

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA.**



**“TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL RÍO JEQUETEPEQUE E
IMPACTO EN LA VIDA ÚTIL DE LA PRESA GALLITO CIEGO”.**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO HIDRÁULICO

Presentado por:

Bach. En Ingeniería Hidráulica VÁSQUEZ TAPIA, WALTER MANUEL

Asesorado por:

Dr. Ing° GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ

CAJAMARCA-PERÚ

2018

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Ing. Gaspar Méndez Cruz, asesor de la presente tesis, por sus consejos y apoyo incondicional en el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Ing. Santos Oswaldo Ortiz Vera, colaborador de esta investigación, por su presencia incondicional, sus apreciados y relevantes aportes, críticas, comentarios y sugerencias durante el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre, jurado de tesis, por su disposición y apoyo constante al desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez, jurado, por su apoyo y comentarios al presente trabajo de investigación.

Al M.Cs.Ing. Luis Vásquez Ramírez, jurado, por sus constantes consejos y perseverancia para poder realizar la presente tesis.

DEDICATORIA

Al todo poderoso, por iluminarme y guiarme por el camino de bien, y darme esa fuerza espiritual de seguir adelante en mi carrera profesional.

A mi querida madre Irma Rosa Tapia Barboza, que siempre me estará guiando y salvaguardando en todo momento desde el más allá. A mi padre, Vásquez Morales Gilberto, por su gran apoyo y consejos.

A mis hermanos Aldrin Jorge, Francisco y José Armando, y a mi querida abuelita Zoila Barboza Ruiz y a mi tía Maribel Tapia Barboza por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. CONTEXTO	1
1.2. PROBLEMA	1
1.3. JUSTIFICACIÓN	2
1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.5. OBJETIVOS	3
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.6. DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS	3
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANTECEDENTES	4
2.2. BASES TEÓRICAS	4
2.2.1. LA CUENCA HIDROLÓGICA	4
2.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA	5
2.2.3. FACTORES CLIMÁTICOS	8
2.2.4. IMPACTOS POR LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS	10
2.2.5. MORFOLOGÍA DE RÍOS	19
2.2.6. PROPIEDADES DE LOS SEDIMENTOS	29
2.2.7. INICIO DE LA EROSIÓN	35
2.2.8. RUGOSIDAD Y FORMAS DEL LECHO	36
2.2.9. FÓRMULAS DE RESISTENCIA	37
2.2.10. PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS, PÉRDIDA DE SUELO EN CUENCA	38
2.2.11. ARRASTRE DE FONDO	43
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	47
III. MATERIALES Y MÉTODOS	49
3.1 UBICACIÓN ESPACIAL	49
3.2 UBICACIÓN TEMPORAL	50
3.3 EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	50
3.3.1 EQUIPOS DE CAMPO	50
3.3.2 EQUIPOS DE GABINETE	53
3.3.3 MATERIALES	57
3.4 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS	57
3.4.1 DEMOGRAFÍA	57

3.4.2	RECURSOS AGROPECUARIOS E INDUSTRIALES.....	58
3.5	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	58
3.5.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS AGROECOLÓGICAS	58
3.5.2	SUELOS	59
3.5.3	GEOLOGÍA.....	60
3.5.4	ZONIFICACIÓN MORFODINÁMICA DE LA CUENCA ALTA.....	60
3.5.5	COBERTURA VEGETAL.....	61
3.6	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	63
3.7	PROCEDIMIENTO.....	65
3.7.1	ETAPA DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	65
3.7.2	PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA.....	68
3.7.3	CLIMATOLOGÍA	72
3.7.4	CARGA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN.....	74
3.7.5	ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE DE FONDO	84
IV.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	90
4.1	ANÁLISIS DE LA CARGA DE SEDIMENTOS DE SUSPENSIÓN.....	90
4.2	ANÁLISIS DE LA CARGA DE SEDIMENTOS DE FONDO	90
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
5.1	CONCLUSIONES.....	92
5.2	RECOMENDACIONES	92
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
VII.	ANEXOS.....	95
7.1.	PRECIPITACIÓN DEL MES DE MÁXIMA PLUVIOSIDAD (ABRIL)	95
7.2.	ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.....	97
7.3.	PANEL FOTOGRÁFICO	99
7.3.1	TRABAJO DE CAMPO	99
7.3.2	TRABAJO DE GABINETE:.....	103
7.4.	INFORMACIÓN DE OPEMA – JEQUETEPEQUE GALLITO CIEGO	106
7.5.	PLANOS.....	110

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores críticos de Δ_0 del estadístico Smirnov - Kolmogorov	17
Tabla 2 Clasificación de los sedimentos según Rouse (1950)	31
Tabla 3 Rugosidad de contorno K_s para cauces abiertos con contorno granular.....	37
Tabla 4 Valores del coeficiente de rugosidad de Manning	38
Tabla 5 Población Total por área Urbana y Rural Valle Jequetepeque - 2015	57
Tabla 6 Estaciones meteorológicas utilizadas en la Presente Investigación.	66
Tabla 7 Parámetros geométricos de unidades hidrográficas.	68
Tabla 8 Pendiente promedio de la cuenca del Río Jequetepeque (Criterio de J.W. Alvord)	69
Tabla 9 Clasificación de pendiente en las cuencas (Criterio de J.W. Alvord)	70
Tabla 10 Temperatura media anual por estaciones	72
Tabla 11 Humedad relativa media anual por estaciones	73
Tabla 12 Áreas parciales en la cuenca del río Jequetepeque.....	75
Tabla 13 Cálculo de la precipitación promedio por el método de las isoyetas.	76
Tabla 14 Cálculo del Promedio Ponderado del coeficiente orográfico.....	78
Tabla 15 Estación Hidrométrica Yonán (Caudales Máximos Diario).....	80
Tabla 16 Caudales y probabilidad observada y simulada	81
Tabla 17 Caudales Máximos para diferentes períodos de Retorno.	83
Tabla 18 Características de los sedimentos	85
Tabla 19 Cálculo del diámetro medio de los sedimentos.	86
Tabla 20 Resumen promedio de la tasa de sedimentación MMC/año.	88
Tabla 21 Comparación de las tasas de sedimentación MMC/año.....	88
Tabla 22 Precipitaciones de los meses de máxima pluviosidad (mm).	95
Tabla 23 Análisis Granulométrico de los sedimentos en la sección transversal S-1.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Método de las isoyetas en una cuenca, Fuente: Elaboración propia.....	9
Figura 2 La dirección con que la lluvia se desplaza a través de la cuenca.....	10
Figura 3 El Ciclo Hidrológico en una cuenca.	12
Figura 4 Un río con su sistema fluvial en tres partes.	19
Figura 5 Relación entre descarga dominante y descarga media (Chang 1979).....	21
Figura 6 Hidrograma.....	22
Figura 7 Hidrograma sintético.....	23
Figura 8 Hidrograma adimensional del SCS.....	24
Figura 9 Hidrograma Unitario.....	26
Figura 10 Propiedad de afinidad y propiedad de aditividad del hidrograma unitario.	26
Figura 11 Hidrograma en S. Generado por una precipitación continúa de una precipitación neta unidad.....	27
Figura 12 Determinación de la distribución granulométrica.....	33
Figura 13 Determinación de diámetro medio para aplicar la fórmula de Meyer - Peter.....	34
Figura 14 Proceso de erosión en una cuenca.....	40
Figura 15 Formas de transporte de sedimentos en suspensión y de Fondo.....	44
Figura 16 Ubicación política región Cajamarca.....	49
Figura 17 Ubicación del Río Jequetepeque aguas arriba de la Presa Gallito Ciego.....	49
Figura 18 Metodología para la determinación del transporte de sedimento total.....	63
Figura 19 Determinación del transporte de sedimento en suspensión.....	64
Figura 20 Determinación del transporte de sedimento de fondo.....	64
Figura 21 Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	70
Figura 22 Parámetro geométricos de la cuenca del río Jequetepeque.....	71
Figura 23 Método de las isoyetas.....	72
Figura 24 Cálculo de la precipitación media en la cuenca del río Jequetepeque.....	74
Figura 25 Cálculo de la precipitación media utilizando el programa Hidroesta.....	77
Figura 26 Precipitación del mes de máxima pluviosidad (mm).....	96
Figura 27 Análisis granulométrico de los sedimentos por tamizado.....	98

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Estación Yonán datos de caudales máximos diarios.	73
Imagen 2 Ámbito de estudios en la ciudad de Tembladera.	99
Imagen 3 Zona periférica del embalse Gallito Ciego.	99
Imagen 4 Límites del espejo de agua del embalse Gallito Ciego.	99
Imagen 5 Tramo de entrega se sedimentos al embalse Gallito Ciego.	100
Imagen 6 Fijación del punto de muestreo - tramo de entrega se sedimentos.	100
Imagen 7 Determinación de la temperatura del agua - Tramo de entrega.	100
Imagen 8 Levantamiento Topográfico del Tramo de entrega.	101
Imagen 9 Determinación del ancho del cauce del río - Tramo de entrega.	101
Imagen 10 Determinación de la pendiente del cauce - Tramo de entrega.	101
Imagen 11 Puntos de muestreo C1, C2, C3 – Sección transversal 01.	102
Imagen 12 Turbidez del agua en la estación hidrométrica Yonán.	102
Imagen 13 Muestras de suelos para analizar en el laboratorio.	103
Imagen 14 Determinación del peso de cada muestra.	103
Imagen 15 Secado a temperaturas ambientales cada una de las muestras.	103
Imagen 16 Muestras de suelos en el laboratorio.	104
Imagen 17 Muestras de suelos en el laboratorio – juego de tamices.	104
Imagen 18 Ensayo granulométrico de los sedimentos.	105
Imagen 19 Determinación del peso específico de cada muestra.	105
Imagen 20 Equipos instalados en la embarcación hidrográfica.	106
Imagen 21 Posicionamiento de la embarcación en el levantamiento batimétrico.	106
Imagen 22 Levantamiento batimétrico – visualización en planta.	107
Imagen 23 Levantamiento batimétrico – Modelo Digital del Embalse Gallito Ciego.	107
Imagen 24 Creación de Curvas de Nivel del Embalse Gallito Ciego.	108
Imagen 25 Generación de una Matriz en todo el Embalse Gallito Ciego.	108
Imagen 26 Generación de una Matriz en la cola del Embalse Gallito Ciego.	109
Imagen 27 Cálculo del volumen en el Embalse Gallito Ciego.	109

RESUMEN

El objeto de esta investigación es determinar la tasa anual de transporte de sedimentos del río Jequetepeque, en el tramo de entrega a la presa Gallito Ciego, y analizar el impacto en la vida útil de este importante proyecto. Para este estudio se utilizó un registro de caudales máximos (1965 - 2015) de la estación hidrométrica Yonán ($7^{\circ}15'21.50''$ S, $79^{\circ}05'56''$ W), registro de precipitación total mensual de 27 estaciones meteorológicas pertenecientes y vecinas a la Cuenca del Río Jequetepeque, las características técnicas de la presa y, los resultados globales de batimetría (abril, 1999). Se realizó el estudio mediante la distribución Gumbel y el método de Meyer- Peter y Müller para predecir los caudales líquidos y la tasa de sedimentación anual en el embalse de la presa, respectivamente. Los resultados de la tasa pronóstico de este estudio es de 9.17 MMC/año y la obtenida de los estudios batimétricos es de 8.82 MMC/año; pero ambas altamente discrepantes con la tasa de diseño del proyecto (1.70 MMC/año), lo cual evidencia debilidad del estudio sedimentológico, agravado por falta de programas de manejo de cuenca y control de sedimentos, el hecho de haber forzado la factibilidad del proyecto (Beneficio/Costo=0.70).

Palabras claves: Transporte de sedimentos, estudio sedimentológico, embalse, Presa, vida útil.

ABSTRACT

The purpose of this investigation is to determine the annual sediment transport rate of the Jequetepeque River, in the delivery section to the Gallito Ciego dam, and to analyze the impact on the useful life of this important project. For this study a register of maximum flow rates (1965 - 2015) of the Yonan hydrometric station ($7^{\circ} 15'21.50''$ S, $79^{\circ} 05'56''$ W), monthly Total Precipitation Record of 27 meteorological stations belonging and neighboring to the Jequetepeque River Basin, the technical characteristics of the dam and, the global bathymetry results (April, 1999). The study was carried out using the Gumbel distribution and the Meyer-Peter and Müller method to predict the liquid flow rates and the annual sedimentation rate in the reservoir of the dam, respectively. The results of the prognosis rate of this study is 9.17 MMC / year and that obtained from the bathymetric studies is 8.82 MMC / year; but both highly disagree with the design rate of the project (1.70 MMC / year), which shows weakness of the sedimentological study, aggravated by the lack of basin management and sediment control programs, the fact of having forced the feasibility of the project (Benefit / Cost = 0.70).

Key words: Sediment transport, sedimentological study, reservoir, Dam, life span.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO

La sedimentación de las grandes presas es un problema que atañe a todas las cuencas reguladas del mundo. Sin embargo, en las cuencas con altos índices de degradación y sin control de sedimentos, el tiempo de vida económica de estas presas es demasiado corto, tanto así, que resulta imposible la recuperación de la gran inversión. El colapso prematuro de las grandes presas no sólo trae consigo, excesivas pérdidas económicas, sino también problemas de índole social y altos riesgos de impactos ambientales; con mayores repercusiones en los países más pobres. La falta de información sedimentológica, unido a la pobreza de criterios en la estimación de la tasa de transporte de sedimentos de los ríos que alimentan a las grandes presas, han contribuido al fracaso de los diseños en el Perú.

1.2. PROBLEMA

El río Jequetepeque no sólo contribuye positivamente a la regulación del agua, mediante la presa Gallito Ciego, sino que simultáneamente a ello, sobre todo en situaciones extraordinarias de avenidas, aporta excesivas cantidades de sedimentos, tanto en suspensión como de arrastre o de fondo. Esta última característica, provoca sedimentación acelerada en el embalse, impactando negativamente en la vida económica del proyecto, conduciéndolo irremediablemente a un colapso prematuro y provocando ingentes pérdidas económicas al país. La magnitud de tales pérdidas suele conceptualizarse fácilmente si se tiene en cuenta que la vida económica de las grandes presas debe ser tan larga cuanto menor sea su rentabilidad (mayor de 100 años y nunca menos de 50 años) y que el costo promedio que representa, según la Comisión Mundial de Represas (CMR), es del orden de **2 a 4 Millones de Dólares US por cada Millón de Metros Cúbicos de Volumen Útil**. El problema de la sedimentación en el embalse Gallito Ciego se agrava por la presencia de los fenómenos periódicos de El Niño y por falta de planes y programas de manejo de cuenca y de control de sedimentos. A todo ello hay que agregar el mismo hecho de no haber considerado los recursos necesarios para el *desmantelamiento*, tal como se hace en otras latitudes del mundo, provocará un alto riesgo de impactos negativos, tanto sociales como ambientales, para las poblaciones ubicadas aguas abajo de la presa.

La presa Gallito Ciego entró en funcionamiento en el año 1988 y funciona en forma continua hasta la fecha.

Frente a todo este estado de cosas, que representan las grandes presas, la CMR, en su informe de año 2000, recomienda no construir grandes presas, al menos que se hayan agotado todas las alternativas, desde reducción de pérdidas de agua hasta tratamientos y reúsos, pasando por el empleo de tecnologías de punta, todo junto cuesta menos que construir una presa grande, sobre todo en países en vías de desarrollo. Si al final, la decisión es construir una gran presa, con fondos públicos, deben preverse los recursos necesarios para manejo de cuenca y control de sedimentos (el plan de manejo y de control de sedimentos debe empezar unos diez años antes de la ejecución del proyecto), mantenimiento de infraestructura y desmantelamiento de la presa. Debe tenerse en cuenta que en las grandes presas es imposible su mantenimiento, por los altos costos que representa (dragados); pues mantener una gran presa cuesta mucho más que construir otra nueva (CMR).

Debido a las descargas máximas dadas en la cuenca de río Jequetepeque y Teniendo conocimiento que la Represa Gallito Ciego entró en operación en 1988, es posible estimar una tasa de transporte de sedimentos en una cuenca con fines de regulación, no obstante las limitaciones, que permita establecer su horizonte económico.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La selección de una adecuada metodología para la estimación de la tasa de transporte de sedimentos será un gran aporte, para la complejidad de la cuenca del río Jequetepeque. Esto, unido a los criterios de plan de manejo y de control de sedimentos de las cuencas de captación.

