientes. Al parecer las aguas subterráneas con altos contenidos de sales impiden el lavado de los iones sodio en las arcillas dispersivas, y

el reemplazo gradual por aguas más limpias procedentes del reservorio permite que los suelos disminuyan su contenido de sodio en el agua de poro

3.2.8.7 Medidas de prevención contra la tubificación

Las tubificaciones pueden prevenirse mediante los criterios adecuados de diseño, tanto en suelos granulares como en cohesivos. ·

a. La red de flujo proporciona un medio teórico de interpretar las subpresiones, las fuerzas de filtración (gradiente) y los caudales pasantes. La seguridad de la presa depende de que los valores obtenidos estén dentro de rangos seguros. De no poder determinarse, se deberán adoptar criterios conservadores (como el de Lane), y calcular los valores mediante fórmulas aproximadas. ·

b. El criterio de confiar y considerar al filtro de aguas abajo como la principal línea de seguridad de la presa parece más razonable que el antiguo de múltiples líneas de defensa. Exige un diseño cuidadoso de todos los filtros y drenes de la presa, incluyendo el dren chimenea. ·

c. Los suelos dispersivos pueden utilizarse cuando no existan otros disponibles, con adecuadas medidas de control, que impidan o aseguren el autosellado de las fisuras potenciales. El control en obra de estas medidas de seguridad es clave. Los riesgos son mayores, debido a las probables tubificaciones superficiales y en los terraplenes.

3.2.8.8 Determinación del contorno subterráneo de la presa.-

Para la cimentación la pérdida de carga por presión del agua es directamente proporcional a la longitud del contorno subterráneo desarrollado.

En terrenos no rocosos y permeables es necesario prolongar el camino de la filtración, de tal forma que la mayor parte de la carga de presión del agua sea agotada por la resistencia del suelo en el camino desde aguas arriba hacia aguas abajo.

a. Construir aguas arriba de la estructura pantallas o delantales impermeables (generalmente se usa en suelos arcillosos). Su longitud está entre los límites H y $1.5H$ para que sea efectiva. Los delantales flexibles (arcillas, suelos, suelo-cemento, asfalto o materiales sintéticos) responden a las exigencias de deformabilidad de la fundación. La permeabilidad del material debe ser unas 50 veces menor que la permeabilidad de la fundación. Para cargas hasta de 15 m se usan delantales de arcilla, tierra arcillosa y turbosa. Para cargas mayores se usan de concreto reforzado, asfaltos o similares. Los delantales rígidos se construyen comúnmente en las cimentaciones compactadas de la presa, en forma de losas aisladas con juntas provistas de sellos impermeables. Otros son los delantales anclados, compuestos generalmente de losas de 0.4 a 0.7 m. de espesor y cuya armadura se une a la malla inferior de la armadura de la placa de cimentación de la presa.

b. Tablestacados o pantallas impermeables debajo del contorno subterráneo. La profundidad de hincado del tablestacado va de $0.5H$ a $1.5H$, si son colgantes la distancia entre ellos no debe ser menor de 2 veces su profundidad. Se usan de acero, concreto reforzado y a veces de madera, las de concreto reforzado permiten que sean hechas en el sitio, las de acero permiten lograr grandes longitudes, las de madera no logran gran impermeabilidad y su profundidad de hincado es menor.

c. El mejoramiento del suelo consiste en inyecciones u otro tipo de sistema de estabilización del suelo. En presas localizadas sobre suelos cohesivos arcillosos no es recomendable la construcción de pantallas impermeables ya que la permeabilidad de estos elementos es comparable con la del suelo de fundación. En lugar de ello, es mejor

construir dentellones verticales poco profundos para evitar el posible desarrollo de pasos propicios a la filtración.

d. En fundaciones permeables un tratamiento podría ser un colchón o manto impermeable en el lado aguas arriba de la presa que evita el drenaje hacia la presa

e. El tratamiento mínimo para cualquier cimentación es el despalme del área de la cimentación para quitarle el pasto, la tierra vegetal con elevado contenido de materia orgánica y otros materiales inadecuados que puedan eliminarse con una excavación.

f. Se pueden usar varios métodos de tratamiento para la presencia de filtraciones, que dependen de los requisitos para evitar la pérdida de agua. Un objetivo de las cimentaciones es permitir el paso libre de la corriente y disipar la presión sin que se altere la estructura.

g. Las dimensiones óptimas del contorno subterráneo y del tipo de esquema a usar se establecen con base en el análisis técnico-económico de diferentes variantes.

3.2.9 Diseño geométrico de presas de materiales sueltos

Para el diseño geométrico de las presas de materiales sueltos se debe tomar en cuenta los mismos aspectos considerados para otros tipos, siendo relevantes las características físicas, geológicas y geotécnicas presentes en el sitio de emplazamiento de la futura presa, entre las cuales se debe dar mayor atención a las siguientes:

3.2.9.1 Forma de la boquilla o sección de cierre

Prácticamente todas las formas son adecuadas para la construcción de presas de materiales sueltos; sin embargo, algunas secciones pueden requerir de modificaciones

locales de la sección, con el fin de evitar deformaciones diferenciales y la formación de fisuras en el cuerpo de la presa, como se ilustra en la figura 3.8 (Sandoval, W. 2018).

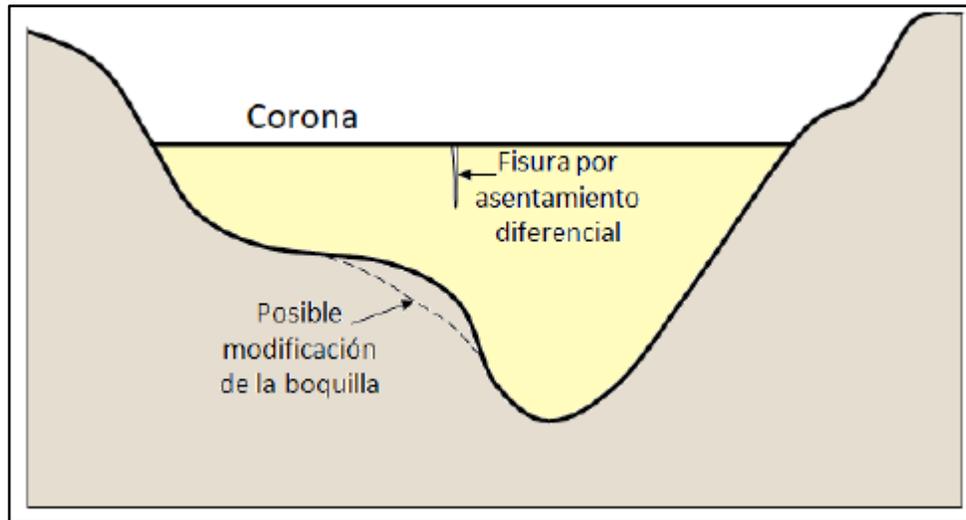


Figura 3.8 Fisuras en una presa por la forma de la boquilla (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.2 Condiciones de los estratos geológicos

Tanto para la estabilidad de las laderas como para la permeabilidad de la sección de cierre, es importante tomar en cuenta el buzamiento (inclinación respecto al plano horizontal) de las diferentes capas presentes en la zona de cierre de la presa, al igual que la presencia de estratos o zonas permeables. Por ejemplo, en la figura 3.9 se puede notar que las condiciones geológicas de la ladera derecha no son lo más convenientes para la estabilidad del talud, mientras que, en la margen izquierda, se observa un estrato permeable, cuyo tratamiento puede requerir procedimientos especiales (Sandoval, W. 2018).