1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

Los criterios metodológicos del presente estudio, contribuyen a mejorar la calidad de los estudios sedimentológicos de futuros proyectos de grandes presas y a la planificación de mantenimientos periódicos de infraestructura de riego; así como a la prevención de desastres y mitigación de impactos ambientales negativos por efecto de inundaciones en años hidrológicos muy húmedos.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la tasa de transporte de sedimentos del río Jequetepeque, en el tramo de entrega a la presa Gallito Ciego, y analizar el impacto en la vida útil de este importante proyecto.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la carga de sedimentos de suspensión mediante el método de la Ecuación universal de Pérdida de suelo de enero a marzo de 2015.
- Determinar la carga de sedimentos de fondo mediante el método de Meyer-Peter y Müller de enero a marzo de 2015.
- Estudio comparativo de resultados de las tasas de sedimentación de los métodos utilizados en el presente estudio y la del proyecto.
- Analizar el impacto en su horizonte económico del proyecto.

1.6. DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

A continuación en el capítulo II, se presenta el marco teórico con antecedentes, bases teóricas y definiciones básicas; en el capítulo III, los materiales y métodos, donde se muestra el procedimiento seguido en la investigación, así como el tratamiento de los datos climatológicos usados, en el capítulo IV, se presenta un análisis y discusión de resultados donde se analiza los resultados obtenidos y se presentan en tablas y gráficos; finalmente en el capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones y las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo contiene una revisión de los principales temas que dan el fundamento a la investigación, presentando antecedentes teóricos de la investigación, bases teóricas y definición de términos básicos.

2.1. ANTECEDENTES

En la zona se ha encontrado estudios similares, sin embargo se han encontrado documentos que pueden aportar de sobremanera al desarrollo de este estudio, a continuación se presenta algunos estudios relacionados al tema a desarrollar.

En Lima, 2004 se ha desarrollado II SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CONTROL DE LA EROSIÓN CONFERENCIA “ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS DEL MANEJO DE CUENCAS EN LAS ZONAS ÁRIDAS SUJETAS AL FENÓMENO DE EL NIÑO” a cargo del Ing. Arturo Rocha Felices, docente de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde nos indicaba:

La presa de Gallito Ciego, sobre el río Jequetepeque, es la estructura clave del proyecto Jequetepeque – Zaña. La presa entró en operación en 1988, y desde entonces ha sufrido una importante pérdida de su volumen útil como consecuencia de la sedimentación ocurrida, principalmente durante el Meganiño 1997 – 1998. La autoridad del proyecto promovió el año 2003 la realización de un “estudio de Prefactibilidad para la protección del embalse gallito ciego de la colmatación por acarreo”.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. LA CUENCA HIDROLÓGICA

Según (Villón, 2011)

La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido.

2.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA

LÍMITE DE LA CUENCA

Según (Mejía, 2012)

Toda cuenca está limitada por una línea formada por los puntos de mayor nivel topográfico, llamada divisoria, que divide las precipitaciones que caen en cuencas vecinas y que encamina la escorrentía superficial resultante para uno u otro sistema fluvial. La divisoria sigue una línea rígida alrededor de la cuenca, atravesando el curso de agua solamente en el punto de salida y uniendo los puntos de cota máxima entre cuencas, lo que no impide que en el interior de una cuenca existan picos aislados con cotas superiores a algunos puntos de la divisoria.

ÁREA DE LA CUENCA (A)

Según (Mejía, 2012)

El área de la cuenca o área de drenaje es el área plana (proyección horizontal) comprendido dentro del límite o divisoria de aguas. El área de la cuenca es el elemento básico para el cálculo de las otras características físicas y es determinado, normalmente con planímetro y expresado en km^2 o hectáreas.

En la actualidad existen gran variedad de programas que nos permiten determinar con mayor precisión longitudes y superficies de las cuencas. Entre los paquetes computacionales, se tienen:

- Sistema de información geográfica: ARGIS, IDRISI, ETC.
- AUTO CAD, AUTOCAD CIVIL3D, ETC.

CARACTERÍSTICAS DE RELIEVE

Según (Mejía, 2012)

El relieve de una cuenca hidrográfica tiene gran influencia sobre los factores meteorológicos e hidrológicos, pues la velocidad de la escorrentía superficial es determinada por la pendiente de la cuenca, mientras que la temperatura, la precipitación, la evaporación etc. son funciones de la altitud de la cuenca. Es muy importante, por lo tanto, la determinación de las curvas características del relieve de una cuenca hidrográfica.

a. CURVA HIPSOMÉTRICA

Según (Mejía, 2012)

Es la representación gráfica del relieve medio de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de las diferentes superficies de la cuenca con referencia al medio

del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestra el porcentaje del área de drenaje que existe por encima o por debajo de las diferentes elevaciones o cotas.

Según (Villón, 2011)

Para construir la curva hipsométrica, se utiliza un mapa con curvas de nivel, el proceso es como sigue:

- Se marcan sub - áreas de la cuenca siguiendo las curvas de nivel, por ejemplo, de 100 m en 100 m.
- Se determinan las áreas parciales de esos contornos.
- Se determinan las áreas acumuladas, de las porciones de la cuenca.
- Se determina el área acumulada que queda sobre cada altitud del contorno.
- Se plotean las altitudes, versus las correspondientes áreas acumuladas que quedan sobre esas altitudes.

b. CURVA DE FRECUENCIA DE ALTITUDES

ALTITUD MEDIA (H)

Según (Villón, 2011)

Es la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella, el 50% del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% está situado por debajo de ella.

c. PENDIENTE DEL CAUCE

Según (Reyes, Ulises y Carvajal, 2011)

La pendiente del cauce es uno de los factores importantes que inciden en la capacidad que tiene el flujo para transportar sedimentos, por cuanto está relacionada directamente con la velocidad del agua. En los tramos de pendiente fuerte los cauces tienen pendientes superiores al 3%, y las velocidades de flujo resultan tan altas que pueden mover como carga de fondo sedimentos de diámetros mayores de 5 centímetros, además de los sólidos que ruedan por desequilibrio gracias al efecto de lubricación producido por el agua.

d. PENDIENTE UNIFORME DEL CAUCE (S)

Según (Villón, 2011)

Este método considera la pendiente del cauce, como la relación entre el desnivel que hay entre los extremos del cauce y la proyección horizontal de su longitud, es decir:

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad (1)$$

Donde:

S = Pendiente uniforme del cauce.

ΔH = Diferencia de cotas entre los extremos del cauce, en Km.

L = Longitud del cauce, en Km.

Este método se puede utilizar en tramos cortos.

e. COEFICIENTE OROGRÁFICO (C_0)

Según (Reyes, Ulises y Carvajal, 2011)

Es la relación entre el cuadrado de la altitud media del relieve y la superficie proyectada sobre un plano horizontal (ecuación 2). Este parámetro expresa el potencial de degradación de la cuenca, crece mientras que la altura media del relieve aumenta y la proyección del área de la cuenca disminuye. Por esta razón si el valor del coeficiente orográfico es < 6 , representa un relieve poco accidentado propio de cuencas extensas y de baja pendiente; y si el valor es > 6 , es un relieve accidentado (Quintero, 2003). El coeficiente orográfico se calcula empleando la ecuación (2):

$$C_0 = \frac{H^2}{A} \quad (2)$$

Donde:

C_0 = Coeficiente orográfico (Adimensional).

H = Altitud media del relieve (km).

A = Área de la cuenca (km^2).

Este parámetro combina dos variables esenciales del relieve: su altura, que influye en la energía potencial del agua, y el área proyectada, cuya inclinación ejerce acción sobre la escorrentía directa por efecto de las precipitaciones (Quinteros, 2003).

2.2.3. FACTORES CLIMÁTICOS

TIPO O FORMA DE PRECIPITACIÓN

Según (Mejía, 2012)

El tipo o forma de precipitación tiene gran importancia sobre la variación del caudal de un río.

INTENSIDAD DE LLUVIA

Según (Mejía, 2012)

Cuando la intensidad de lluvia excede la tasa de infiltración del suelo, ocurre escorrentía superficial debido a la precipitación excedente. Cuanto mayor sea la intensidad de lluvia mayor será el caudal del curso de agua.

DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Según (Mejía, 2012)

Precipitaciones con duración por debajo del tiempo de concentración de la cuenca, independientemente de la intensidad, tendrán prácticamente el mismo período de escorrentía superficial, mientras que, para lluvias más largas, el período de escorrentía será mayor. Otro efecto de la duración de la precipitación es que la capacidad de infiltración decrece durante la lluvia.

DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN UNA CUENCA

Según (Mejía, 2012)

La distribución uniforme de la precipitación, sobre una cuenca sucede raramente. Para pequeñas cuencas, los caudales picos ocurren para lluvias de gran intensidad que cubren pequeñas áreas, mientras que, para cuencas grandes, los caudales picos ocurren para lluvias de baja intensidad, pero que cubren áreas muy extensas.

ALTURA DE PRECIPITACIÓN ANUAL

Según (Villón, 2011)

Es la suma de las alturas de precipitación mensual, ocurridas en un año.

ALTURA DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

Según (Villón, 2011)

Es el promedio aritmético de las alturas de precipitación anual, correspondiente a un cierto número de años.

Para calcular la precipitación media de una tormenta o la precipitación media anual, se utilizará el método de las Isoyetas.

MÉTODO DE LAS ISOYETAS

Según (Villón, 2011)

Para este método, se necesita un plano de isoyetas de la precipitación registrada, en las diversas estaciones de la zona en estudio. Las Isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación (figura 1). Este método es el más exacto, pero requiere de un cierto criterio para trazar el plano de isoyetas. Se puede decir que, si la precipitación es de tipo orográfico, las isoyetas tenderán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Por supuesto, entre mayor sea el número de estación es dentro de la zona en estudio, mayor será la aproximación con lo cual se trace el plano de isoyetas.

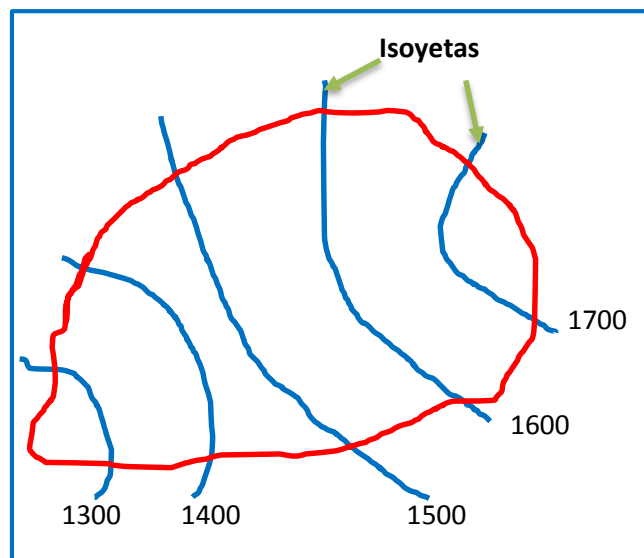


Figura 1 Método de las isoyetas en una cuenca, Fuente: Elaboración propia

El método consiste en:

1. Ubicar las estaciones dentro y fuera de la cuenca.
2. trazar las isoyetas, interpolando las alturas de precipitación entre las diversas estaciones, de modo similar a cómo se trazan las curvas de nivel.
3. hallar las áreas A_1, A_2, \dots, A_n entre cada 2 isoyetas seguidas.
4. Si P_0, P_1, \dots, P_n son las precipitaciones representadas por las isoyetas respectivas, calcular la precipitación media utilizando:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i \quad (3)$$

Donde:

P_{med} = Precipitación media.

A_T = Área total de la cuenca.

P_i = Altura de precipitación de las isoyetas i .

n = Número de áreas parciales.

DIRECCIÓN DE DESPLAZAMIENTO DE LA LLUVIA

Según (Mejía, 2012)

La dirección con que la lluvia se desplaza a través de la cuenca en relación al sentido de flujo del sistema de drenaje, tiene gran influencia sobre el caudal pico resultante y sobre la duración de la escorrentía superficial. Si consideramos que las intensidades de las lluvias 1, 2, 3, de la figura 2, son iguales; los hidrogramas resultantes, producto de las lluvias, en el punto de control (estación de aforos) serán muy diferentes.

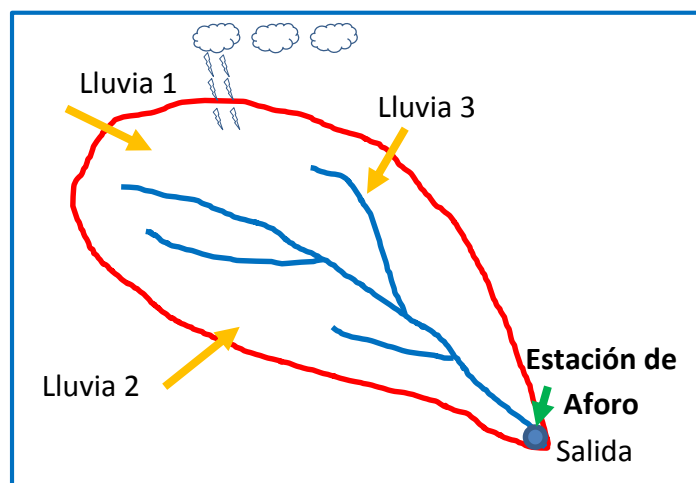


Figura 2 La dirección con que la lluvia se desplaza a través de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.4. IMPACTOS POR LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS

Según (Mejía, 2012)

EFECTOS HIDROLÓGICOS

La construcción de una presa es, normalmente, el responsable por las modificaciones profundas en las características hidrológicas del curso de agua, tanto en lo que se refiere al régimen de flujo como del transporte de sedimentos.

A. ALTERACIONES EN EL RÉGIMEN DEL FLUJO

La construcción de una presa altera substancialmente el régimen de flujo hacia aguas arriba, pues transforma un determinado tramo del río, con aguas corrientes, en un lago artificial.

Como consecuencia, la formación del embalse provoca modificaciones en el nivel freático, en los alrededores del lago, siendo estas modificaciones más o menos significativas, de acuerdo con la variación del nivel de agua en el embalse, a lo largo del tiempo. Esto puede causar problemas en la estabilidad de los taludes periódicamente inmersos, en las fundaciones de las edificaciones cercanas al embalse, en los pozos de abastecimiento de agua, en las áreas agrícolas ribereñas y en la vegetación natural remanente.

B. ALTERACIONES EN EL RÉGIMEN DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

La construcción de una presa, crea condiciones para que una gran cantidad de material sólido, transportado por el río, sea depositado a aguas arriba y, por lo tanto, disminuye la cantidad de material transportado para aguas abajo. Como consecuencia de este fenómeno, se tiene la pérdida de la fertilidad de tierras ribereñas hacia aguas abajo que, durante las pequeñas avenidas eran inundadas, por consiguiente, beneficiadas con la deposición de material orgánico.

La oscilación del nivel de agua en el embalse, en función de su operación, puede provocar desmoronamientos de sus márgenes, lo que puede causar un aumento en la colmatación del embalse y, por lo tanto, una disminución en su vida útil.

EL CICLO HIDROLÓGICO

Según (Aparicio, 2016)

El ciclo hidrológico, se considera el concepto fundamental de la hidrología. De las muchas representaciones que se pueden hacer de él, la más ilustrativa es quizás la descriptiva (véase figura 3).

Como todo ciclo, el hidrológico no tiene ni principio ni fin, y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y la otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos. Del agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o bien hacia zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar.

Donde:

$$P(X < x) = 1 - \frac{1}{T} \quad (7)$$

Ó

$$T = \frac{1}{1 - P(X < x)} \quad (8)$$

Donde:

T= Período de retorno.

$P(X \geq x)$ =Probabilidad de excedencia.

$P(X < x)$ = Probabilidad de no excedencia.

CONCEPTO DE RIESGO (R)

Según (Villón, 2016)

Si un evento de diseño, por ejemplo un caudal de diseño Q , tiene un período de retorno de T años, y una probabilidad de excedencia P , de acuerdo al apartado anterior, se cumple:

$$P = \frac{1}{T} \quad (9)$$

Donde:

P =Probabilidad de ocurrencia de un caudal $\geq Q$

T =Período de retorno

La probabilidad de que Q no ocurra en cualquier año; es decir, la probabilidad de ocurrencia de un caudal $< Q$, es:

$$\bar{P} = 1 - P \quad (10)$$

$$\bar{P} = 1 - \frac{1}{T} \quad (11)$$

Si se supone que la no ocurrencia de un evento en un año cualquiera, es independiente de la no ocurrencia del mismo, en los años anteriores y posteriores, entonces la probabilidad de que el evento no ocurra en n años sucesivos ó confiabilidad, es:

$$\bar{P} \cdot \bar{P} \dots \bar{P}_{(n \text{ factores})} = \bar{P}^n = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (12)$$

La probabilidad de que el evento, ocurra al menos una vez en n años sucesivos, es conocida como riesgo o falla R , y se representa por:

$$R = 1 - (\bar{P})^n \quad (13)$$

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (14)$$

Donde:

R = Riesgo o falla.

T = Período de retorno.

n = Vida útil del proyecto.

Con el parámetro riesgo, es posible determinar cuáles son las implicaciones, de seleccionar un período de retorno dado de una obra, que tiene una vida útil de **n años**.

CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD EMPÍRICA O EXPERIMENTAL

Según (Villón, 2016)

Dado un conjunto de datos ordenados:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$$

Existen varias fórmulas para calcular la probabilidad de ocurrencia de los datos ordenados, la más utilizada es la fórmula empírica de Weibull.

FÓRMULA EMPÍRICA DE WEIBULL

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (15)$$

Donde:

P = Probabilidad experimental acumulada o frecuencia relativa empírica.

m = Número de orden.

n = Número de datos.

Para calcular la probabilidad de excedencia $P(X \geq x)$, los datos se ordenan de mayor a menor, mientras que para calcular la probabilidad de no excedencia $P(X < x)$, los datos se ordenan de menor a mayor.

PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Según (Villón, 2016)

Las pruebas de bondad de ajuste, consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base en los valores muestrales.

PRUEBA DE SMIRNOV – KOLMOGOROV

Según (Villón, 2016)

La prueba de ajuste de Smirnov – Kolmogorov, consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo, es decir:

$$\Delta = \text{máx}|F(X) - P(X)| \quad (16)$$

Donde:

Δ = Estadístico de Smirnov – Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.

$F(X)$ = Probabilidad de la distribución teórica.

$P(X)$ = Probabilidad experimental o empírica de los datos, denominada también frecuencia acumulada.

El estadístico Δ tiene su función de distribución de probabilidades.

Si Δ_0 es un valor crítico para un nivel de significación α , se tiene que:

$$P(\Delta \geq \Delta_0) = \alpha \quad (17)$$

También:

$$P(\Delta < \Delta_0) = 1 - \alpha \quad (18)$$

El procedimiento para efectuar el ajuste, mediante el estadístico de Smirnov – Kolmogorov, es el siguiente:

1° Calcular la probabilidad empírica o experimental $P(x)$ de los datos, para esto usar la fórmula de Weibull.

2° Calcular la probabilidad teórica $F(x)$:

- Para el caso de utilizar el procedimiento de los modelos teóricos, usar la ecuación de la función acumulada $F(x)$, o tablas elaboradas para tal fin.

3° Calcular las diferencias $F(x) - P(x)$, para todos los valores de x .

4° Seleccionar la máxima diferencia (Δ).

5° Calcular el valor crítico del estadístico Δ , es decir Δ_0 , para un $\alpha = 0.05$ y N igual al número de datos. Los valores de Δ_0 , se muestran en la tabla 1.

6° Comparar el valor del estadístico Δ , con el valor crítico Δ_0 de la tabla 1, con los siguientes criterios de decisión deducidos de la ecuación (17):

Si

$\Delta < \Delta_0 \rightarrow$ El ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado.

$\Delta \geq \Delta_0 \rightarrow$ El ajuste no es bueno, al nivel de significación seleccionado, siendo necesario probar con otra distribución.

Ventajas y limitaciones

1. No requiere un conocimiento a priori de la función de distribución teórica.
2. Es aplicable a distribuciones de datos no agrupados, es decir, no se requiere hacer intervalos de clase.
3. Es aplicable a cualquier distribución teórica.
4. Se aplica en la función de distribución acumulada y no en la función de densidad.
5. Comparándola con la prueba Chi – cuadrado, no se requiere que la frecuencia absoluta de cada clase, sea igual o mayor que 5.
6. No es una prueba exacta, sino una prueba aproximada.

Tabla 1 Valores críticos de Δ_0 del estadístico Smirnov - Kolmogorov

Para varios valores de N y niveles de significación α .

Tamaño muestral N	Nivel de significación α				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.25	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
N>35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

RÉGIMEN DE CAUDALES

Según (Martínez, 2001)

La distribución de los caudales en un río es el fruto de la distribución del régimen de precipitaciones unido a la situación de la cuenca tanto desde el punto de vista geológico, topográfico, estado de la vegetación, etc., como de la actividad humana. Es en este aspecto donde la influencia del hombre incide con mayor intensidad. La distribución de los caudales está afectada por la acción humana debido a:

- Construcción de embalses
- Transvases
- Incremento del uso del agua (regadíos)
- Actuación en las cuencas
- Modificación de las zonas inundables (encauzamientos)

CAUDALES MÁXIMOS

MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Según (Villón, 2011)

Los métodos estadísticos, se basan en considerar que el caudal máximo anual, es una variable aleatoria que tiene una cierta distribución. Para utilizarlos se requiere tener como datos, el registro de caudales máximos anuales, cuanto mayor sea el tamaño del registro, mayor será también la aproximación del cálculo del caudal de diseño, el cual se calcula para un determinado período de retorno.

Por lo general, en los proyectos donde se desea determinar el caudal de diseño, se cuenta con pocos años de registro, por lo que, la curva de distribución de probabilidades de los caudales máximos, se tiene que prolongar en su extremo, si se quiere inferir un caudal con un período de retorno mayor al tamaño del registro. El problema se origina, en que existen muchos tipos de distribuciones que se apegan a los datos, y que sin embargo, difieren en los extremos. Esto ha dado lugar a diversos métodos estadísticos, dependiendo del tipo de distribución que se considere.

Gumbel y Nash consideran una distribución de valores extremos, con la única diferencia, que el criterio de Nash es menos rígido que el de Gumbel, pues permite ajustar la distribución por mínimos cuadrados.

DISTRIBUCIÓN GUMBEL

Según (Aparicio, 2016)

$$F(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (19)$$

Donde:

$F(X \leq x)$: Probabilidad de que se presente un valor igual o menor que x .

e : base de los logaritmos neperianos.

α y β : son los parámetros de la función.

Los parámetros α y β se estiman como:

$$\alpha = \frac{1.2825}{s} \quad (20)$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45 S \quad (21)$$

La probabilidad de que se presente un caudal mayor que x será:

$$F(X > x) = 1 - F(X \leq x) \quad (22)$$

$$X = \beta - \frac{1}{\alpha} \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \quad (23)$$

2.2.5. MORFOLOGÍA DE RÍOS

Según (Gracia, 1987)

La morfología de ríos estudia la estructura y forma de los ríos, incluyendo la configuración del cauce en planta, la geometría, de las secciones transversales, la forma del fondo y las características del perfil.

EL SISTEMA FLUVIAL

Según (Apacla, 2014)

Un río está dentro del dominio del sistema fluvial, que consiste de la cuenca de drenaje y de los reservorios, lagos u océanos ubicados aguas abajo. Schumm (1977) ha dividido el sistema fluvial en tres partes, como se muestra en la Figura 4.

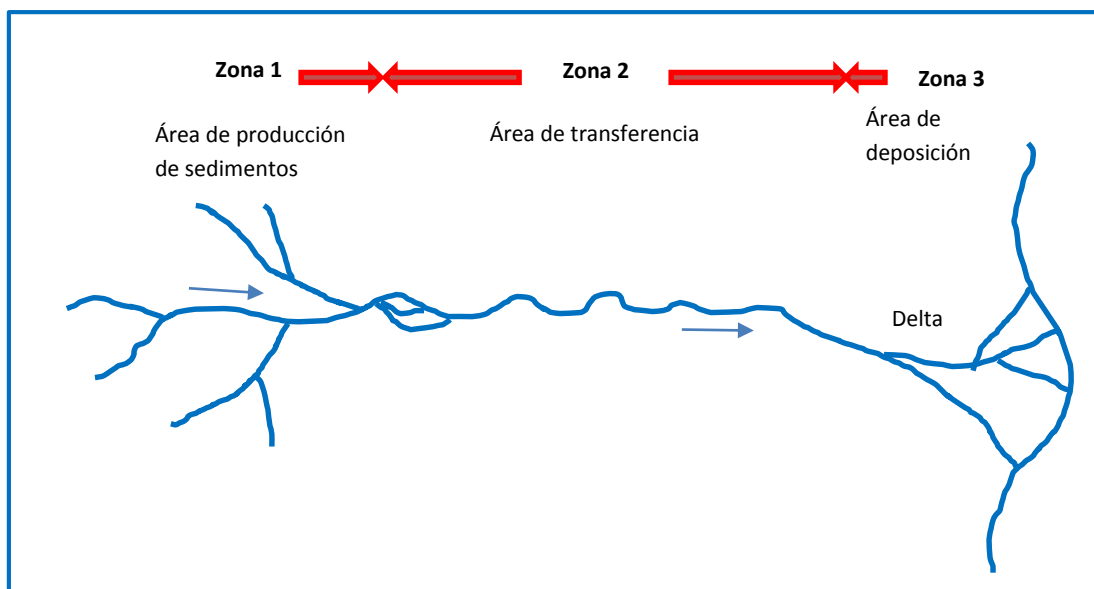


Figura 4 Un río con su sistema fluvial en tres partes.

Fuente: Apacla, 2014.

La parte superior, o Zona 1, es la porción de cuenca donde se origina la mayor cantidad de agua y sedimentos. Quebradas pequeñas en esta zona se caracterizan por ser inestables y a menudo por encontrarse trezadas. Debido a la inestabilidad de los cauces, el estudio de la geomorfología del río solo puede ser analizado sobre la base de asunciones gruesas mas no detalladas.

La parte media o Zona 2 es el tramo en el cual el río es más estable y donde su configuración está mejor definida. Los ríos grandes presentan tramos largos en esta Zona 2, pero la misma puede estar ausente en ríos pequeños. Este es el tramo en el cual se realizan los mayores estudios, modelamientos y obras de control.

La zona 3 está cerca de la boca de salida donde el río aluvial está bajo la influencia de las variaciones de las mareas. Los ríos en esta zona a menudo se encuentran trezados.

CAUDAL DOMINANTE O FORMATIVO DEL CAUCE (BANKFULL DISCHARGE)

Según (Apacla, 2014)

La formación del cauce de un río es el resultado del cambio constante de las descargas, y la descarga a cauce lleno, es usualmente utilizada como la descarga formativa del cauce, para cambios en la geometría del canal, aguas abajo.

Esta simplificación aproximada se justifica en el lecho de que descargas bajas, con movimiento mínimo de sedimentos, contribuyen menos a la formación del cauce. También, el incremento en la descarga por encima del nivel de los bancos llenos es, mayormente, absorbido por el ancho de la planicie de inundación y por lo tanto generalmente tiene menos efecto en la forma del canal.

Existen varios criterios en su definición, dos de los cuales se mencionan a continuación:

Como aquel caudal que, de permanecer constante a lo largo del año, transporta la misma cantidad de material de fondo que el hidrograma anual.

Como el caudal máximo que es capaz de pasar por el cauce principal sin que desborde hacia la planicie. Este criterio ha conducido a resultados más congruentes.

La descarga formativa o dominante de varios ríos estudiados por Williams (1978) no tiene una frecuencia recurrente común. Usando un conjunto de 233 datos, Williams obtuvo la siguiente ecuación de regresión para la descarga formativa.

$$Q = 4.0 A_f^{1.21} S^{0.28} \quad (24)$$

Donde:

Q = descarga dominante en $pies^3/s$.

A_f = área correspondiente al cauce con caudal dominante

S = pendiente de la superficie de agua

La descarga dominante usualmente es mayor que la descarga media anual. Chang (1979), basado en datos publicados por Schumm (1968) y Carlston (1965), obtuvo una relación entre la descarga dominante y la descarga media, como se muestra en la Figura 5.

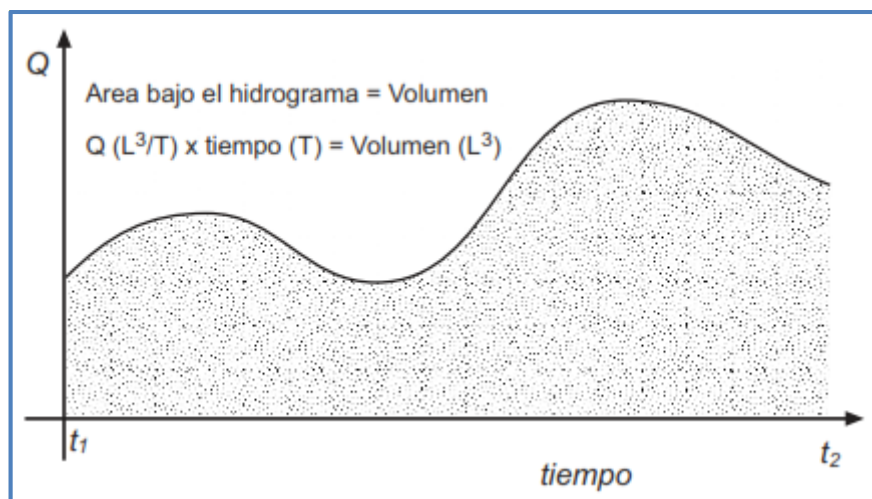


Figura 6 Hidrograma.

Fuente: Sánchez, 2004.

HIDROGRAMAS SINTÉTICOS

Según (Sánchez, 2004)

Para tener una idea aproximada de la respuesta de una cuenca pequeña a unas precipitaciones cortas y homogéneas, podemos utilizar algunas fórmulas empíricas que, basándose en características físicas de la cuenca (superficie, pendiente media, longitud del cauce,...) proporcionan una idea del hidrograma resultante.

La forma del hidrograma se esquematiza como un triángulo (figura 7), lo que, a pesar de su excesiva simplicidad, nos proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma: el caudal punta (Q_p), el tiempo base (t_b) y el tiempo en el que se produce la punta (t_p). En la misma figura 3 se señalan la duración de la precipitación neta (D) y el tiempo de retardo o respuesta (t_r).

En el cálculo de un hidrograma sintético se introduce precipitación neta.

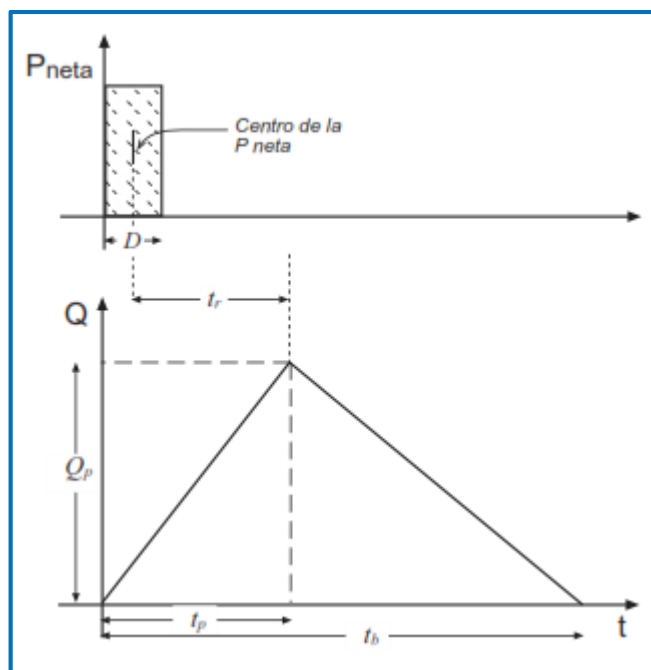


Figura 7 Hidrograma sintético

Fuente: Sánchez, 2004.