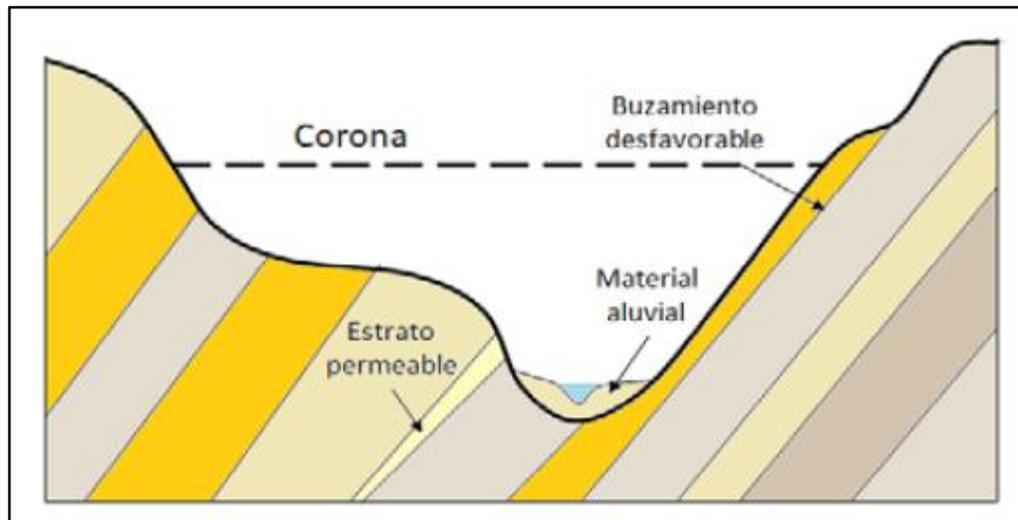


Figura 3.9 Condiciones geológicas de la boquilla (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.3 Capacidad de carga de los suelos o los estratos que conforman la cimentación

Si el material aluvial, que recubre suelos de una mayor resistencia, tiene un pequeño espesor, de 5 a 10 m, se recomienda desalojarlo o buscar la manera de mejorar su resistencia, dependiendo de cuál resulte la solución más económica (Goldin, 2001).

3.2.9.4 Estabilidad de los estribos laterales

Las condiciones de meteorización de la capa superficial de la roca de los estribos, así como la disposición de los estratos, pueden resultar críticas, tales como, que al llenarse el embalse y saturarse los suelos, pierdan su condición de equilibrio y se deslicen (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.5 Zona sísmica

Se debe tomar en cuenta que en la mayoría de los casos los lechos de los ríos coinciden con fallas geológicas o tectónicas (Marsal, 1979), por lo que se debe realizar

un estudio de la sismicidad de la región. Los resultados inciden sobre la geometría y a la clasificación de los materiales que se consideran usar en la construcción de la presa (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.6 Condiciones de flujo del agua subterránea

El emplazamiento de la presa y el llenado del embalse modifican el flujo subterráneo, por lo que se deben tomar en cuenta esos cambios; siempre existe la posibilidad de que el flujo se desvíe, inclusive, hacia otra cuenca. La variación del nivel freático puede cambiar la estabilidad de los taludes de la zona embalse y producir deslizamientos. Estos factores conjugados con otros pueden condicionar o limitar la altura de la presa (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.7 La permeabilidad de la cimentación y de los materiales de la zona

Son los que determinan el tipo de presa y los elementos de impermeabilización a utilizarse (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.8 El clima

Es un factor que condiciona los materiales, el diseño y la forma de construcción de una presa, porque controla el rendimiento en la colocación de los materiales y, por consiguiente, el tiempo necesario para su construcción (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.9 Paso de caudales durante el período de construcción

Este es uno de los aspectos de mayor trascendencia, por lo que, generalmente, para el diseño de las presas y en hidrotecnia, se lo estudia como un tema particular de diseño. Los métodos más comúnmente utilizados para el paso de caudales consisten

en un túnel o un canal de desvío que, funcionan a la perfección si es que el período de construcción es muy corto o que coincide con un período de caudales bajos. Para construcciones en las que se prevé que duren varios años, como en el caso de presas grandes, es probable que se presenten grandes caudales que superen a los que se consideró para el correspondiente período de retorno, que hace necesario introducir modificaciones en el diseño. Existen casos históricos en los que se ha permitido el paso de crecidas por sobre presas de materiales sueltos en construcción, solo con algunas modificaciones temporales (Grishin, 1979), (Alvarez, 1998).

3.2.9.10 Importancia de la obra

Como se desprende del Capítulo 1, las exigencias de seguridad modifican el diseño de una presa para atender con especial cuidado los riesgos de falla (Sandoval, W. 2018).

3.2.10 Pantallas de hormigón o concreto

Para presas de escollera, en las que se utiliza pantallas de hormigón como elemento de impermeabilización y protección del talud de aguas arriba, Grishin (1979) recomienda para determinar el espesor de estas pantallas (t_h) la siguiente ecuación:

$$T_h = kh (\lambda / mL)^{1/2} \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde: $k = 0,096$, para juntas cerradas de las losas y $k = 0,077$ para juntas abiertas, L – es la longitud vertical entre las juntas de las losas.

En la práctica, el espesor de la pantalla (m) se lo determina a partir de la ecuación presentada en Gandarillas (2010) y otros autores:

$$t_h = 0,3 + kH \quad (3.2)$$

Donde:

$$k = 0,002 \text{ a } 0,003 \text{ y} \quad (3.3)$$

H = es la altura de la presa desde donde arranca la pantalla hasta la corona.

En la presa Mazar se utilizó el valor de $k = 0,003$. Las pantallas de hormigón se las funde en el sitio, como se observa en la figura 3.9; sin embargo, si es que se utilizan losetas prefabricadas se recomienda que las dimensiones varíen desde 1,5 m x 1,5 m hasta 5 m x 5 m, con un espesor que, de acuerdo con Grishin (1979), es de 0,15 m a 0,20 m.

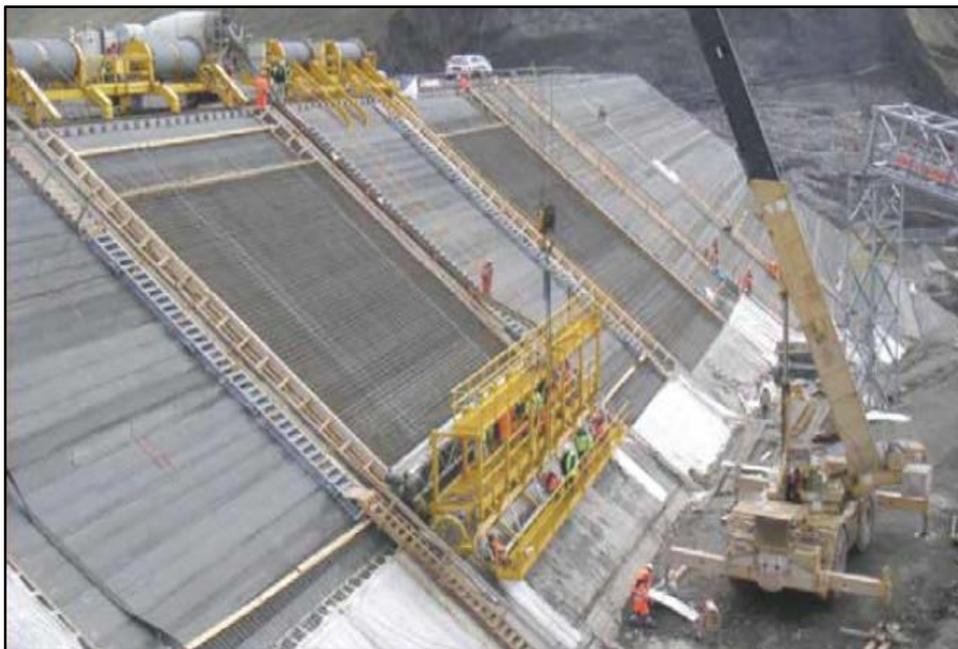


Figura 3.10 Proceso constructivo de una pantalla de concreto de hormigón (Sandoval, W. 2018).

Las losas de las presas de escollera no son de un solo cuerpo, por lo que es preciso diseñar juntas que garanticen la estanqueidad. En la figura 3.11, se

aprecia con detalle los aspectos constructivos, tales como como el armado del hierro, la banda de PVC y la lámina metálica de impermeabilización, los encofrados, etc.