Hidrograma triangular del SCS

Según (Sánchez, 2004)

Esquematisando un hidrograma como un triángulo, para dibujarlo necesitamos las coordenadas de la punta del hidrograma (tiempo de punta y caudal de punta) y la abscisa del punto final (tiempo base). Estos valores se consiguen con estas expresiones:

Tiempo de la punta (horas):

$$t_p = 0,5 * D + t_r \approx 0,5 * D + 0,6 * t_c \quad (25)$$

Tiempo base (horas):

$$t_b = 2,67 * t_p \quad (26)$$

Caudal de la punta (m³/seg):

$$Q_p = \frac{P.A}{1,8.t_b} \quad (27)$$

Donde:

t_p = Tiempo de la punta (horas)

D= Duración de la precipitación neta (horas)

t_r =Tiempo de retardo, t_r (horas)

t_c =Tiempo de concentración (horas)

t_b =Tiempo base (horas)

Q_p = Caudal de la punta (m³/seg)

P = Precipitación neta (mm)

A = Superficie de la cuenca (km²)

La primera parte de la expresión (25) se obtiene observando la figura 7. La segunda parte de (25) se basa en que empíricamente se promedia que el t_r es aproximadamente el 60% del tiempo de concentración.

El coeficiente 2,67 de la ecuación (26) es una proposición empírica del SCS que refleja que en promedio el descenso es 1,67 veces mayor que la crecida (la parte derecha del triángulo es más ancha que la parte izquierda). Si este factor es mayor, el tiempo base será mayor y el caudal punta menor (ya que el área del triángulo debe ser la misma).

La ecuación (27) se obtiene igualando el volumen de agua precipitado (altura de precipitación* superficie de la cuenca) al área comprendida bajo el triángulo (base*altura/2; es decir: $t_b \cdot Q_p/2$).

Igualando: $P \cdot A = t_b \cdot Q_p/2$, y se despeja Q_p . Operando para introducir en la fórmula P en mm, A en km² y pasar t_b de horas a seg (3600 seg/hora), se obtiene la fórmula de Q_p .

Hidrograma adimensional del SCS

Conseguido el hidrograma en forma de triángulo, conviene darle una forma similar a la de los hidrogramas reales. Esto se consigue con el hidrograma adimensional.

Considerando una gran cantidad de hidrogramas, y convirtiendo sus coordenadas de modo que las coordenadas de la punta en todos fueran $Q_p = 1$ y $t_p = 1$, (es decir, haciéndolos del mismo tamaño), los técnicos del SCS observaron que la mayoría de los hidrogramas de crecida tenían una forma similar a la de la figura 8.

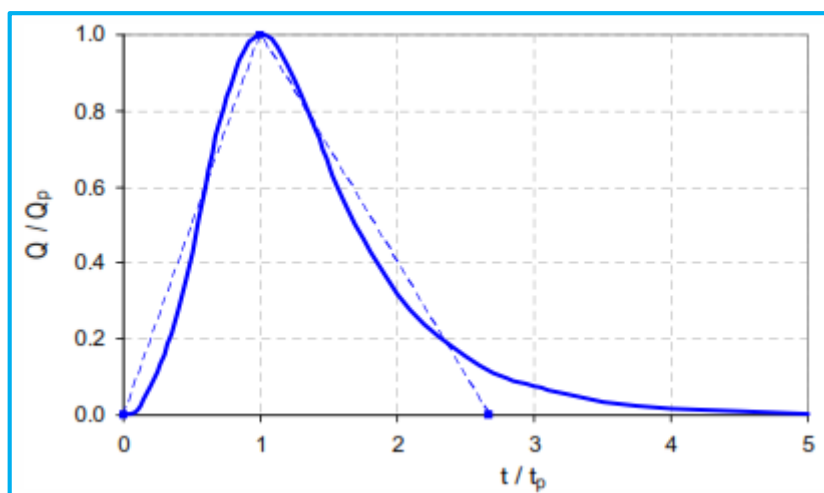


Figura 8 Hidrograma adimensional del SCS

Fuente: Sánchez, 2004.

Hidrograma de Témez

Es similar al del SCS, la principal diferencia es la apreciación del tiempo de retardo a partir del tiempo de concentración. Su cálculo es el siguiente (Ferrer, 1993, p.41):

Tiempo de retardo (horas):

$$t_r = \frac{3}{8} t_c - \frac{1}{8} D \quad (28)$$

(o simplificando):

$$t_r = 0,35 \cdot t_c \quad (29)$$

Tiempo de la punta (horas):

$$t_p = 0,5 \cdot D + t_r \quad (30)$$

Tiempo base (horas):

$$t_b = D + t_c \quad (31)$$

Caudal de la punta (m³/seg):

$$Q_p = \frac{P \cdot A}{1,8 \cdot t_b} \quad (32)$$

Donde:

t_r = Tiempo de retardo, t_r (horas).

t_c =Tiempo de concentración (horas).

D =Duración de la precipitación neta (horas).

t_p = Tiempo de la punta (horas).

Q_p =Caudal de la punta (m³/seg).

t_b =Tiempo base (horas).

P = Precipitación neta (mm).

A = superficie de la cuenca (km²).

Hidrograma Unitario

Se trata de un concepto fundamental al abordar el problema de calcular la escorrentía que producirán unas precipitaciones determinadas. Fue propuesto por Sherman en 1932.

El Hidrograma Unitario de una cuenca es el hidrograma de escorrentía directa que se produciría en la salida de la cuenca si sobre ella se produjera una precipitación neta unidad de una duración determinada (por ejemplo, 1mm.durante 1 hora) (figura 9).

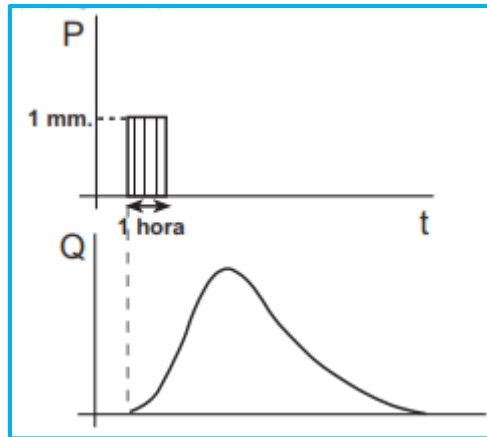


Figura 9 Hidrograma Unitario

Fuente: Sánchez, 2004.

Esa precipitación debe producirse con intensidad constante a lo largo del período considerado y repartida homogéneamente en toda la superficie de la cuenca.

La definición original (y que se encuentra actualmente en los textos anglosajones) se refiere a la esorrentía producida por una precipitación neta de una pulgada durante una duración cualquiera. Así, se habla del HU de 1 pulgada durante 2 horas o cualquier otra unidad de tiempo. En unidades métricas nos referiremos a una precipitación unidad de 1mm. o de 1cm. Si en una cuenca determinada disponemos del hidrograma unitario de 1 mm en 1 hora, podremos construir el hidrograma producido por cualquier precipitación. Por ejemplo, si llueve 2 mm, durante 1 hora, bastará multiplicar por 2 las ordenadas de todos los puntos del hidrograma (figura.10, izquierda).

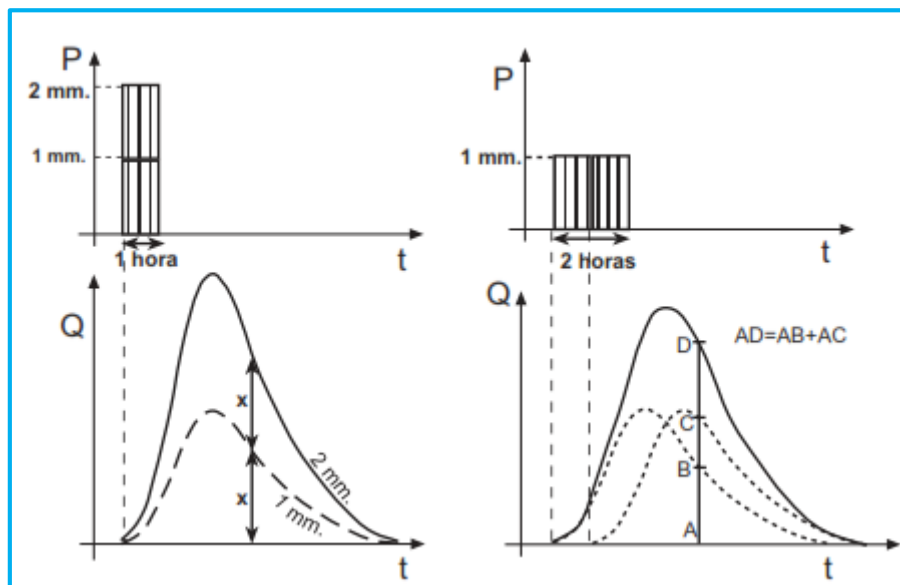


Figura 10 Propiedad de afinidad y propiedad de aditividad del hidrograma unitario.

Fuente: Sánchez, 2004.

Análogamente, si disponemos del hidrograma unitario de esa cuenca y llueve 1 mm. Durante 2 horas, bastará dibujar dos hidrogramas unitarios desplazados 1 hora en sentido horizontal y sumar las ordenadas de sus puntos (Figura 10, derecha).

Estas dos propiedades, expresadas en la Figura 10 se conocen, respectivamente, como propiedad de afinidad y propiedad de aditividad del hidrograma unitario.

HIDROGRAMA EN S (HS)

Es el hidrograma que se generaría si se produjera una precipitación unidad durante un tiempo ilimitado.

Si disponemos del Hidrograma Unitario para una cuenca, (por ejemplo, el generado por una P eficaz de 1 mm. durante 1 hora) podemos construir el hidrograma que se produciría si lloviera 1mm.indefinidamente. Por el principio de aditividad del HU se obtendría el hidrograma que se presenta en la figura 11, sumando sucesivos HU de 1mm – 1 hora.

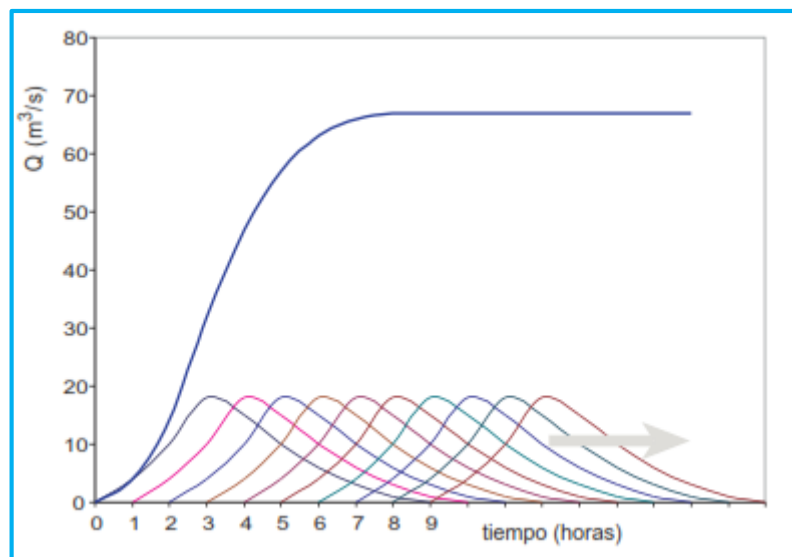


Figura 11 Hidrograma en S. Generado por una precipitación continua de una precipitación neta unidad

Fuente: Sánchez, 2004.

CLASIFICACIÓN GENÉTICA DE LOS RÍOS

Según (Martínez, 2001)

Las distintas zonas de los ríos se pueden clasificar por el predominio bien de la erosión o bien de la sedimentación. Según este criterio tenemos los siguientes tipos:

- **Jóvenes:** ríos de montaña donde predomina claramente la erosión.
- **Maduros:** zonas medias de los ríos donde existe un equilibrio dinámico entre erosión y sedimentación.
- **Viejos:** zonas bajas de los ríos donde predominan fenómenos de sedimentación.

PROPIEDADES PARA LOS FLUIDOS

Según (Maza, 1987)

DENSIDAD O MASA ESPECÍFICA (ρ)

La densidad se define como la masa de una sustancia contenida en la unidad de volumen, es decir:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (33)$$

Las dimensiones de la densidad son $\{\rho\} = \{ML^{-3}\} = \{FL^{-4}T^2\}$.

Sus unidades en el sistema internacional son: kg/m^3 .

Y en el sistema técnico: $kgf * s^2/m^4$.

PESO ESPECÍFICO (γ)

Es el peso de una sustancia contenida en la unidad de volumen, es decir:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (34)$$

Donde:

W =Peso de la sustancia.

V = El volumen de referencia.

Sus dimensiones son $\{\gamma\} = \{ML^{-2}T^{-2}\} = \{FL^{-3}\}$.

En el sistema internacional sus unidades son 0

: $\left(\frac{kg}{m^2} * s^2\right)$ ó (N/m^3) .

y en el técnico: kgf/m^3 .

El peso específico y la densidad se relacionan mediante la segunda ley de Newton, por lo que puede escribirse.

$$\gamma = \rho g \quad (35)$$

Donde:

g = Aceleración que produce el campo gravitatorio.

Según (Juárez y Rico, 2016)

- γ_w = peso específico del agua en las condiciones reales de trabajo, la variación de los valores de γ_w , en función de la temperatura, que es el concepto que más influye en dicha variación.

2.2.6. PROPIEDADES DE LOS SEDIMENTOS

Según (Martínez, 2001)

Los sedimentos pueden ser estudiados como partículas aisladas o como conjunto. Dentro de las propiedades de las partículas que forman el sedimento existen algunas que son de gran importancia para nuestro estudio, tales como:

- Tamaño
- Forma
- Densidad / Peso específico
- Velocidad de sedimentación

Existen otras propiedades como la cohesión, floculación, etc. Dentro de las propiedades de los sedimentos como conjunto, la distribución granulométrica es la más importante.

Tamaño de la partícula

El tamaño de la partícula es una de las propiedades más importante dentro de este campo de estudio, ya que influye directamente en la velocidad de sedimentación asociada al transporte sólido, y por otra parte, influye en la rugosidad del cauce y, como consecuencia, en el régimen de velocidades.

El tamaño de la partícula queda definido por los conceptos:

a) Diámetro nominal.

Diámetro de una esfera cuyo volumen sea igual al de la partícula.

b) Diámetro equivalente.

Longitud de la malla más pequeña por lo que pasa la partícula.

c) Diámetro de sedimentación.

Diámetro de una esfera del mismo material (igual peso específico) cuya velocidad de sedimentación sea idéntica a la de la partícula.

Nótese que en el diámetro de sedimentación se incluyen las propiedades del fluido en el que se mueve la partícula (a través de la velocidad de sedimentación).

Los conceptos anteriormente indicados se usan para distintos tipos de tamaño. El diámetro nominal es habitual emplearlo para tamaños grandes (superiores a las arenas). En las arenas se emplea el diámetro equivalente, y para tamiz inferior a 1/16 mm, (límite entre arenas, limos y arcillas) se emplea el diámetro de sedimentación.

DENSIDAD DE LOS SEDIMENTOS

La densidad de los sedimentos es función de su composición; generalmente éstos están formados por cuarzos y feldespatos, por lo que tienen habitualmente una densidad del orden de 2,65. En casos particulares, tales como los sedimentos procedentes de rocas volcánicas o de elementos metálicos, carbón u otros, la densidad será distinta de la indicada.

PESO ESPECÍFICO DE LA FASE SÓLIDA DEL SUELO (γ_s)

Es la razón que resulta de comparar el peso de la fase sólida del suelo con el volumen de su fase sólida.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (36)$$

SEDIMENTOS O SUELOS SUMERGIDOS

Cuando los sedimentos o suelos están dentro del agua o bajo el nivel freático, el empuje hidrostático influye en los pesos, tanto específicos como específicos relativos. El peso específico de la materia sólida sumergida es:

$$\gamma'_s = \gamma_s - \gamma_w \quad (37)$$

Donde:

γ'_s = Peso específico de la materia sólida sumergida.

γ_s = Peso específico de la fase sólida del suelo.

γ_w = Peso específico del agua en las condiciones reales de trabajo.

PROPIEDADES DE LOS SEDIMENTOS COMO CONJUNTO

Las partículas que forman el sedimento se pueden estudiar como un conjunto. De todas sus propiedades es la granulometría la más importante a efectos de nuestro estudio; otras propiedades, como el peso específico, la porosidad o el ángulo de reposo son de segundo orden en importancia.

La granulometría de una mezcla de partículas es la clasificación de las partículas que la forman por tamaños.