Figura 3.11 Detalle de una junta de una pantalla de concreto (Sandoval, W. 2019).

En la figura 3.12 se puede apreciar el diseño de la pantalla de hormigón de la presa Mazar y su empate con la sección de cierre.

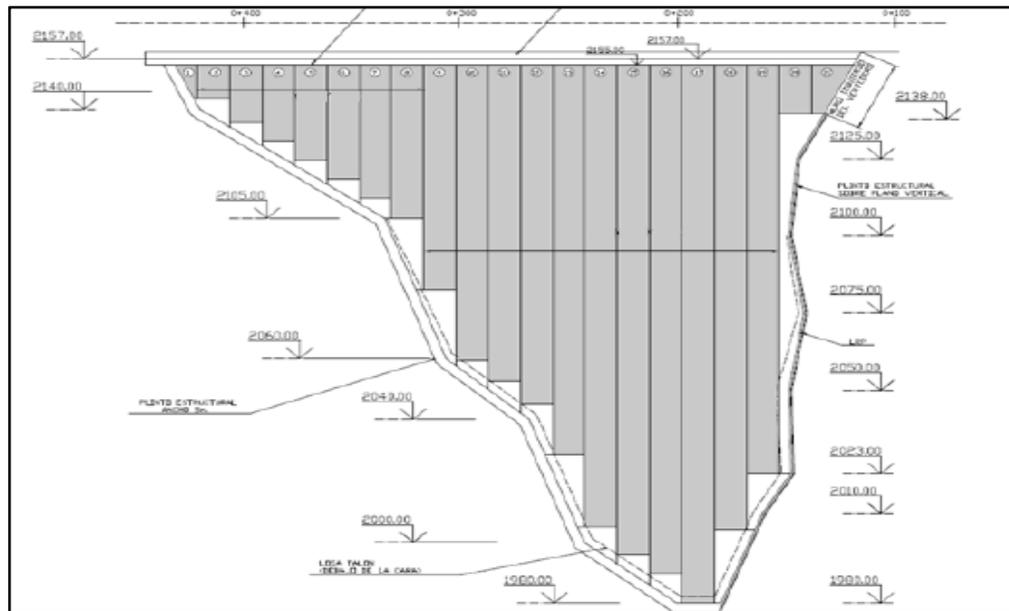


Figura 3.12 Pantalla de concreto del proyecto Mazar (Sandoval, W. 2019).

3.2.11 Pantallas o muros de corte

Conciernen a las previstas para cortar el paso del flujo subterráneo en los suelos permeables. Se las fabrica de varios materiales, encontrándose, entre los más comunes, el metal y el hormigón plástico. Su profundidad debe alcanzar un estrato impermeable o, para grandes profundidades del material aluvial, hasta 0,5 a 1 vez la carga hidráulica a la que estará sujeta la presa (figura 3.13) (Sandoval, W. 2019).



Figura 3.13 Proceso de construcción de una pantalla de concreto plástico (Sandoval, W. 2019).

3.2.12 Coeficiente de filtración de suelos gruesos

El coeficiente de filtración para suelos gruesos (cm/s) se lo puede determinar con la ecuación citada por Rasskazov (2008):

$$k_f = 100 \times \left(\frac{n^3}{(1-n)^2} \right) \times (d_{17})^2 \times (d_{60}/d_{10})^{1/2} \quad (3.4)$$

Donde:

n = es la porosidad,

d_{17} = es el diámetro de las partículas (cm) correspondientes al 17% en peso.

Una ecuación más simple es la sugerida en USSD (2011) con un rango de aplicación de $d_{10} = 0,1$ a 3 mm:

$$k_f = C d_{10} \quad (5.39) \dots \dots \dots (3.5)$$

Donde:

C = 0,4 a 1,2, con un valor recomendado de 1,0.

3.2.13 Densidad de suelos finos

El peso volumétrico del material fino a colocarse en una presa se lo puede determinar con la siguiente ecuación (Rasskazov, 1984):

$$\gamma_v = \frac{\gamma \cdot \gamma_s (1 - V_a)}{\gamma + \gamma_s W_c} \quad (3.6)$$

Donde:

γ = es el peso específico del agua,

V_a = el volumen relativo de aire incluido en el suelo, $V_a = 0,02$ a $0,04$,

W_c = humedad del suelo utilizada en el cálculo, que, para disminuir la presión de poros, se asume como 1% o 2% menor que el valor de la humedad óptima.

Para el diseño se debe tomar en cuenta que la humedad óptima, con la que se coloca un suelo fino en una presa, depende de la humedad en la zona de préstamo (cantera), de las condiciones climáticas (presencia de lluvia) y de la tecnología de compactación (tipo de rodillo, espesor de las capas y cantidad de pasadas).

3.2.14 Coeficiente de filtración de suelos finos

Rasskazov (1984) recomienda utilizar la ecuación de Zhilinkov V., cuyo límite de aplicación es $0,2 \leq e \leq 1,0$:

$$k_f = 4 * 10^{-11} \exp \frac{e}{0,17e_L - 0,084} \quad (3.7)$$

Donde:

e_L = es el coeficiente de porosidad correspondiente al límite líquido, que se lo determina con la siguiente relación,

$$e_L = \frac{\gamma_s}{\gamma} W_{LL} \quad (3.8)$$

3.2.14.1 Ejemplo de diseño para suelo fino

Se requiere determinar el peso volumétrico de un suelo limo-arenoso de $\gamma_s = 2,71$ t/m³, humedad óptima $W_{op} = 23,32\%$, $W_{LL} = 41,63\%$ y coeficiente de porosidad $e = 0,72$.

Se determina el peso específico del suelo fino en obra con la ecuación (3.6), asumiendo $W_c = W_{op} - 2\% = 21,32\%$ y $V_a = 0,04$:

$$\gamma_v = \frac{1 * 2,71(1 - 0,04)}{1 + 2,71 * 0,2132} = 1,65 \text{ t/m}^3$$

Y el coeficiente de porosidad en el límite líquido, ecuación (3.8):

$$e_L = \frac{2,71}{1} 0,4163 = 1,128$$

El coeficiente de filtración con la ecuación (3.7):

$$k_f = 4 * 10^{-11} \exp \frac{0,72}{0,17 * 1,128 - 0,084} = 3 * 10^{-8} \text{ cm/s}$$

3.2.15 Filtración en presas de tierra

El proceso de filtración en las presas es bastante complejo debido a la diversidad de condiciones naturales y constructivas que pueden presentarse, por lo que es indispensable evaluarlo para determinar los gradientes del flujo y las pérdidas de agua que ocurren a través del cuerpo de la presa, la cimentación, los estribos y otros sitios del embalse.

Para conocer la parte del material de la presa que se encuentra bajo la acción del flujo de agua y la que no, es preciso determinar la línea de saturación, que se establece en el interior del cuerpo de la presa de materiales sueltos y el caudal que se filtra, para lo cual se pueden utilizar varios métodos como; el gráfico, analítico, numérico, simulación eléctrica, etc.

Para el análisis de la filtración se emplean varias abstracciones, como las siguientes: la filtración es permanente (estacionaria) en el tiempo y se la analiza en un solo plano; se la considera despreciable a la componente vertical de la velocidad; el suelo del que está conformada la presa es uniforme; el borde o estrato inferior se le considera impermeable; y, la posición de la línea de saturación no depende de la calidad del suelo, sino de las condiciones geométricas del perfil de la presa.

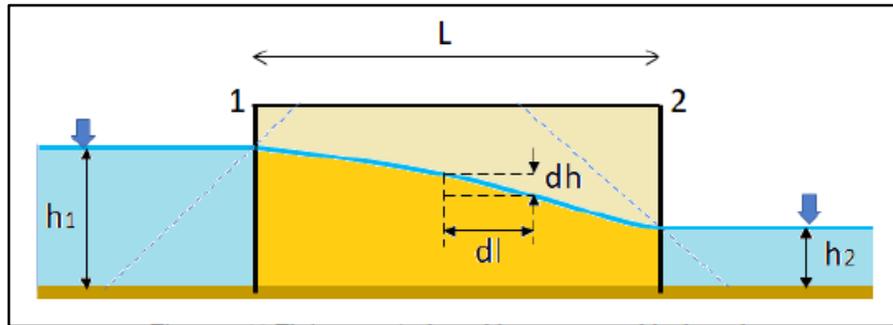


Figura 3.14 Flujo a través de un bloque permeable de suelo (Sndoval, W. 2019).

La mayoría de los métodos de cálculo de filtración se fundamentan en la ecuación de velocidad de Darcy:

$$v = k_f J \quad (3.9)$$

Donde:

$I = dh/dl$ - es el gradiente hidráulico del flujo.

Dupuit, citado por Chugaev R. (1982), analizando un bloque rectangular de suelo asentado sobre una superficie horizontal impermeable, figura 3.13, dedujo que el caudal unitario es:

$$q = vh = k_f h J = k_f h \frac{dh}{dl}$$

Si es que se integra a lo largo del bloque,

$$q \int dl = k_f \int_{h_2}^{h_1} h dh$$

Resulta la fórmula de caudal para cada metro de ancho de la presa, obtenida por Dupuit en 1863,

$$q = k_f \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (3.10)$$

A partir de esta ecuación y considerando que el resultado no se afecta si se modifica la masa de suelo sobre la línea de saturación, como se muestra, con las líneas punteadas, en la figura 3.13, se presentan varias soluciones analíticas para el flujo filtrante a través de presas.

Como elementos complementarios a considerar en el análisis de filtración se tiene los drenes y filtros, que influyen directamente en la posición de la línea de saturación. Adicionalmente, como elemento estructural, existen los prismas de enrocado que mejoran en la estabilidad hidráulica y estructural de la presa, figura 3.15.

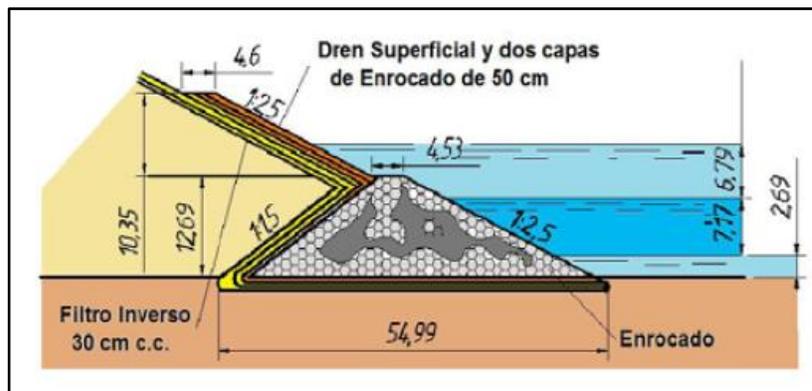


Figura 3.15 Enrocado al pie de una presa de tierra (Sandoval, W. 2019).

Para el cálculo de filtración se debe simplificar lo más posible el perfil de la presa, excluyendo algunos elementos como los enrocados de protección de aguas arriba (rip-rap) y los filtros. Así también, en la cimentación se pueden aglutinar en capas los suelos con características físicas cercanas.

Para aguas arriba, el nivel del agua a considerarse es el que corresponde al nivel más alto de la línea de saturación, que usualmente es el NAMO y, para aguas abajo, el nivel de mayor duración en el año, que generalmente corresponde al nivel mínimo y, en las cimentaciones permeables, éste puede coincidir con la solera del cauce.

3.2.16 Filtración en una presa homogénea con cimentación permeable

El método que se describe a continuación fue propuesto por Chugaev (1967). Se considera que el coeficiente de filtración del cuerpo de la presa no es igual al de la cimentación ($k_{fp} \neq k_{fc}$) y que el estrato impermeable se encuentra a una profundidad T_r . En este caso, no se requiere que intervenga en el análisis de la filtración todo el espesor T_r y, por lo tanto, se asume que solo una parte de la profundidad T_c participa en el cálculo.

El espesor del estrato a considerarse en el cálculo debe cumplir la siguiente condición:

$$T_c = \frac{k_{fp}}{k_{fc}} T_r \leq 0,5L \quad (3.11)$$

En el caso de que $T_r \leq T_c$ se realiza el cálculo con el valor T_r .

ΔL_1 se calcula para ubicar a esa distancia el eje de las ordenadas:

$$\Delta L_1 = \frac{m_1}{2m_1+1} H_1 \quad (3.12)$$

mientras el eje de las abscisas se lo ubica en la profundidad T_c , figura 3.15.

En la ecuación del caudal unitario se procede a realizar los cambios, de acuerdo con la figura 3.15:

$$\frac{q}{k_{fp}} = \frac{H_1^2 - (H_2^*)^2}{2L_T} \quad (3.13)$$

Los demás valores se los determina con las siguientes ecuaciones:

$$H_0 = 1,2 \left(A + \sqrt{A^2 + 0,4 \frac{q}{k_f} H_2} \right) \quad (3.14)$$

$$A = 0,5 \left[\frac{q}{k_f} m_2 - \left(1 + \frac{0,4}{m_2} \right) H_2 \right] \quad (3.15)$$

$$h_x = \sqrt{H_1^2 - (H_1^2 - H_2^{*2}) \frac{x}{L}} \quad (3.16)$$

Estas ecuaciones se las tiene que resolver por aproximaciones sucesivas, en vista que no se conoce H_0 .

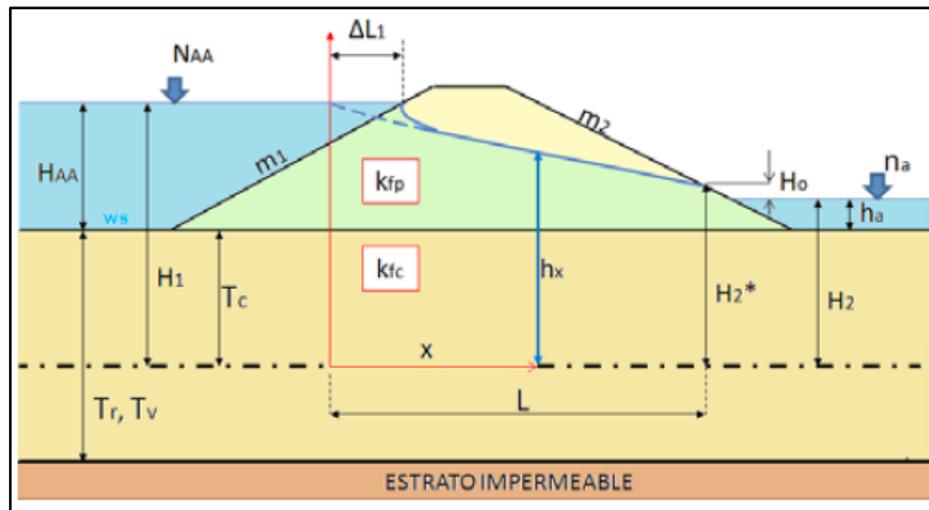


Figura 3.16 Filtración por una presa de fundación permeable (Sandoval, W. 2018).

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 másicas 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 km²) (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 km³) (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 esta 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

4.1 Tipo de investigación

Este tipo de investigación se califica como descriptiva porque se describirán las variables dependientes e independientes sin considerar alteración alguna sobre el problema de las filtraciones de agua a través del estribo izquierdo de la represa Wará I en el río Wará.

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 estribo izquierdo de la represa Wará I.

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 terreo que conforma el estribo izquierdo de la represa Wará I en el río Wará , municipio Gran Sabana, estado Bolívar, Venezuela.

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, y se considerará no probabilística por cuanto estará conformada por una muestra de cada horizonte de suelo observada en una (1) perforación practicadas en el lugar de fundación del estribo izquierdo de la represa Wará I en el río Wará.