La medida y separación por tamaños se realiza por distintos métodos:

- a) **Tamaños grandes** (gravas gruesas y superiores), por método de medida directa habitualmente “in situ”.
- b) **Tamaños medios**, por tamizado a través de mallas normalizadas.
- c) **Los tamaños finos** generalmente se separan por sedimentación.

Existen varias nomenclaturas para denominar los distintos tamaños de las distribuciones granulométricas, siendo clásica la de Rouse (1950) (ver tabla 2)

Tabla 2 Clasificación de los sedimentos según Rouse (1950)

TIPO	DIÁMETRO (mm)	DENOMINACIÓN
	64-32	Grava muy gruesa
	32-16	Grava gruesa
GRAVAS	16-8	Grava media
	8-4	Grava fina
	4-2	Grava muy fina
	2-1	Arena muy gruesa
	1-1/2	Arena gruesa
ARENAS	1/2 – ¼	Arena media
	1/4 – 1/8	Arena fina
	1/8 - 1/16	Arena muy fina
	1/16 – 1/32	Limos gruesos
	1/32 – 1/64	Limos medios
LIMOS	1/64 – 1/128	Limos finos
	1/128 – 1/256	Limos muy finos
	1/256 – 1/512	Arcillas gruesas
	1/512 – 1/1024	Arcillas medias
ARCILLAS	1/1024 – 1/2048	Arcillas finas
	1/2048 – 1/4096	Arcillas muy finas

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Según (Díaz, 2014)

La caracterización granulométrica de una muestra de suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos o partículas que la componen. Para la caracterización de la distribución granulométrica se tiene más de un criterio. Sin embargo, en mecánica de suelos dicha caracterización se realiza según la norma ASTM D 422.

Se usan generalmente dos métodos:

1. Análisis con mallas para tamaños mayores de 0.075 mm (malla número 200).
2. Análisis con hidrómetro para partículas menores de 0.075 mm.

Análisis con mallas

El análisis con mallas consiste en obligar a pasar la muestra de suelo a través de un conjunto de mallas o tamices de alambre (figura 12) y calcular el porcentaje en peso de los retenidos en cada malla. Con base en los porcentajes en peso de los retenidos en cada malla, se determinan los porcentajes acumulados del material que pasa por cada malla, restando de 100% el porcentaje retenido en la primera malla. A este valor se le resta el porcentaje parcial retenido en la segunda malla, y así sucesivamente.

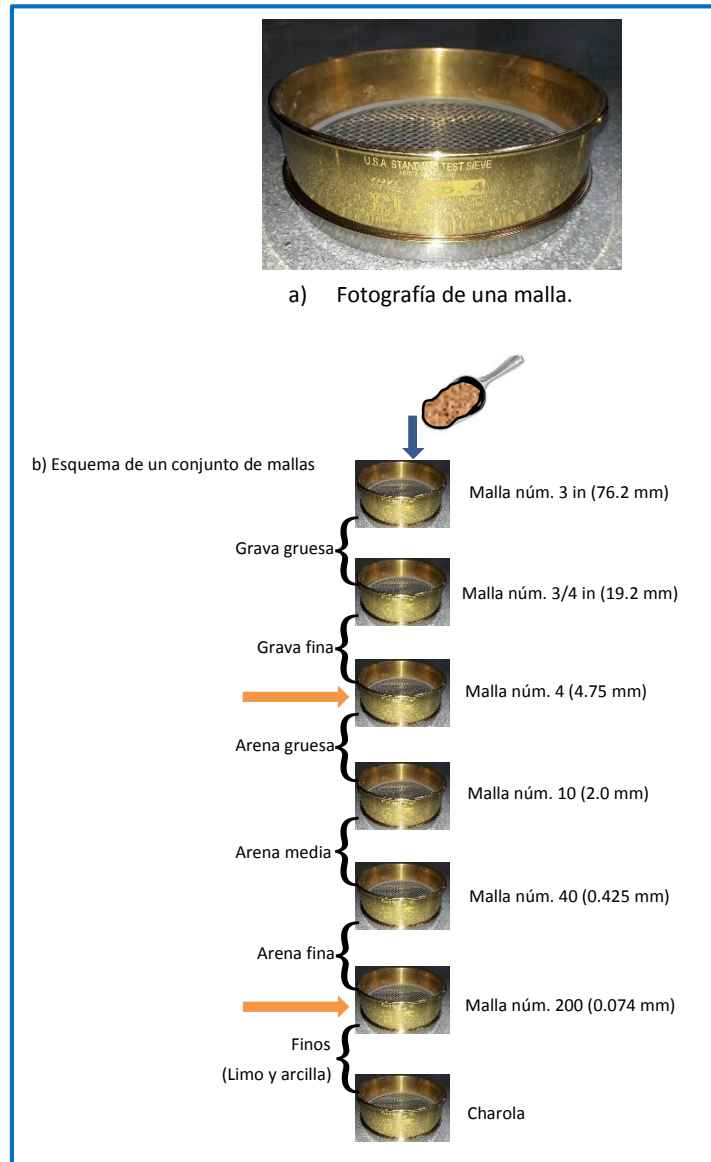


Figura 12 Determinación de la distribución granulométrica.

Fuente: Elaboración propia.

DIÁMETRO MEDIO (D_m)

En la fórmula de transporte de Meyer – Peter, es usado el diámetro medio.

$$D_m = \frac{\sum \Delta_i D_i}{100} \quad (38)$$

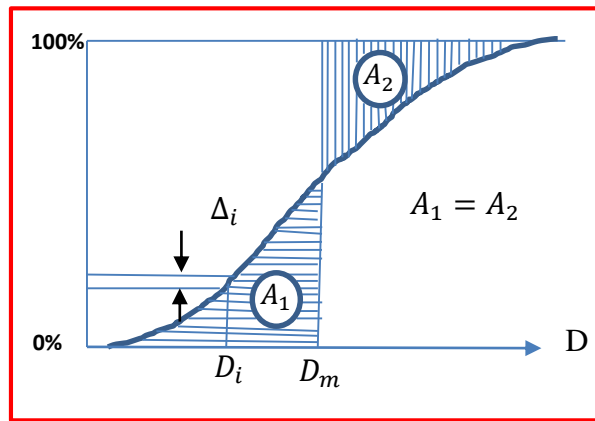


Figura 13 Determinación de diámetro medio para aplicar la fórmula de Meyer - Peter.

Fuente: Elaboración propia.

TOMA DE MUESTRAS

Según (Martínez, 2001)

La caracterización del contorno que delimita el río obliga al conocimiento de la granulometría del cauce. Por ello es necesario la toma de muestras; ésta, como cualquier otro muestreo, debe ser representada del fenómeno que investiga y lógicamente lo más simple y limitada en cuanto a número de muestras y a su volumen o peso. Por todo ello se indican a continuación una serie de recomendaciones con el fin de orientar la situación, el número y volumen de las muestras a considerar para un muestreo apropiado.

En primer lugar, es necesario realizar una planificación de la toma de muestras teniendo claro el objetivo final de las muestras extraídas del cauce. Es conveniente considerar que en el coste total del muestreo existe un coste inicial importante, de forma que habitualmente el desplazamiento al campo se realiza una sola vez, por lo que como ya se ha indicado, éste deberá ser planificado. Por último, es importante destacar que un excesivo número de ensayos, complica, encarece e incluso dificulta el trabajo; por todo ello resulta aconsejable el análisis inicial de la zona de estudio antes de la planificación del muestreo.

En segundo lugar es conveniente, si es posible, zonificar el área de estudio de forma que se identifiquen partes que desde el punto de vista hidráulico, geológico etc. Sean similares con el fin de caracterizar, con un número inferior de muestras, la zona. Por ejemplo zonas de cauce normal, vega de avenida, zona interior – exterior de un meandro, etc., es decir, áreas que por su diferente geología o morfología y composición puedan tener “a priori” distinta granulometría.

En tercer lugar las muestras deberán ser representativas del fenómeno que se analice; por ello, si se está estudiando la influencia del contorno en el flujo hidráulico, dependerá si éste es capaz de mover la capa superficial, o no, es decir si el armado o acorazamiento del cauce impide, o no, el movimiento de las partículas. Si no existe movimiento, sólo afectan las partículas que forman la superficie; si existe movimiento, influye en una profundidad variable que la mayoría de los autores cuantifica en $2D_{50}$ (un espesor de dos veces el diámetro medio, que es del orden de magnitud del tamaño máximo).

En último lugar, el tamaño de la muestra debe ser representativo. Como en la mayoría de los casos se recoge en campo sin poder pesar la muestra es habitual trabajar en volúmenes, en este caso el volumen mínimo se determina de forma que el tamaño mayor no supere el 1% de la muestra. Si la muestra es superficial, el criterio es el mismo, pero aplicado sólo a los elementos que están en la superficie.

La puesta en campo de la técnica de muestreo varía según la zona esté emergida o sumergida. En el primer caso la recogida del sedimento se puede realizar con una “pala” de fondo plano que garantice la profundidad de la toma, mientras que en el segundo caso, cuando se realiza en una zona ocupada por el agua, se complica e incluso se debe acudir a equipos suspendidos de un cable que se depositan en el fondo y recogen la muestra de forma automática.

Si la muestra no es volumétrica sino superficial es habitual marcar (con pintura) los elementos que están en la superficie para poder identificarlos cuando son retirados del lecho.

2.2.7. INICIO DE LA EROSIÓN

Según (Martínez, 2001)

El inicio de la erosión se puede definir como el umbral de separación entre el final de los “movimientos de ajuste” de las partículas del fondo y el comienzo de la generalización del movimiento del fondo.

2.2.8. RUGOSIDAD Y FORMAS DEL LECHO

Según (Martínez, 2001)

En el movimiento de ríos en sus tramos medios o bajos, el cauce está formado por materiales erosionables; cuando la energía de la corriente hidráulica es lo suficientemente intensa para iniciar el movimiento, en el fondo del cauce se produce un movimiento de partículas que configura una nueva situación y forma del lecho del río. La superficie en este momento puede no ser plana sino ondulada originando las formas del lecho. Estas formas del lecho están condicionadas por la capacidad de transporte del cauce, pero a su vez configuran la rugosidad del contorno que afecta a la resistencia que éste ejerce sobre el flujo hidráulico, por lo que existe una relación entre:

- a) Parámetros hidráulicos (calado, caudal, pendiente).
- b) Rugosidad del lecho.
- c) Carga sólida transportada.
- d) Forma geométrica del lecho.

La pérdida de carga y el transporte son función de la pendiente, el calado, la rugosidad del lecho y la distribución granulométrica.

El calado

Es uno de los factores básicos ya que al aumentar crece la energía de la corriente hidráulica y en consecuencia su capacidad de transporte, produciendo la transición entre las distintas formas de lecho. La transición se realiza primero en el Thalweg, luego se generaliza a toda la sección.

La pendiente (S)

Es debida a que produce aumento de la componente del peso según el plano del cauce, con el consiguiente aumento de la tensión cortante de arrastre.

El tamaño del material

Influye en primer lugar en el caudal sólido Q_s arrastrado por el río, pero también influye indirectamente sobre:

- La propia velocidad a través de la interacción fluido – partícula
- La rugosidad del lecho.
- Variación en el campo de turbulencias.

La distribución granulométrica

Influye también, ya que no sólo es importante el tamaño de los sedimentos, sino la propia distribución de tamaños que afecta a la capacidad total de arrastre.

2.2.9. FÓRMULAS DE RESISTENCIA

Según (Martínez, 2001)

La resistencia que un cauce erosionable presenta al movimiento del fluido es función de los parámetros hidráulicos asociados al fenómeno: caudal, calado, rugosidad, densidad del agua, etc.

Para cauces abiertos con contorno granular se han propuesto valores experimentales según el tamaño del sedimento, donde K_S es la rugosidad de contorno.

Tabla 3 Rugosidad de contorno K_s para cauces abiertos con contorno granular

AUTOR	K_S
Einstein (1950)	D_{65}
Meyer – Peter (1948)	D_{90}
Simons – Richardson (1960)	D_{85}

FÓRMULA DE MANNING (1889)

$$U = \frac{1}{n} R_H^{2/3} S_E^{1/2} \quad (39)$$

Donde:

U = Velocidad media.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

R_H = Radio hidráulico de la sección (m).

S_E = Pérdida de carga media.

En la tabla 4 se han incluido valores habituales del número de Manning.

Para lechos granulares algunos autores han propuesto fórmulas aproximadas que relacionan la “n” con el tamaño del sedimento.

Strickler (1923). Propuso la expresión:

$$n = \frac{D^{1/6}}{21,1} \quad (40)$$

Siendo D el diámetro en metros del lecho (supuesto uniforme). $D = D_{50}$

Meyer – Peter y Müller (1948). Propusieron la modificación de la anterior según:

$$n = \frac{D_{90}^{1/6}}{26} \quad (41)$$

Donde:

- $D_{90}(m)$ = Diámetro correspondiente al 90% más fino en la curva de distribución de tamaño de partícula.

Tabla 4 Valores del coeficiente de rugosidad de Manning

CAUCES NATURALES	Mínimo	Normal	Máximo
Ríos de meseta rectos y sin hoyas	0.025	0.030	0.033
Ríos de meseta con curvas, piedras y vegetación	0.033	0.040	0.045
Igual al anterior con boyas y maleza	0.045	0.070	0.100
Ríos de montaña	0.030	0.040	0.050
Inundaciones en pastizales	0.025	0.030	0.050
Sobre sembrados nacidos	0.020	0.030	0.040
Sobre sembrados no nacidos	0.025	0.040	0.050
Sobre monte bajo	0.035	0.060	0.110
Sobre bosques	0.040	0.070	0.150

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE STRICKLER (k_s)

$$k_s = \frac{1}{n} \quad (42)$$

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL PROPUESTO POR MEYER – PETER Y MÜLLER (k_r)

Que caracteriza la pérdida de carga por arrastre del material.

$$k_r = \frac{26}{D_{90}^{1/6}} \quad (43)$$

2.2.10. PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS, PÉRDIDA DE SUELO EN CUENCA

Según (Martínez, 2001)

En hidráulica fluvial se estudia la erosión, el transporte y la sedimentación en el cauce, pero para que este proceso dinámico exista es necesario que se produzca el sedimento en la propia cuenca. Éste sufrirá un proceso de movimiento hasta el cauce fluvial y en él se producirá el proceso anteriormente citado de erosión transporte y sedimentación. Con el planteamiento anterior, la producción de sedimentos en cuenca es el proceso que “alimenta” de sólidos el

flujo hidráulico, pero es un tema mucho más complejo, ya que esta “producción” de sólidos es en definitiva, visto desde el punto de vista de la cuenca, un proceso de pérdida de suelo. La erosión en cuenca y como consecuencia el arrastre de materiales hacia cotas inferiores, produce pérdidas de suelo entendiendo como tal la suma de partículas de origen mineral, como nutrientes orgánicos e inorgánicos, y de seres vivos. Esta pérdida de suelo afecta a la cubierta vegetal que se degrada con intensidad. También afecta negativamente a la capacidad de retención de agua por falta a su vez de suelo y de cubierta vegetal, por lo que el proceso se autopotencia lo que conduce a una degradación rápida.

PROCESO DE EROSIÓN DE SEDIMENTOS EN CUENCA

Según (Martínez, 2001)

El proceso de erosión en cuenca tiene tres fases; inicialmente se produce la remoción de las partículas por la acción de la lluvia, también del viento y a veces por la acción humana; posteriormente las partículas “sueltas” presentes en el suelo son transportadas a lo largo de la ladera y por último estos materiales son depositados en los cauces de los ríos y en definitiva pueden alcanzar las zonas más llanas, los embalses o el océano.

La primera fase, basada en el desprendimiento de las partículas sólidas presentes en la superficie, se debe (ver figura 14) a la energía de impacto que producen las gotas de agua sobre el terreno y que originan la remoción del suelo y la aparición de partículas “sueltas” que pueden estar fácilmente sujetas al transporte. En esta primera fase la cantidad de partículas removidas es función del número de gotas de agua caídas sobre la superficie, así como de su energía cinética (masa y velocidad).

Así mismo existen otros factores que aceleran el proceso de removido inicial de las partículas, como es el viento y sobre todo la actividad humana, ya que un laboreo inapropiado puede facilitar el proceso de desprendimiento de las partículas del terreno. En el lado contrario la presencia de la vegetación como cobertura vegetal así como la presencia de las raíces hace que las partículas que forman el suelo se mantengan unidas y sea más difícil su remoción.

La segunda fase del proceso de pérdida de suelo se produce cuando la capacidad de infiltración y de retención del terreno es inferior a la intensidad de precipitación y se inicia el proceso de escorrentía en la ladera; este flujo superficial arrastra las partículas “sueltas” por el proceso de salpicado de la primera fase.

Dentro del proceso de transporte se puede distinguir una primera parte por escurrimiento superficial en la ladera, con poca energía debido al escaso calado que se produce. En esta fase sólo se transportan las partículas más finas y se identifica como el “transporte o carga de lavado”, estos materiales finos alcanzan habitualmente el cauce principal y se depositan bien en embalses o en zonas muy llanas o bien pueden alcanzar el océano.

La segunda parte del transporte se produce en pequeños canalillos de milímetros de ancho y profundidad producidos por la concentración del escurrimiento superficial. En ellos se produce transporte de la carga de lavado así como erosiones producidas en los propios canalillos; éstos cambian o desaparecen de una tormenta a otra y por supuesto por el laboreo.

La tercera parte del transporte se produce en canales de mayor dimensión denominados cárcavas, que no desaparecen con el laboreo y cuyas dimensiones están en el entorno de centímetros a metros, en función del tipo de terreno y la intensidad de las tormentas. En las cárcavas la erosión es importante, produciéndose desde aguas abajo hacia aguas arriba. Es habitual la pérdida de suelo por desprendimiento de las márgenes, siendo el material erosionado más grueso que en los canalillos o en la ladera.

La última parte del transporte se produce ya en los canales o cauces estables donde se concentran los flujos, en ellos pueden aparecer fenómenos de transporte, sedimentación o erosión en función de las pendientes del cauce y de los caudales circulantes.

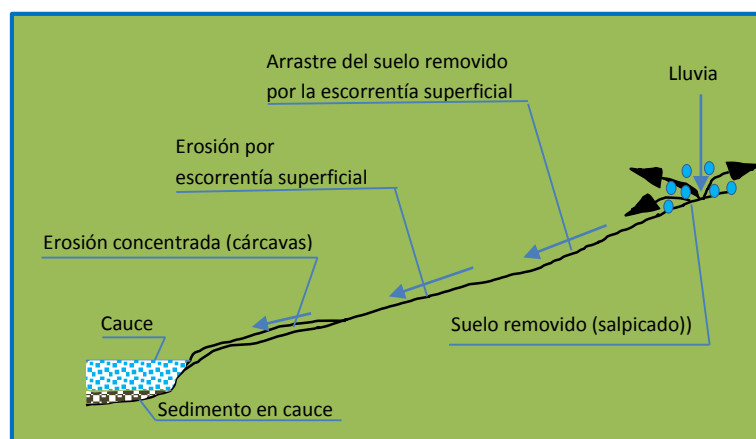


Figura 14 Proceso de erosión en una cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

FACTORES QUE CONDICIONAN LA PÉRDIDA DE SUELO

Según (Martínez, 2001)

Durante las últimas décadas ha aumentado la preocupación y el interés por los procesos de degradación del suelo cultivable debido a la pérdida del propio suelo y acrecentados por procesos de desertización, de forma que en determinadas áreas áridas (sobre todo del tercer mundo) se produce una pérdida de cobertura vegetal que a su vez condiciona un incremento de la pérdida de suelo y como consecuencia una creciente desertización.

Los parámetros que condicionan la pérdida de suelo se agrupan en condicionantes hidrológicos, topográficos, estructura y composición del propio suelo, características de la cobertura vegetal y la influencia humana a través de las prácticas de cultivo.

La lluvia y la escorrentía proporcionan, como ya se ha indicado, la energía inicial necesaria para el proceso de remoción y transporte de las partículas del suelo. Las características topográficas (pendiente y longitud) determinan tanto la energía que puede proporcionar la corriente hidráulica al transporte de las partículas como la longitud de ese transporte.

La composición y estructura del suelo (tamaño de las partículas, cohesión, ángulo de rozamiento interno, etc.) influyen evidentemente en la capacidad que la energía de la lluvia y la escorrentía tienen para arrastrar las partículas del suelo.

Las características de la cobertura vegetal, así como la cantidad de materia orgánica presente, son los factores quizás más determinantes en la susceptibilidad que presente un suelo a ser erosionado, ya que la propia cobertura vegetal actúa como elemento protector ante el impacto de la lluvia sobre el suelo, bien a través de hojas y ramas de las propias plantas vivas, bien a través de los restos vegetales presentes en la superficie que actúan como una auténtica capa protectora. Por otra parte las raíces de las plantas actúan como elemento de trabazón de las partículas del suelo evitando su arrastre.

Por último la actividad humana a través de las prácticas de cultivo y de algunas prácticas específicas de conservación del suelo modifica la susceptibilidad del mismo a ser erosionado. La forma de laboreo tanto en dirección como en intensidad, el aterrazamiento, la rotación de cultivos, el cultivo en franjas, etc. condicionan positiva o negativamente la pérdida de suelo.

Actualmente existen varias técnicas para cuantificar la pérdida de suelo en cuenca, algunas son fórmulas empíricas simples. La primera realizada con un soporte de investigación profundo fue desarrollada en los años 60 y es la ecuación general de pérdida de suelo; posteriormente se han desarrollado otras formulaciones y modelos que permiten la evaluación de la pérdida de suelo tanto en parcelas reducidas como en cuencas grandes. Actualmente la investigación se dirige a la utilización de técnicas basadas en los sistemas de información geográfica (SIG), unidos a la información cada vez más amplia y precisa que proporciona la fotografía desde satélite.

A falta de datos de transporte de sedimentos existen varias metodologías para estimar la tasa probable de sedimentos que transportan los ríos – modelos ecuaciones semiempíricas de **capacidad de transporte** de sedimentos y **potencial de degradación** de la cuenca – que a continuación se detalla algunas de ellas.

POTENCIAL DE DEGRADACIÓN DE CUENCA (SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN)

$$q_s = 2.65 \log \frac{P}{P_m} + 0.46 \log(C_o - 1.56) \quad (44)$$

Donde:

q_s = Degradación específica, Tn / Ha* mes húmedo.

P_m = Precipitación del mes de máxima pluviosidad, mm.

P = Módulo pluviométrico anual, mm.

C_o = Coeficiente orográfico %.

TRANSPORTE DE MATERIALES EN SUSPENSIÓN

Una parte importante del sedimento es transportado en suspensión, entendiéndose como tal el sedimento cuyo peso sumergido es soportado por las fuerzas que el fluido ejerce sobre él, pero distinguiendo el transporte en suspensión de las partículas que en algún momento entran en contacto con el lecho.

Carga suspendida por unidad de ancho q_{sv} .

$$q_{sv} = \int_a^d \bar{u} \bar{c} dy \quad (45)$$

Siendo:

d: el calado.

a: la parte del calado asociada al arrastre de fondo.

\bar{u} : velocidad media del fluido a la altura y.

\bar{c} : concentración media (en volumen) del sedimento en suspensión a la altura y.

FÓRMULA DE LANÉ – KALINSKE

Si se supone que el material es fino, $\beta = 1$,

$$q_{sw} = q c_a P_L \exp\left(\frac{-15 w a}{d u_*}\right) \quad (46)$$

Siendo:

q_{sw} : el caudal en suspensión en libras/ pie².

q : el caudal líquido en pies³/s.

c_a : la concentración de finos en peso a la altura del lecho.

d : el calado en pulgadas.

w : la velocidad de sedimentación en pulgadas/segundo.

MÉTODO DE EINSTEIN PARA EL CÁLCULO DE MATERIAL EN SUSPENSIÓN

Einstein parte de las hipótesis:

Tamaños finos de las partículas: $\beta = 1$, con lo que $\varepsilon_s = \varepsilon_m$.

$k = 0.4$ para la constante de Von – Karman.

Se admiten las siguientes igualdades:

$$u_* = u_*' \quad a=2D \quad k_s = D_{65}$$

$$q_{sw} = 11,6 u_*' c_a a \left[\left[2,303 \log_{10} \left(\frac{30,2 d}{\Delta} \right) \right] I_1 + I_2 \right] \quad (47)$$

Siendo:

$$I_1 = 0,216 \frac{E^{z-1}}{(1-E)^z} \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^z dy \quad (48)$$

$$I_1 = 0,216 \frac{E^{z-1}}{(1-E)^z} \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^z \ln y dy \quad (49)$$

2.2.11. ARRASTRE DE FONDO

Según (Martínez, 2001)

Es la parte de la carga de materiales del lecho que es transportada en la proximidad del fondo, por rodadura, deslizamiento y pequeños saltos.

Con relación a las formas de transporte, en el transporte de sólidos en el cauce las partículas pueden ser transportadas en suspensión (sin que sean depositadas en el fondo) o bien pueden ser arrastradas en las proximidades de él, entre ambas situaciones extremas existe la posibilidad de que la partícula presente en el fondo sea “elevada” por el flujo y transportada temporalmente hasta que “cae” de nuevo, ver figura 15.

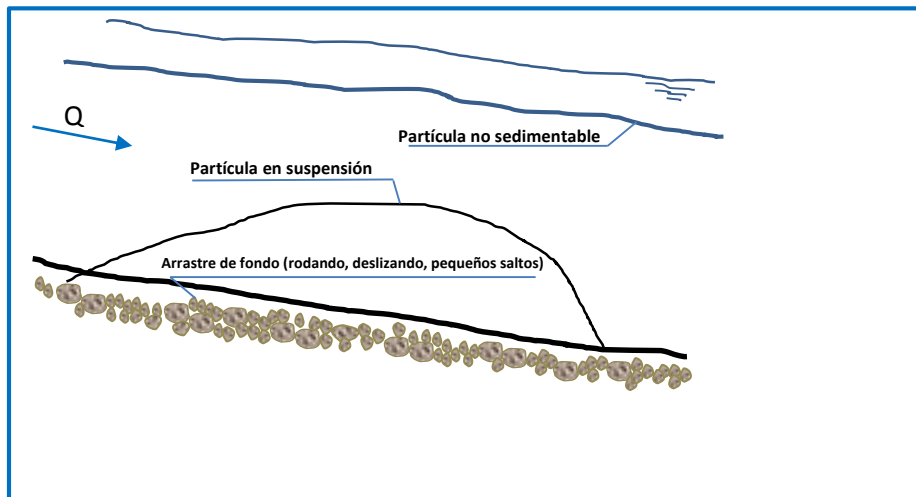


Figura 15 Formas de transporte de sedimentos en suspensión y de Fondo.

Fuente: Elaboración propia.

Los factores que influyen en el transporte y sedimentación son:

a) **Características del fluido:**

- Densidad.
- Viscosidad (temperatura).

b) **Propiedades de los sedimentos:**

- Densidad.
- Velocidad de sedimentación.
- Tamaño y forma de las partículas.
- Granulometría.

c) **Capacidad de transporte de la corriente fluvial:**

- Velocidad, movimientos secundarios.
- Pendiente, cortante.
- Rugosidad, forma del fondo.
- Calado, radio hidráulico.
- Trazado, forma de la sección.
- Turbulencia.

ARRASTRE DE FONDO: FÓRMULA DE MEYER- PETER Y MÜLLER

Según (Martínez, 2001)

$$\gamma_w \left(\frac{k_s}{k_r} \right)^{3/2} R_H s_k = 0.047 \gamma'_s D_m + 0,25 \rho^{1/3} q_s'^{2/3} \quad (50)$$

Donde:

- γ_w = Peso específico del agua (kgf/m³).
- k_s = Coeficiente de rugosidad de Strickler.
- k_r = Coeficiente de rugosidad superficial.
- R_H = Radio hidráulico de la sección (metros).
- s_k = La pendiente hidráulica.
- γ'_s = Peso específico del sólido sumergido (kg/m³).
- D_m = Diámetro medio (m).
- ρ = Densidad del agua $\left(\frac{s^2}{m^4} \text{ kgf} \right)$.
- q_s' = Caudal sólido en peso sumergido (kg/s.m).

Los intervalos de validez de la fórmula se indica que los ensayos se realizaron en canal de 2x2 m y 50 m de largo, los rangos de ensayo fueron: Tamaños (uniformes y no uniformes) entre 0,0004 y 0,030 m; γ_s de valor 1,25 / 2,68 / 4,20 T/m³; pendientes desde 0,0004 a 0,020 y calados hasta de 1,20 m.

VIDA ÚTIL O ECONÓMICA (VE)

Según (Ortiz, 2004)

La “muerte” de una represa y, por tanto, la determinación de su vida económica se producen cuando el volumen de sedimentos en el embalse iguala al volumen muerto previsto en el diseño, aun cuando físicamente el embalse pueda durar muchísimo más tiempo hasta su colmatación total con sedimentos. A partir de allí, los costos de operación y mantenimiento superan largamente a las utilidades, porque los sedimentos empiezan a invadir gradualmente el volumen útil o de operación haciéndolo cada vez más pequeño hasta agotarlo completamente. Una represa vieja sedimentada, por los riesgos y sobrecostos que presenta, conviene más eliminarla que seguir operándola.

Al cumplimiento de la vida económica de una represa bien proyectada – por razones económicas y de seguridad – es más conveniente demoler o dismantelar antes que mantener una represa vieja sedimentada. El gran obstáculo para ello será para los países que no tienen

los recursos económicos necesarios para seguir financiando ni mucho menos para desmantelarla o demolerla y que, siguen cargando el endeudamiento externo que significó su construcción. Una represa vieja prematuramente, también corre la misma suerte, sólo que representa mayores pérdidas económicas, pero que dada la alta inversión de estos megaproyectos y a la baja rentabilidad de los productos, sobre todo en la sierra peruana – por citar un ejemplo – el retorno de la inversión no podrá ser en un período menor a 100 años, pudiendo disminuir a la mitad (50 años) en la costa peruana, a condición que se tenga cultivos rentables y una excelente operación y conducción del proyecto con tecnología de punta.

ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN MUERTO (VM)

Según (Ortiz, 2004)

Para definir el VM de la presa debe estimarse el volumen de sedimentos que probablemente ingresarán al embalse cada año. Para ello se deberá definir en primer lugar si se hará un control de la tasa de sedimentos, o se dejará tal como cuando no existía el proyecto. El volumen muerto se estima entonces mediante:

$$VM = q_{sn} * VE \quad (51)$$

Donde:

- VM = Volumen muerto, MMC.
- q_{sn} = Tasa neta anual de sedimentos, MMC/año.
- VE = Vida económica de la presa, años.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

CUENCA HIDROLÓGICA. La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido. (Villón, 2011).

ALTITUD MEDIA. Es la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella, el 50% del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% está situado por debajo de ella.

MORFOLOGÍA DE RÍOS. La morfología de ríos estudia la estructura y forma de los ríos, incluyendo la configuración del cauce en planta, la geometría, de las secciones transversales, la forma del fondo y las características del perfil.

PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE. Las pruebas de bondad de ajuste, consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base en los valores muestrales.

INICIO DE LA EROSIÓN. El inicio de la erosión se puede definir como el umbral de separación entre el final de los “movimientos de ajuste” de las partículas del fondo y el comienzo de la generalización del movimiento del fondo.

ARRASTRE DE FONDO. Es la parte de la carga de materiales del lecho que es transportada en la proximidad del fondo, por rodadura, deslizamiento y pequeños saltos.

TASA INTERNA DE RETORNO. La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de descuento que iguala el valor actual de los ingresos con el valor actual de los egresos y hace el VAN=0; representa la tasa de rentabilidad generada por la inversión.

VIDA ÚTIL O ECONÓMICA (VE). La “muerte” de una represa y, por tanto, la determinación de su vida económica se producen cuando el volumen de sedimentos en el embalse iguala al volumen muerto previsto en el diseño, aun cuando físicamente el embalse pueda durar muchísimo más tiempo hasta su colmatación total con sedimentos.

EMBALSE. Cuenca natural o artificial con capacidad para retener volúmenes.

SIGLAS

AAA-JZ. Autoridad Administrativa del Agua Jequetepeque – Zarumilla.

ANA. Autoridad Nacional del Agua.

DCPRH. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos.

IGN. Instituto Geográfico Nacional.

INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática.

MINAGRI. Ministerio de Agricultura y Riego.

OPEMA. Asociación Civil Operación y Mantenimiento.

PEJEZA. Proyecto Especial Jequetepeque Zaña.