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 las 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, SEEP/W, 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 estimación de las filtraciones que se producirían a través del estribo izquierdo de la represa Wará I, se plantean las siguientes actividades:

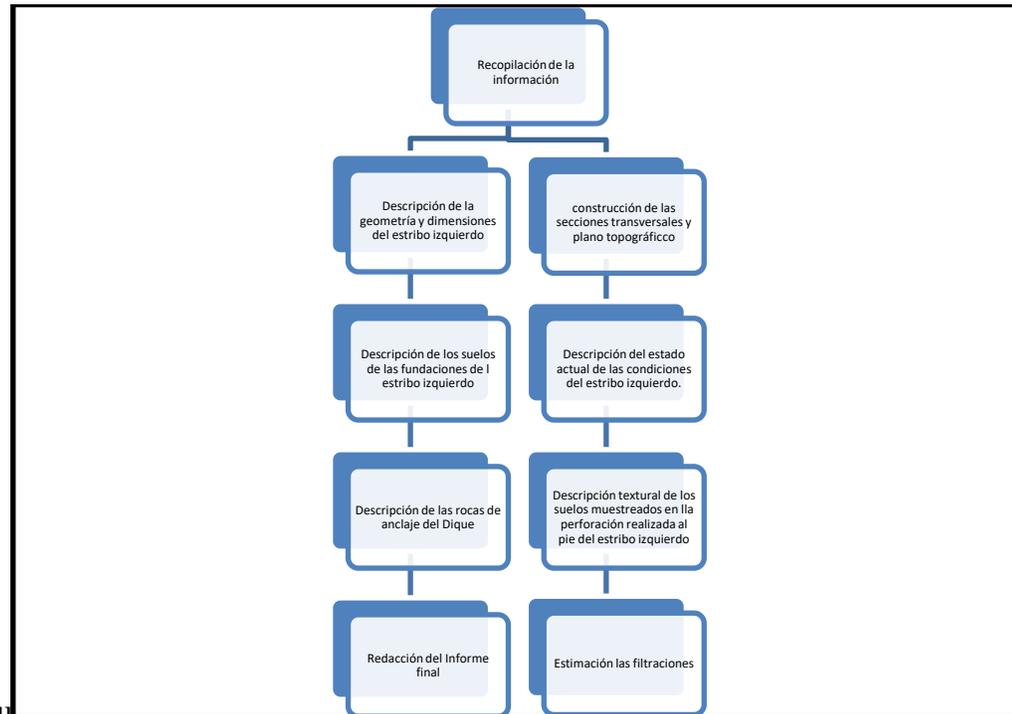


Figura 4.1 Flujograma de la investigación

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 estribo izquierdo de la represa Wará I.

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 taquimétrico se posicionaron los puntos de interés desde una única estación ubicada en el extremo derecho de la rejilla de captación de agua en la cresta del dique de concreto.

Los resultados de este levantamiento topográfico se muestran en el plano respectivo en el anexo 1 y el detalle del estribo izquierdo se muestra en la figura 5.1.

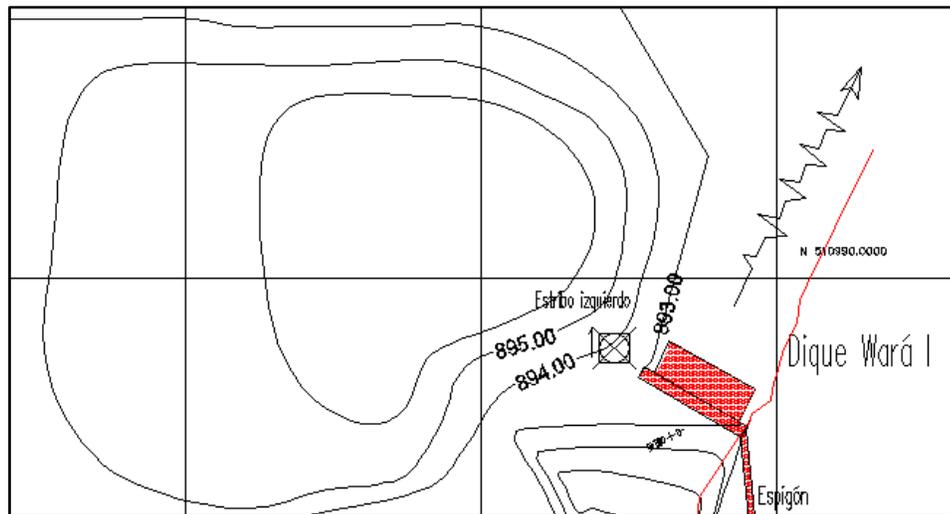


Figura 5.1 Croquis topográfico del estribo izquierdo de la represa Wará I.

5.2 Caracterización textural de los materiales del estribo izquierdo

Con la finalidad de caracterizar los sedimentos presentes en el lecho del embalse de la represa Wará I, se tomaron dos (2) muestras correspondientes a los diferentes horizontes encontrados en una perforación de 21.0 metros de profundidad realizada en el estribo izquierdo de acuerdo a las coordenadas indicadas en la tabla 5.1. En dicha perforación se detectaron dos (2) estratos identificados de tope a base de la perforación como: una estrato de arena fina arcillosa de color beige con 8.8 m de espesor, y un estrato de arcilla de color rojizo de 12.0 m de espesor

Tabla 5.1 Coordenadas de ubicación de la perforación

Perforación	Coordenadas UTM (Datum REGVEN)	
	Norte	Este
P-1	707664	510987

Las muestras fueron sometidas a análisis granulométrico y análisis de límites de Atterberg en el Laboratorio de Suelos de la Empresa GeoLab de Boa Vista, Brasil. Arrojando los resultados que a continuación se muestran en la figura 5.2 y la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Análisis granulométrico de la arena muestra M-1

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.75	747.2	750.5	3.3	0.66	0.66	99.34
10	2	643.2	652.9	9.7	1.94	2.60	97.40
40	0.41931	566.2	586.1	19.9	3.98	6.58	93.42
60	0.25	512	834.1	322.1	64.42	71.00	29.00
80	0.18	515	636.4	121.4	24.28	95.28	4.72
100	0.15	395.6	408.1	12.5	2.50	97.78	2.22
200	0.075	482.3	488.7	6.4	1.28	99.06	0.94
PAN	0	483.6	485	1.4	0.28	99.34	0
			Peso Suelo Final(gr)	496.70	99.34		
			Peso Suelo inicial(gr)	500.00			
			%ERROR	0.66			

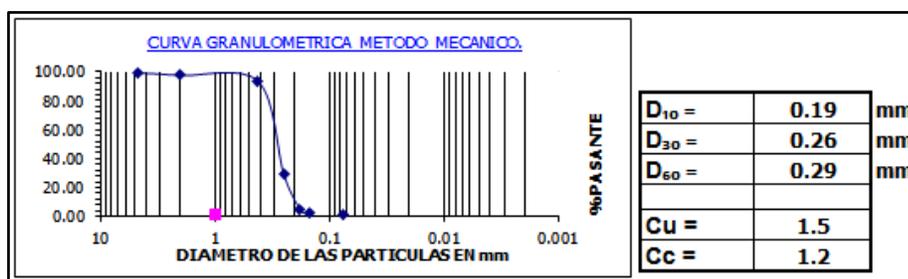


Figura 5.2 Curva granulométrica de la arena, muestra M1

5.3 Evidencias de filtraciones a través del estribo izquierdo del embalse Wará I.

De lo observado en la inspección de campo realizada en 12/2018, se desprende que el estribo izquierdo del dique de concreto de la represa Wará I se encuentra, para el momento de realizar esta investigación, totalmente inoperativo (sin agua en el embalse) presumiblemente por problemas de pérdida de agua por filtraciones.

La colocación de los sacos de materiales sintéticos rellenos y apoyados contra el estribo izquierdo permite presumir que era evidente la pérdida de fluidos del embalse a través de este cuerpo de tierra de interface entre el monolito de concreto y el estribo de anclaje (figuras 5.3 y 5.4).



Figura 5.3 Aspecto del estribo izquierdo de tierra y parte del monolito de concreto del dique Wará I.

Asimismo, parece improbable que tal intento de remediación pudiese tener éxito en evitar las filtraciones ya que igualmente existirían numerosos intersticios o espacios entre los sacos a través de los cuales el agua podría abrirse paso y continuar el proceso de pérdida de líquido a través de la falla pre-existente.



Figura 5.4 Vista del estribo izquierdo aguas abajo del dique.

De acuerdo a las imágenes de satélite Landsat publicadas por Google Earth de fecha 21/04/2017 el embalse mostraba encontrarse totalmente lleno de agua. Lo cual indica que las filtraciones que ocasionaron la pérdida total del agua ocurrieron con una antigüedad inferior a dos (2) años, si se considera la fecha de elaboración del presente documento.

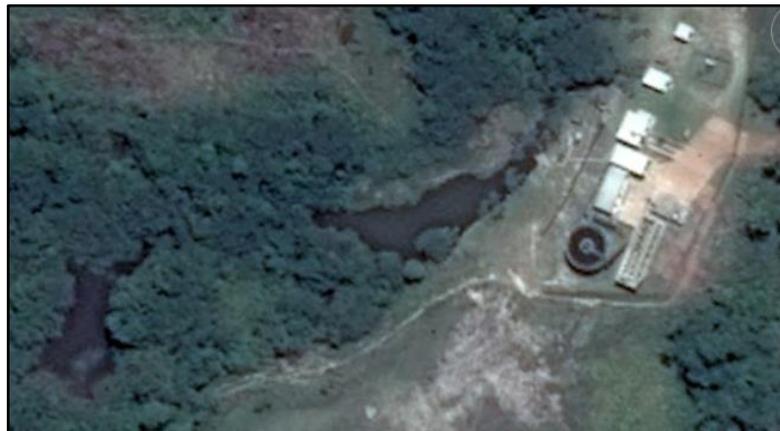


Figura 5.5 Embalse del dique Wará I lleno de agua el 21/04/2017 según imagen de satélite Landsat (Google Earth).

El embalse Wará I se encuentra indudablemente totalmente inoperativo, lo cual es fácilmente deducible de la condición que presenta su vaso de almacenamiento: totalmente vacío. Sin embargo, se revisarán las evidencias observables que lo mantienen bajo condiciones de inoperatividad total.

5.4 Esfuerzos producidos por la carga hidráulica sobre el talud del estribo izquierdo

En la figura 5.6 presentada a continuación se muestra un perfil del dique de concreto Wará I, donde se puede ver el Nivel de aguas máximas de operación (NAMO), el cual será el nivel que alcanzará la superficie del agua dentro del embalse y por lo

tanto, es la carga hidráulica que estará actuando sobre el talud del estribo izquierdo y posteriormente, también actuaría sobre la pantalla de concreto que se está proponiendo en esta investigación.

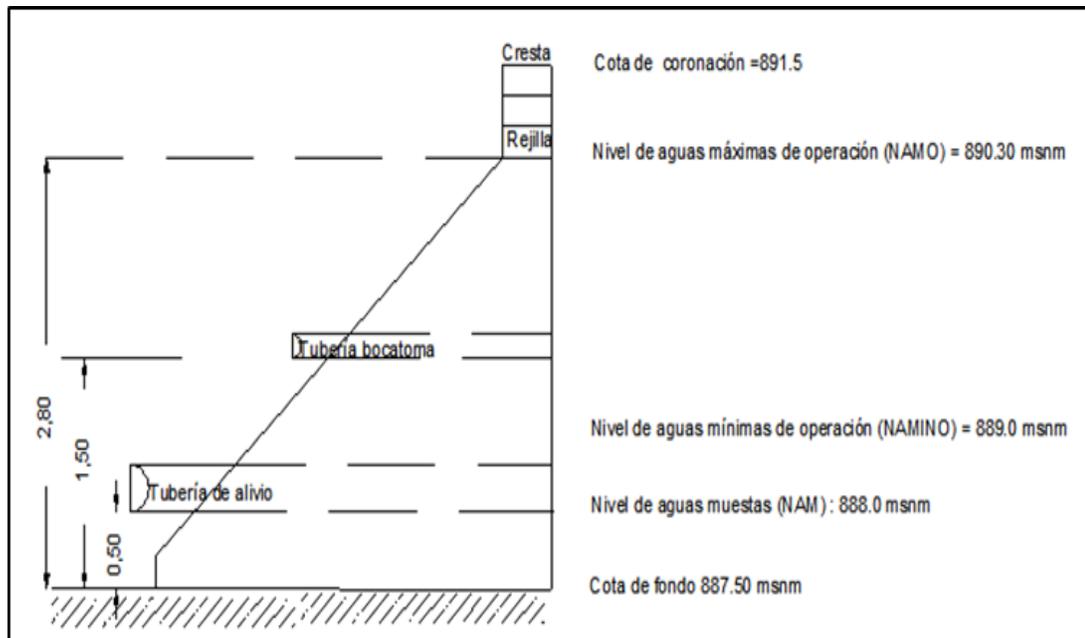


Figura 5.6 Perfil lateral del dique de concreto Wará I (Pérez, H. y Sánchez, V., 2018).

Asimismo, en la figura 5.7 se presenta la sección transversal A-A` (según su ubicación indicada en el plano del anexo 1) del estribo izquierdo, donde se muestra la geometría y dimensiones transversales del mencionado cuerpo térrico.

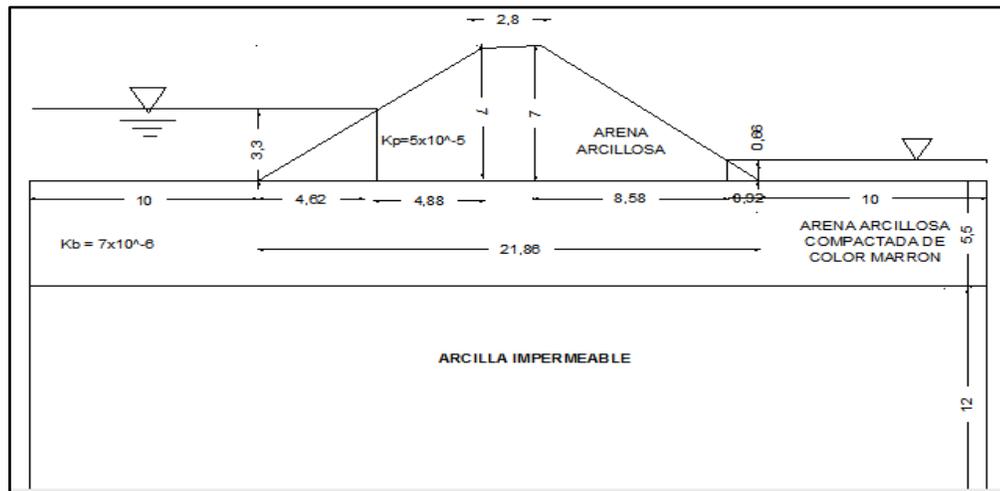


Figura 5.7 Sección transversal A-A' del estribo izquierdo del embalse Wará I.

5.5 Estimación de las filtraciones a través del estribo izquierdo

La geometría de la sección transversal del estribo izquierdo del embalse Wará I y las características de los materiales que constituían tanto el estribo como su base, se introdujeron en la aplicación computarizada SEEP/W, el cual es uno de los módulos del programa GEOESTUDIO (Versión 2016). A través de esta aplicación para computadoras se podrá modelizar las filtraciones que se producirían a través del cuerpo del estribo y de la base del mismo. En ese sentido, se muestra en la figura 5.7 un esquema de la sección transversal del cuerpo del espigón y de su fundación presentan la malla de elementos finitos a través de la cual se estimarán los vectores velocidad del flujo de filtración del agua.