SENAMHI. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN ESPACIAL

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO JEQUETEPEQUE

Geográficamente, la cuenca, limita por el Norte, con las cuencas de los ríos Zarumilla y Chancay – Lambayeque; por el Este, con las cuencas de los ríos Llaucano y Cajamarca; por el sur, con el río Chicama y por el Oeste con el Océano Pacífico. A su vez, se ubica entre los 6°48' y 7°34' de Latitud Sur y los 78° 21' y 79° 41' de Longitud Oeste.

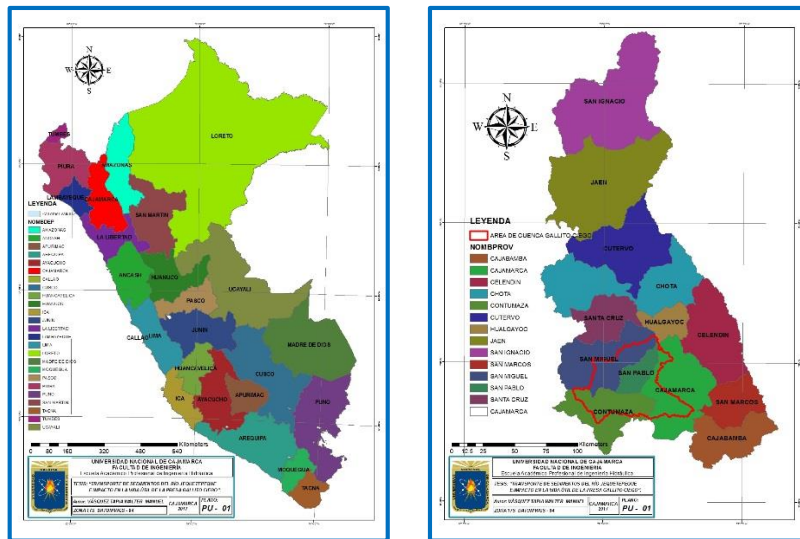


Figura 16 Ubicación política región Cajamarca.

Fuente: Elaboración propia.

REFERENCIAL



Figura 17 Ubicación del Río Jequetepeque aguas arriba de la Presa Gallito Ciego.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 UBICACIÓN TEMPORAL

La investigación se realizará por año hidrológico, iniciando el 01 de septiembre del 1965 y culminando el 30 de septiembre del 2015 lo que hacen un total de 34 años hidrológicos.

3.3 EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 EQUIPOS DE CAMPO

- (01) Estación Hidrométrica



- (01) Estación Total Leica TS06 plus.



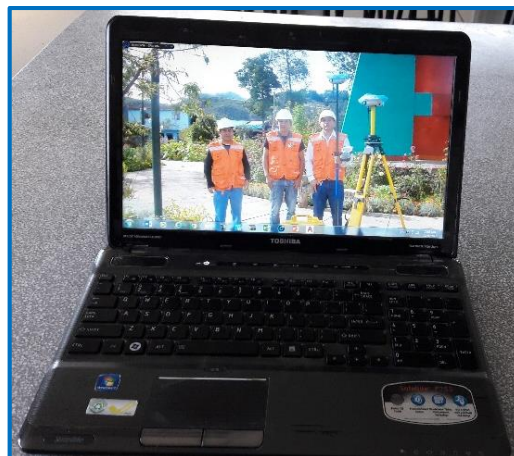
- (01) Cámara fotográfica SONY 16.2 MEGA PIXELS.



- (01) GPS Garmin.



- (01) Laptop Toshiba Core i7.



- (01) Thermometer HANNA INSTRUMENTS made in Romania.



- (01) Wincha Stanley 50 m



- (01) Superflex

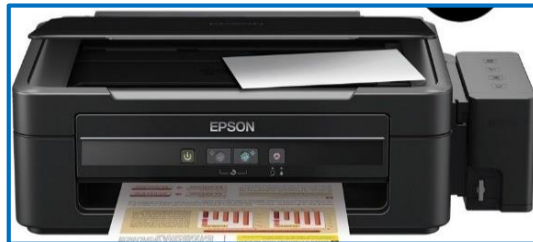


3.3.2 EQUIPOS DE GABINETE

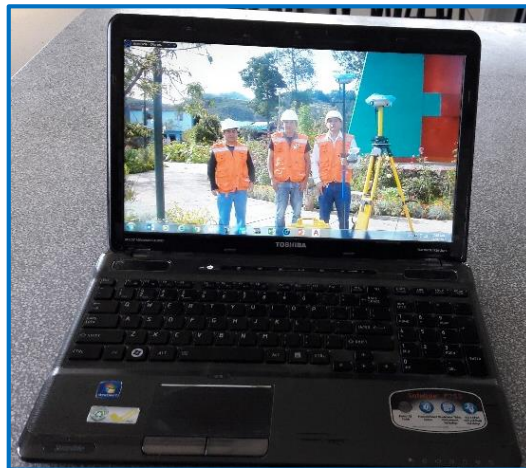
- (01) Plotter HP Designjet 111



- (01) Impresora multifuncional Epson



- (01) Laptop Toshiba Core i7



- Tamices



- (01) Balanza de flotabilidad.



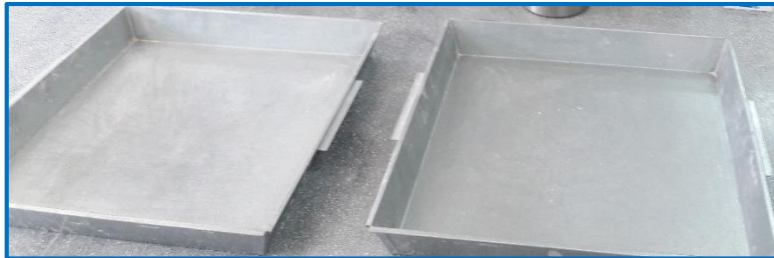
- (02) Balanzas electrónicas.



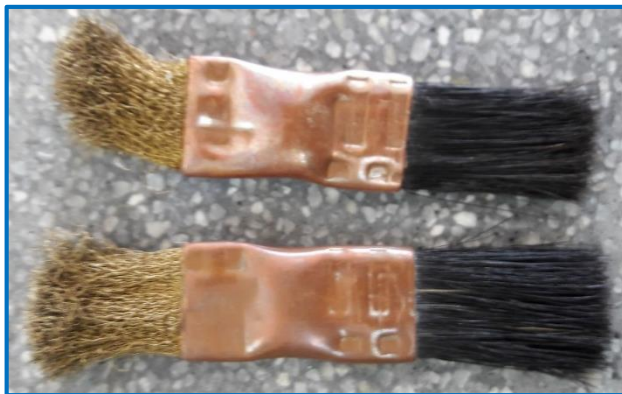
- (01) bandeja pequeña.



- (02) Bandejas grandes.



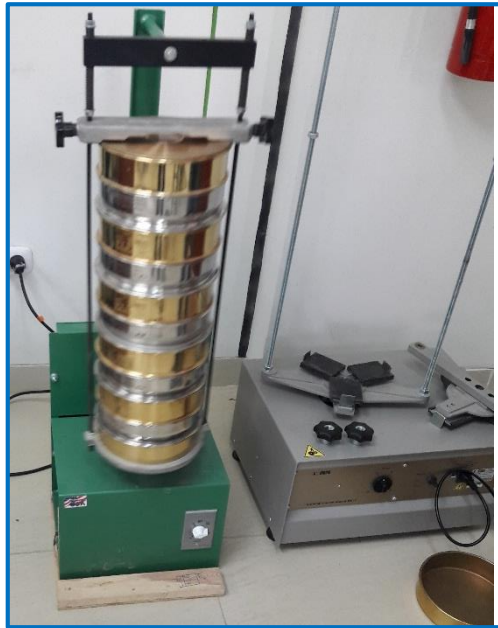
- (02) Brocha.



- (01) Cucharon.



- (02) Tamizadores motorizados.



- (01) Probeta.



- (02) depósitos de aluminio.



3.3.3 MATERIALES

- Pilas alcalinas de 1.5 V, 3V.
- Herramientas manuales pico, palana, comba
- Software AutoCAD Civil 3D 2018, ArcGIS 10.1, M. Excel 2016, M. Word 2016, M Power Point 2016.
- Materiales de escritorio: Papel blanco de 80 g, libreta de apuntes, lapicero, etc.

3.4 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS

3.4.1 DEMOGRAFÍA

La tabla N°5 muestra los resultados del Censo Nacional de Población realizado en el 2007: XI de población y VI Vivienda, el cual indica que la población total del valle Jequetepeque es de 178,045 habitantes, observándose la mayor densidad en el sexo femenino con 89,603 habitantes (50.33% del total) y por otro lado, el mayor número de pobladores se concentra en la zona urbana con 154,963 habitantes (87.04% del total).

Mayormente la población está conformada por habitantes cuyas edades oscilan entre 15 y 29 años de edad con 45,256 habitantes (25.42% del total); siendo el sexo femenino ligeramente el más denso con 22,731 habitantes. Ver tabla N°5.

Tabla 5 Población Total por área Urbana y Rural Valle Jequetepeque - 2015

Descripción	Población Total			Urbana			Rural		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Menores de 5 años	16,802	8,533	8,269	14,362	7,276	7,086	2,440	1,257	1,183
De 5 a 14 años	34,906	17,645	17,261	30,028	15,109	14,919	4,878	2,536	2,342
De 15 a 29 años	45,256	22,525	22,731	39,137	19,308	19,829	6,119	3,217	2,902
De 30 a 44 años	37,088	17,747	19,341	32,759	15,544	17,215	4,329	2,203	2,126
De 45 a 64 años	30,409	15,099	15,310	26,710	13,141	13,569	3,699	1,958	1,741
De 65 a mas	13,584	6,893	6,691	11,967	6,000	5,967	1,617	893	724
Total	178,045	88,442	89,603	154,963	76,378	78,585	23,082	12,064	11,018

Resultados Definitivos de los Censos Nacional: XI de Población y VI de Vivienda

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e informática (INEI)-2007

3.4.2 RECURSOS AGROPECUARIOS E INDUSTRIALES.

El valle Jequetepeque se ha declarado 39,541.84 Has para la campaña agrícola 2014-2015, destacando como cultivos principales el arroz con 29,377.16 Has (74.294%), destacando el arroz trasplante con 29,133.29 Has que representa el 73.677 %, el cual se realiza entre los meses de noviembre a enero del siguiente año; seguido del maíz con 2,978.49 Has (7.533%), frutales con 2,064.70 Has (5.222%) y la alfalfa con 1,166.33 Has (2.950%). En menores áreas y por lo tanto en importancia se cultivan la Maní, Higuierilla, Hortalizas, Zapallo, entre otros.

3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

3.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS AGROECOLÓGICAS

Las zonas agrícolas en la cuenca del Jequetepeque son propias de montañas andinas y aquellas que pertenecen a la región de la costa, por debajo de la cota de 500 m.s.n.m., pudiendo mencionar los siguientes:

a) REGIÓN JALCA

Son los terrenos más elevados que incluyen los cerros empinados así como las planicies sobre los 3500 m.s.n.m. Esta región abarca aproximadamente 97200 hectáreas, en la que se puede diferenciar partes cubiertas por bosques naturales poblados tales como quishuar, quinal, lloque y las plantaciones de bosque con especies de eucalipto y de pino.

b) REGIÓN QUECHUA

En la cuenca del Jequetepeque esta región abarca desde los 2300 hasta los 3500 m.s.n.m., se caracteriza por ser una zona de clima templado, que incluye áreas de topografía muy accidentada, siendo su uso agrícola muy diferenciado.

Comprende un área de aproximadamente 160000 hectáreas, siendo las laderas más altas zonas de cultivos de cereales y papa, mientras que en los valles altos, predomina el cultivo de maíz amiláceo con una serie de especies y frutales en las partes más altas. Asimismo en estas zonas se cultiva la arveja, haba, trigo, cebada, oca, olluco, ashua y choclo.

c) REGIÓN YUNGA

Abarca desde los 500 m.s.n.m. hasta los 2300 m.s.n.m.; aproximadamente 225000 hectáreas diferenciada en valles, quebradas, laderas y contrafuertes. Su clima varía entre cálido y templado y se ha notado que predomina el cultivo de caña de azúcar, frutales, arroz, hortalizas, ciruelas y también vegetación compuesta por hualtaco, Jacarandá caña brava, palo santo, taya, etc.

d) REGIÓN CHALA

Comprende por debajo de los 500 m.s.n.m, con una extensión total de 217000 hectáreas y en ella se encuentra la mayor parte de terrenos agrícolas (42000 hectáreas). Las especies indicadoras de la vegetación de la región Chala en la cuenca del Jequetepeque son: Algarrobo, chope, pájaro bobo y sapote.

3.5.2 SUELOS

Los suelos de la cuenca del río Jequetepeque se encuentran localizados principalmente en paisajes fluviales, aluviales, colinosos y montañosos. Estos se describen sobre la base de características morfológicas, físicas, químicas y biológicas de los diferentes horizontes que lo conforman.

En el área de estudio se identificado veintidós grupos de suelos, los cuales se clasifican cartográficamente mediante la determinación de consociaciones y asociaciones. La consociación es una unidad geográfica, en la que predomina un tipo de suelo o un área miscelánea, que cubre más del 85% de su superficie; la asociación se reconoce en un área determinada, cuando dos o más suelos y/o área miscelánea cubren más del 85% de su superficie. De acuerdo a su origen, los suelos del área de estudio son fluviales, aluviales, coluvio – aluviales y residuales.

Los fluviales son originados por la deposición de materiales arrastrados por el río Jequetepeque, Pallac, San Miguel (Puclush), los cuales forman terrazas al encontrar zonas de pendientes suaves.

Los aluviales son productos de la deposición de materiales arrastrados por las corrientes de agua de poco recorrido que se realizaron en ambientes de relieve suave formando depósitos aluviales.

Los coluvio – aluviales son originados por la deposición de materiales arrastrados por las aguas en zonas de pendiente pronunciada, con escaso recorrido formando depósitos conocidos como piedemontes y conos de deyección.

Los residuales son productos de la meteorización (descomposición) de las rocas, las cuales por acción de la variación de la temperatura, en la zona árida y por reacción de los elementos minerales, en la parte húmeda, se van desmenuzando cada vez más hasta formar suelo.

El régimen de temperatura de los suelos, en la parte baja de la cuenca es térmico. Es decir que tienen un promedio anual temperatura entre 15 y 22 °C; en la parte media y alta tiene un régimen méxico, significa que tiene un promedio anual mayor de 8°C y menor de 15°C; y en la parte más alta de la cuenca los suelos tienen un régimen de temperatura crítico, con un promedio anual mayor de 0 °C y menor de 8 °C

3.5.3 GEOLOGÍA

La Geología y Geomorfología nos permiten el conocimiento esencial de las diferentes rocas basamento, sus orígenes tales como los provenientes de las magmas, llamadas rocas ígneas como las dacitas, granitos, etc; las sedimentarias formadas de la acumulación de sedimentos finos, arenas y otros clásticos que por factores presión, procesos físicos y químicos dieron lugar a las areniscas, lutitas, calizas etc; y las rocas metamórficas que se formaron por factores presión temperatura, radioactividad y otros desde las rocas originales ígneas o de las sedimentarias; y tenemos las cuarcitas, claro ejemplo de metamorfismo.

Todas las variedades de rocas mencionadas se encuentran aflorando en las Cuencas Jequetepeque y Chamán; sujetas a las actividades exógenas, denudación, intemperismo, aluvionamientos, eólicos etc.

3.5.4 ZONIFICACIÓN MORFODINÁMICA DE LA CUENCA ALTA

En la cuenca aguas arriba de la Presa Gallito Ciego se han determinado zonas morfodinámicas que a continuación se describen:

- **Zonas de Carcaveós profundos y deslizamientos**

Estas zonas tienen una elevada actividad dinámica con desarrollo de cárcavas profundas en las laderas y masas deslizantes de diversa magnitud (Vs1-d; Vs2-d; Vs3e).

- **Zonas de deslizamientos y Carcaveo Profundo**

La diferencia con la anterior zona está en la mayor frecuencia y dinamicidad de las masas deslizantes, donde los carcaveos son favorecidos por el desplazamiento de las masas y por el ablandamiento litológico.