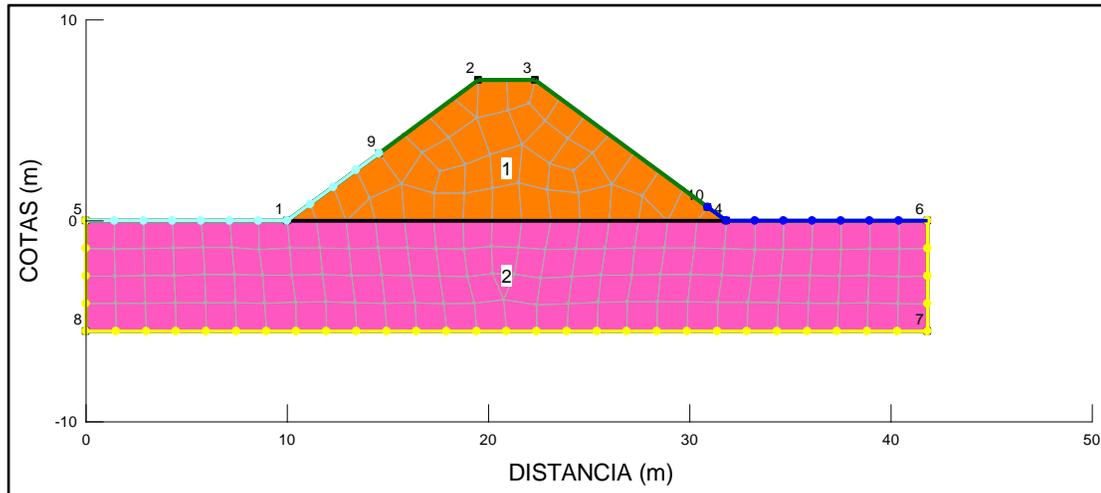


Figura 5.8 Malla de elementos finitos de SEEP/W a través de la sección transversal del cuerpo del estribo izquierdo y su fundación.

En la figura 5.9 se muestran los canales de flujo y las curvas equipotenciales piezométricas que se interpolaron mediante el programa SEEP/W.

Asimismo, se estiman los caudales unitarios de filtración que se producen a través del mencionado cuerpo téreo.

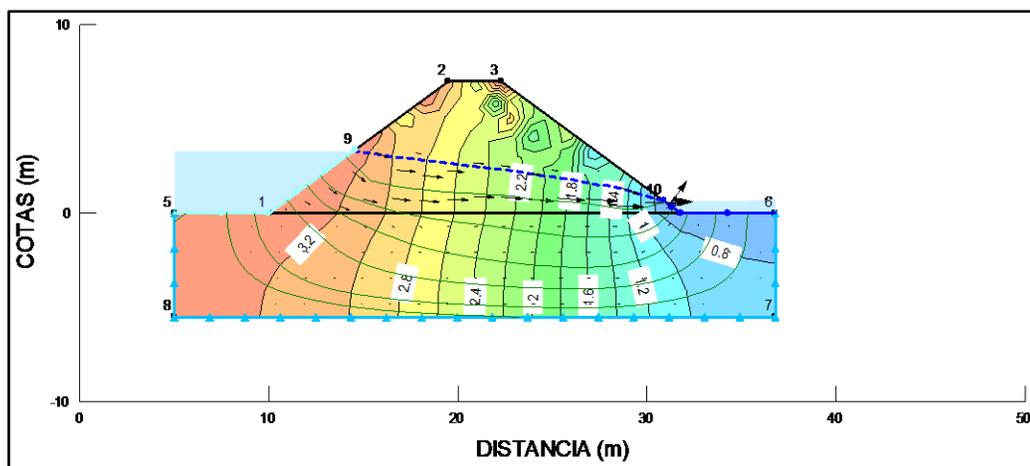


Figura 5.9 Líneas de flujo, líneas equipotenciales y vectores de velocidad de las filtraciones a través del estribo izquierdo del embalse Wará I.

En la figura 5.10 se observa, en las cuatro (4) secciones de flujo que fueron definidas, los distintos caudales unitarios determinados. Nótese en la primera sección a la izquierda un caudal unitario de $2.48 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ correspondiente al caudal unitario que fluye por el estrato de arena arcillosa compactada. En las siguientes secciones el caudal unitario corresponde al caudal unitario que fluye por el estribo y la base el cual alcanza una magnitud de $2.03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

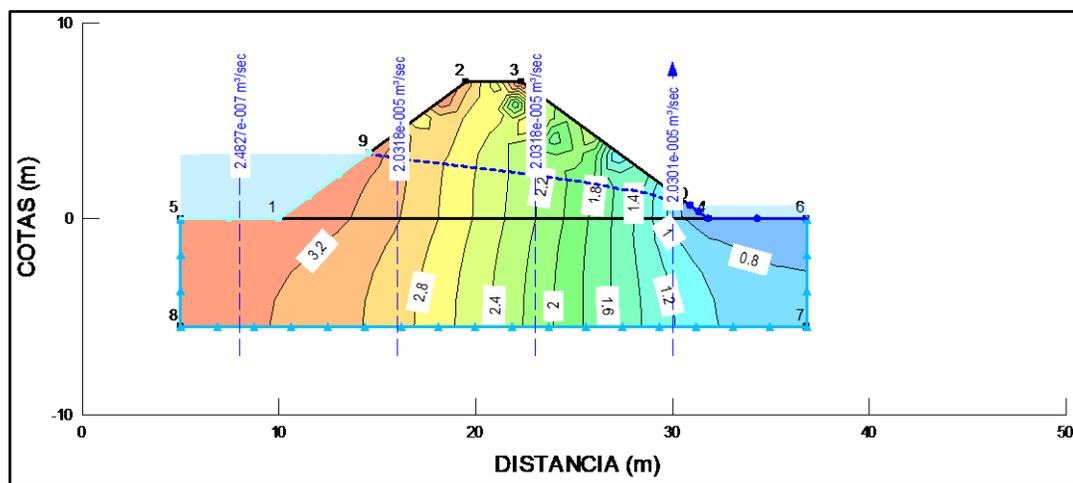


Figura 5.10 Magnitud de las filtraciones a través del estribo izquierdo del embalse Wará I.

Considerando que el cuerpo térrico del estribo izquierdo tiene un ancho aproximado de 37.00 m se puede estimar ($2.03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \times 37.00 \text{ m}$) que las filtraciones alcanzan un caudal de $7.511 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ que es el equivalente de $64.9 \text{ m}^3/\text{día}$.

Ahora bien, tomando en cuenta las estimaciones de García y Cordova (2018) quienes construyeron las curvas de áreas y capacidades del embalse Wará I donde se observa que el embalse es capaz de almacenar un volumen de 1605 m^3 (figura 5.11) se puede estimar que en un lapso de aproximadamente 25 días el embalse podría perder toda el agua almacenada.

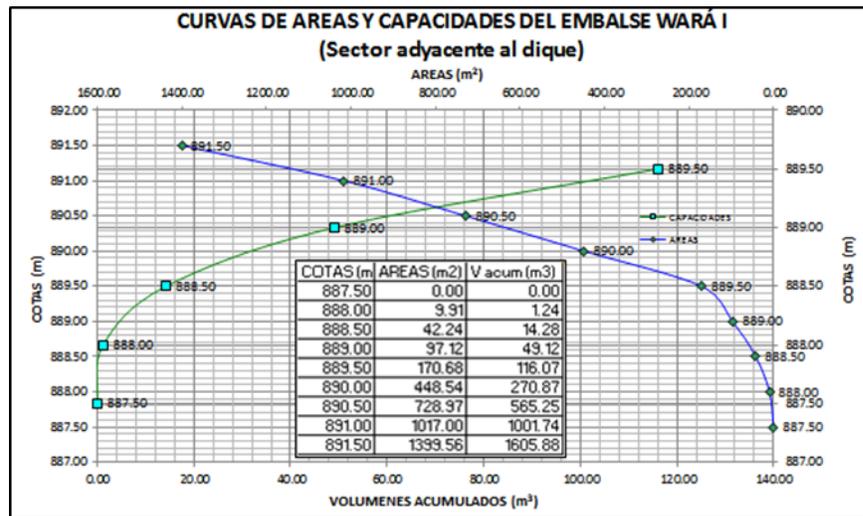


Figura 5.11 Curva de áreas y capacidades del embalse Wará I (García y Cordova, 2018).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La represa Wará I está constituida por cuatro (4) elementos principales: un dique monolítico de concreto armado, dos (2) estribos o cuerpos térreos (izquierdo y derecho) que sirven de anclaje al dique de concreto y un vaso de almacenamiento ocupando un área total de 1250 m².

2. Para el momento de ejecución de esta investigación se evidenció la colocación de elementos de sacos rellenos que hacen presumir que se sospechaba o se poseía la certeza de que a través de este cuerpo térreo se producían las filtraciones que afectaron al embalse Wará I.

3. En la ubicación del estribo izquierdo del embalse Wará se han podido identificar tres (3) horizontes de suelos muestreados en una perforación realizada en dicho cuerpo térreo: un estrato de arena arcillosa de color beige de 3,3 m (de $k_e = 5 \times 10^{-5}$ m/s) , una arena arcillosa compactada de color marrón de 5.5 m de espesor (de $K_b = 7 \times 10^{-6}$) y un estrato de arcilla impermeable de color rojizo de 12 m de espesor.

4. El estribo izquierdo del embalse Wará I es un cuerpo térreo natural que sirvió de ribera al río Wará y posteriormente fue utilizado por los constructores de la presa Wará I como sitio de anclaje del dique de concreto. Se eleva hasta una cota de 894 msnm (3.70 m por encima del Nivel de aguas máximas de operación (NAMO) del embalse y 6.50 m por encima del lecho del vaso de almacenamiento). Tiene una longitud de 22 m aproximadamente entre el pie de su talud aguas arriba y el pie del talud aguas abajo.

5. Se ha estimado mediante la utilización del módulo SEEP/W del programa Geoestudio que a través del cuerpo téreo del estribo izquierdo del embalse y a través de las cimentaciones del mencionado estribo se producen filtraciones importantes que alcanzan un caudal unitario de $2.03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ ($64.9 \text{ m}^3/\text{dia}$) lo cual implica que el embalse podría ser vaciado en un lapso de 25 días.

Recomendaciones

1. Analizar las filtraciones que se podrían producir a través de las cimentaciones del dique de concreto del embalse Wará I.
2. Se recomienda ejecutar pruebas Lugeon para la determinación de posibles problemas de tubificación a través del estribo izquierdo.

REFERENCIAS

Aguirre-Pe, J. (1980). **HIDRÁULICA DE SEDIMENTOS**. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. (p 269).

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

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

Barredo, Silvia (1999) **ROCAS SEDIMENTARIAS**, Universidad de buenos aires, Departamento de Ciencias Geológicas - facultad de ciencias exactas y naturales
Recuperad de: 22 de febrero de 2016,
[<http://introgeo.gl.fcen.uba.ar/Introduccion/Tprocasyestrucsedim/TProcyestrucsediment.PDF>]

Bonnefille, R. (1963). **ESSAIS DE SYNTHÈSE DES LOIS DE DÉBUT D'ENTRAÎNEMENT DES SEDIMENTS SOUS L'ACTION D'UN COURANT EN RÉGIME UNIFORME BULL. Du CREC, No 5, Chatou. (p 15).**

Clauso, Adelina. (1993) **ANÁLISIS DOCUMENTAL: EL ANÁLISIS FORMAL**, Revista general de información y documentación. Vol. 3, Editorial Complutense, Madrid. 03 de mayo de 2016, [<https://revistas.ucm.es/index.php/RGID/article/viewFile/RGID9393120011A/11739>]

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).

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).

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).

Cueche, S. y Pino, C. (2009), **INCIDENTES EN LAS PRESAS DE VENEZUELA**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz. Pp. 6 – 10.

Díaz, M. y Rivas, M. (2009), **PREDIMENSIONADO Y CALCULO DE ESTABILIDAD EN REPRESAS DE TIERRA**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz. Pp. 8 y 9.

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).

Iriondo, Martín. (2006) **INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA**, Tercera edición, editorial Brujas, Argentina. (pp 15-129).

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).

Pérez, H. y Sanchez, V. (2018). **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**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar.

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

Sandoval, W. (2018). **PRESAS DE TIERRA Y DE ENROCAMIENTO**. Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE. Consultado el 25/04/2019. <https://www.researchgate.net/publication/326560958>

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

Suarez D., Jaime. (2001). **CONTROL DE EROSIÓN EN ZONAS TROPICALES**. Bucaramanga. (pp 227 -258).

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)

HOJAS DE METADATOS

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

Título	estimación de las filtraciones que se producen a través del estribo de tierra izquierdo de la presa Wará I en el río Wará, municipio Gran Sabana, estado Bolívar, Venezuela
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código ORCID / e-mail	
Martínez Pérez Rowil Alejandro	ORCID	
	e-mail	rowial99@gmail.com
	e-mail	
Romero Leal Carlos José	ORCID	
	e-mail	carlosleal1595@gmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Filtraciones
nivel de aguas máximas de operación (NAMO)
estribo izquierdo
análisis textural
geomorfología
tesis de grado

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Área o Línea de investigación:

Área	Subáreas
Ciencias de la tierra	Ingeniería Geología
Línea de Investigación:	

Resumen (abstract):

La presente investigación se desarrolló en la cuenca baja del río Wará, específicamente en la represa Wará I, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. El objetivo fundamental del estudio es estimar la magnitud de las filtraciones que se producen a través del estribo izquierdo de la represa antes mencionada. Para el desarrollo de este objetivo se aplicó una metodología de investigación de tipo descriptiva para lo cual se implementó una estrategia de campo y documental. Para el logro de la investigación se efectuó un levantamiento topográfico en el área del estribo izquierdo de la represa Wará I cuyos datos se utilizaron para construir un plano topográfico del mencionado cuerpo térreo. Se realizó el análisis textural de las muestras de los suelos tomadas en la perforación practicada en el estribo izquierdo. Se estimó la carga hidráulica a la cual estará sometido el talud del estribo izquierdo del embalse Wará I. Entre los resultados relevantes se concluyó que la geomorfología indica que el embalse tiene una capacidad actual de 1001.74 m³ de agua para un Nivel de Aguas Máximas de Operación (NAMO) de 890.3 msnm.. Por otro lado, en la perforación del sitio de ubicación del estribo izquierdo se diferenciaron tres (3) horizontes de tope a base de la perforación correspondientes con: arena arcillosa de color beige con un espesor de 7.00 m. un estrato de arena arcillosa compactada de color marrón con 5.50 m de espesor y un estrato de arcilla de color rojizo con 12.00 m de espesor.- El estribo izquierdo del embalse presenta evidencias de filtraciones que fueron estimadas mediante el programa SEEP/W con un caudal unitario de $2.03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código ORCID / e-mail										
Dafnis Echeverria	ROL	CA		AS		TU	X	JU			
	ORCID										
	e-mail										
	e-mail										
Beatriz Echeverria	ROL	CA		AS		TU		JU	X		
	ORCID										
	e-mail										
	e-mail										
Juan España	ROL	CA		AS		TU		JU	X		
	ORCID										
	e-mail										
	e-mail										

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2021	11	29

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
NBOTTG_MPRA2021

Alcance:

Espacial: Represa Wará I, municipio Gran Sabana, estado Bolívar

Temporal: 12 meses

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Geológico

Nivel Asociado con el Trabajo:

Ingeniería

Área de Estudio:

Ciencias de la Tierra

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

Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN° 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.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNPEL
Secretario

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

REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SECRETARÍA
CONSEJO UNIVERSITARIO

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

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

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.



AUTOR

Rowil Alejandro Martínez Perez

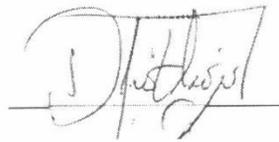
C.I: 25.721.552



AUTOR

Carlos José Romero Leal

C.I: 22.807.011



TUTOR

Dafnis Echeverria

C.I: 4.506.408