- **Zonas de carcaveos someros y erosión laminar**

En estas zonas se intensifica la erosión laminar por aridez o eliminación de la cubierta vegetal, por las labores de cultivos de tierras (Vs3-e).

- **Zonas de Erosión laminar y carcaveos someros**

El desgaste de las laderas es principalmente de tipo laminar, favorecido por la litología, deforestación y laboreo agrícola (Vc-e)

- **Zonas de huaycos y carcaveos en zonas áridas**

En el fondo de los valles menores (quebradas), afluentes al Jequetepeque, que en condiciones climáticas normales son lechos fluviales secos y en condiciones climáticas excepcionalmente lluviosas, se originan esporádicas corrientes en forma de huaycos, que se producen del arranque y transporte violento de materiales desde las laderas hasta el río principal, constituyéndose un agente de elevado aporte de sedimentos que afectan la vida útil del Reservorio Gallito Ciego. (Ad-c)

- **Zonas de Erosión laminar y Deslizamientos**

En algunas áreas de litología suave con climas húmedos, se produce la erosión laminar asociada a las masas deslizantes por la hidratación temporal y sequía temporal (Ao-b).

3.5.5 COBERTURA VEGETAL

Las características topográficas y la ubicación geográfica de la cuenca del río Jequetepeque promueven condiciones ecológicas propias definidas, determinando diversas zonas de vida, con condiciones apropiadas para el desarrollo de diversas especies vegetales.

La zona de la costa está conformada por planicies y colinas y presenta condiciones climáticas caracterizadas por temperaturas relativamente altas, escasa precipitación y vientos fuertes.

En el sector de las vertientes andinas se presenta con frecuencia neblinas espesas entre los 2500 m.s.n.m. y 3000 m.s.n.m. En algunas áreas de la cuenca, la cobertura vegetal ha sido

destruida en grandes extensiones y en otras áreas ha sido sustituida por vegetación de matorral y áreas agrícolas. No obstante en esta cuenca se localiza la Granja Porcón, donde se ha reforestado 9200 hectáreas, con especies de los géneros Pinus y Eucalyptus; desarrollándose planes de manejo para el aprovechamiento de la madera y otras actividades como pastoreo, piscigranja, zocriadero, producción de leche, carpintería, entre otros.

Las principales coberturas vegetales existentes en la cuenca son:

- Bosque seco muy ralo/Ralo caducifolio.
- Bosque seco semidenso caducifolio
- Bosque/matorral húmedo perennifolio.
- Matorral ribereño.
- Pajonal de puna.
- Bofedal.
- Herbaza/matorral.
- Vegetación introducida (bosque de pino, eucalipto, cultivos agropecuarios).

3.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación parte de la delimitación de la cuenca del río Jequetepeque y la obtención de los parámetros geomorfológicos más importantes tales como (la pendiente de la cuenca, área, perímetro, coeficiente orográfico, curva Hipsométrica, y la generación de un modelo digital de elevaciones), se realizó a partir de los mapas cartográficos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a una escala 1/100000, Ministerio del Ambiente (MINAM) y la Autoridad Nacional de Agua (ANA).

Para la determinación de la precipitación media anual se determinó a partir de la información pluviométrica de 27 estación meteorológicas pertenecientes a la cuenca del río Jequetepeque y estaciones vecinas, cuya información fue interpolada con la utilización del software ArcGIS, con el método de interpolación para la generación de las isoyetas. Y la determinación del caudal máximo diario se utilizó la base de datos de caudales desde el período (1965 -2015) de la estación Yonán ubicada a 300m del puente Yonán.

Luego se determinó la carga de sedimentos de suspensión mediante la utilización de la ecuación universal de pérdida utilizando la información ya antes descripta.

En la segunda forma de transporte de sedimentos de fondo se aplica el método de Meyer – Peter, para luego realizar la determinación de la tasa de sedimentos para su luego realizar una comparación con la tasa de sedimentación calculada por el proyecto original.



Figura 18 Metodología para la determinación del transporte de sedimento total

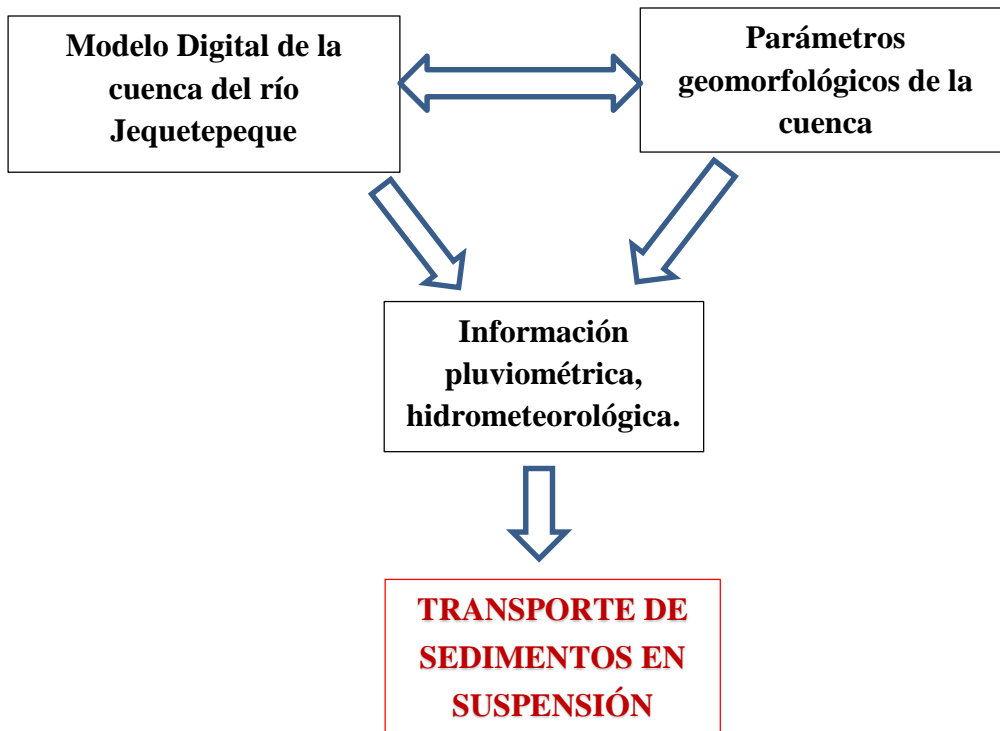


Figura 19 Determinación del transporte de sedimento en suspensión

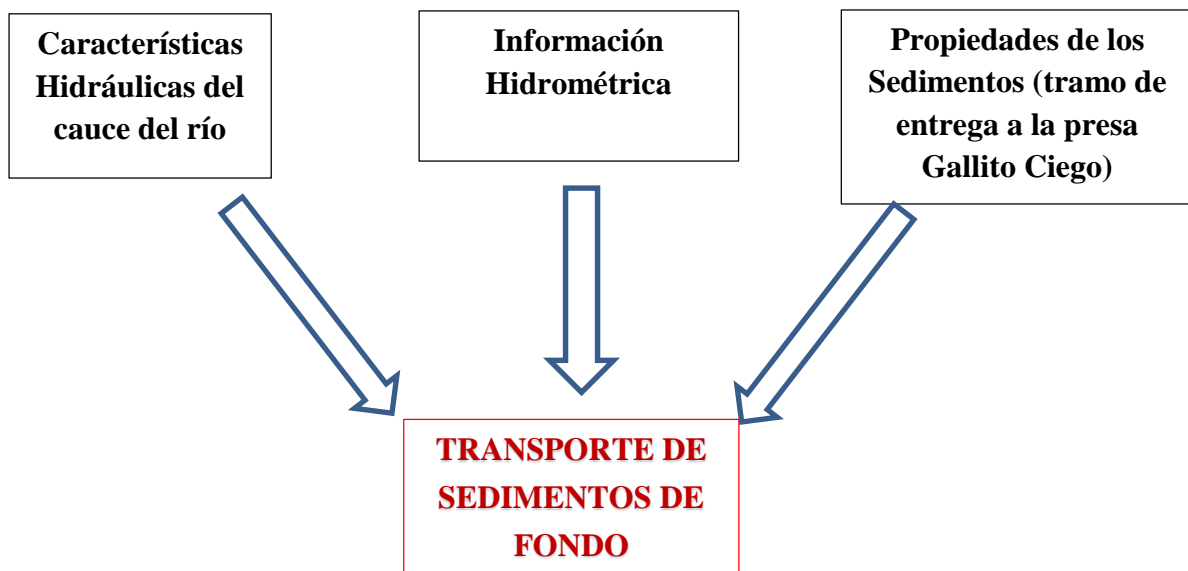


Figura 20 Determinación del transporte de sedimento de fondo

3.7 PROCEDIMIENTO

3.7.1 ETAPA DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se ha recopilado información meteorológica de las estaciones meteorológicas San Juan, Hacienda Negritos, Magdalena, Llapa, Hacienda Llagaden, La victoria, Granja Porcón, Contumazá, Chugur, Chilete, Chancay Baños, Asunción, Asunción, Augusto Weberbauer, Cospán, Huacraruco, Jesús Túnel, Choten, Yumagual, Cachachi, Cospán, Lives, Niepos, Quilcate – Plu, San Benito, San Pablo y Sayapullo.

También se ha recopilado información de Caudales Máximos de La estación hidrométrica Yonán (ver tabla 15), otra parte de la información se ha obtenido realizando visitas a campo en el tramo de entrega a la presa Gallito Ciego.

Por otro lado se ha recopilado información de entidades e instituciones como SENAMHI, INEI, PEJESA, ANA, entre otros.

Tabla 6 Estaciones meteorológicas utilizadas en la Presente Investigación.

Estación	Parámetros	Cuenca	Ubicación			Período (N° de Años)
			Este	Norte	Altitud	
SAN JUAN	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	777022	9193638	2469	35
HACIENDA NEGRITOS	Precipitación	Intercuenca Alto Marañón IV	772555	9236570	3550	9
MAGDALENA	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	758322	9197488	1257	35
LLAPA	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	739704	9225729	2900	35
HACIENDA LLAGADEN	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	766815	9196029	2150	35
LA VICTORIA	Precipitación	Cuenca Crisnejas	780799	9204867	2618	16
GRANJA PORCÓN	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	762191	9221840	3261	35
CONTUMAZÁ	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	739518	9186334	2610	35
CHUGUR	Precipitación	Cuenca Chancay- Lambayeque	749236	9261301	2701	11
CHILETE	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	738779	9200900	859	35
CHANCAY BAÑOS	Precipitación	Cuenca Chancay- Lambayeque	734291	9272645	1575	9
ASUNCIÓN	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	774313	9190992	2194	35
AUGUSTO WEBERBAUER	Precipitación	Cuenca Crisnejas	777794	9207072	2660	46

COSPÁN	Precipitación	Cuenca Chicama	788836	9177494	2450	35
HUACRARUCO	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	783398	9192280	2800	36
JESÚS TÚNEL	Precipitación	Cuenca Crisnejas	787134	9201480	2667	35
CHOTEN	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	777895	9196000	3130	35
YUMAGUAL	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	774212	9196020	3000	35
CACHACHI	Precipitación	Cuenca Crisnejas	801216	9174744	3272	33
COSPÁN	Precipitación	Cuenca Chicama	771283	9176795	2088	33
LIVES	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	717161	9216426	1851	33
NIEPOS	Precipitación	Cuenca Zaña	706689	9234102	2449	33
QUILCATE-PLU	Precipitación	Cuenca Chancay-Lambayeque	750485	9245899	3242	33
SAN BENITO	Precipitación	Cuenca Chicama	728401	9180638	1624	33
SAN PABLO	Precipitación	Cuenca Jequetepeque	737788	9216334	2227	14
SAYAPULLO	Precipitación	Cuenca Chicama	781453	9179350	3478	23
YONÁN	Caudal	Cuenca Jequetepeque	709886	9197523	445	51

3.7.2 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA

Los parámetros geomorfológicos han sido calculados usando software comerciales como AutoCAD 2017, ArcGIS 10.5 y Excel. La información básica de cartografía ha sido obtenida de cartas nacionales en escala 1/100000 proporcionadas por el IGN, MINAM, ANA, el plano topográfico de referencia se puede apreciar en el anexo - planos.

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y MORFOLÓGICOS

Tabla 7 Parámetros geométricos de unidades hidrográficas.

1. Información General de la Cuenca			
a)	Área Total de la Cuenca	3956.42	Km ²
b)	Perímetro Total de la Cuenca	466.37	Km
2. Información obtenida a partir de la Represa Gallito Ciego (Aguas Arriba)			
A) Parámetros Asociados a la Cuenca			
*)	Área de la Cuenca Jequetepeque	3443.06	Km ²
*)	Perímetro de la Cuenca Jequetepeque	376.32	Km
*)	Ancho Máximo (B _{máx})	69.57	Km
*)	Longitud de Máximo Recorrido (L _{máx})	117.22	Km
*)	Longitud del Cauce Principal (L _{cp})	78.93	Km
*)	Longitud Media de la Cuenca (L _{mc})	94.69	Km
*)	Ancho Medio (B _m)	43.62	Km
*)	Longitud al Centro de Gravedad		
-	X Centroide	743635.55	m
-	Y Centroide	9209981.13	m
-	Z Centroide	2818.03	m.s.n.m
*)	Cota Máxima (Z _{máx})	4200	m.s.n.m
*)	Cota Mínima (Z _{mín})	350	m.s.n.m
B) Parámetros de Forma			
-	Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravelius(I _c)	1.81	
-	Factor de Forma (F _f)	0.55	
-	Coeficiente de Forma (K _f)	0.46	
-	Relación de Elongación (R _e)	0.70	
-	Relación de Circularidad (R _{ci})	0.31	
-	Rectángulo Equivalente o Rectángulo De Gravelius		
*)	Longitud del lado Mayor del Rectángulo (L)	167.62	Km
*)	Longitud del lado Menor del Rectángulo (l)	20.54	Km
*)	Área del Rectángulo Equivalente (A _r)	3443.06	Km²
*)	Perímetro del Rectángulo Equivalente (P _r)	376.32	Km

Fuente: Elaboración propia

PARÁMETROS DE RELIEVE

Pendiente de la cuenca:

Para calcular la pendiente de la cuenca se ha usado el Criterio de Horton descrito en el marco teórico. La pendiente de la cuenca calculada en software ArcGIS resulta 38.75 % lo que resulta una pendiente tipo escarpado. Sin embargo, en algunos lugares existen pendientes superiores a 70 % especialmente en cabecera de cuenca cerca al cauce principal, así también existen zonas con pendientes bajas de alrededor de 1% zona de entrega (embalse gallito ciego).

Tabla 8 Pendiente promedio de la cuenca del Río Jequetepique (Criterio de J.W. Alvord)

Equidistancia=	320.83	M	Área Total=	3443.06	Km ²	
Equidistancia=	0.32	Km				
Z1	Z2	Áreas	Km ²	Longitud	m	Km
350.00	670.83	A1	80.05	L1=	125242.01	125.24
670.83	991.67	A2	177.57	L2=	314950.67	314.95
991.67	1312.50	A3	241.35	L3=	395983.54	395.98
1312.50	1633.33	A4	251.76	L4=	408584.08	408.58
1633.33	1954.17	A5	266.56	L5=	389451.40	389.45
1954.17	2275.00	A6	265.73	L6=	446097.07	446.10
2275.00	2595.83	A7	321.93	L7=	508223.57	508.22
2595.83	2916.67	A8	417.82	L8=	519449.80	519.45
2916.67	3237.50	A9	459.64	L9=	461412.72	461.41
3237.50	3558.33	A10	508.68	L10=	369252.07	369.25
3558.33	3879.17	A11	345.84	L11=	166182.07	166.18
3879.17	4200.00	A12	106.16	L12=	53770.63	53.77
AREA TOTAL=			3443.06	Long. T=	4158599.62	4158.60

Pendiente de la Cuenca 0.3875

Pendiente de la Cuenca 38.75 %

Tabla 9 Clasificación de pendiente en las cuencas (Criterio de J.W. Alvord)

Clasificación de Pendiente en las Cuencas	
Pendiente (%)	Tipo de Terreno
2	Plano
5	Suave
10	Accidentado Medio
15	Accidentado
25	Fuertemente Accidentado
50	Escarpado
>50	Muy Escarpado

Según (Criterio de J.W.Alvord)

Clasificación de Pendiente de la Cuenca	38.75	%	Escarpado
---	-------	---	-----------

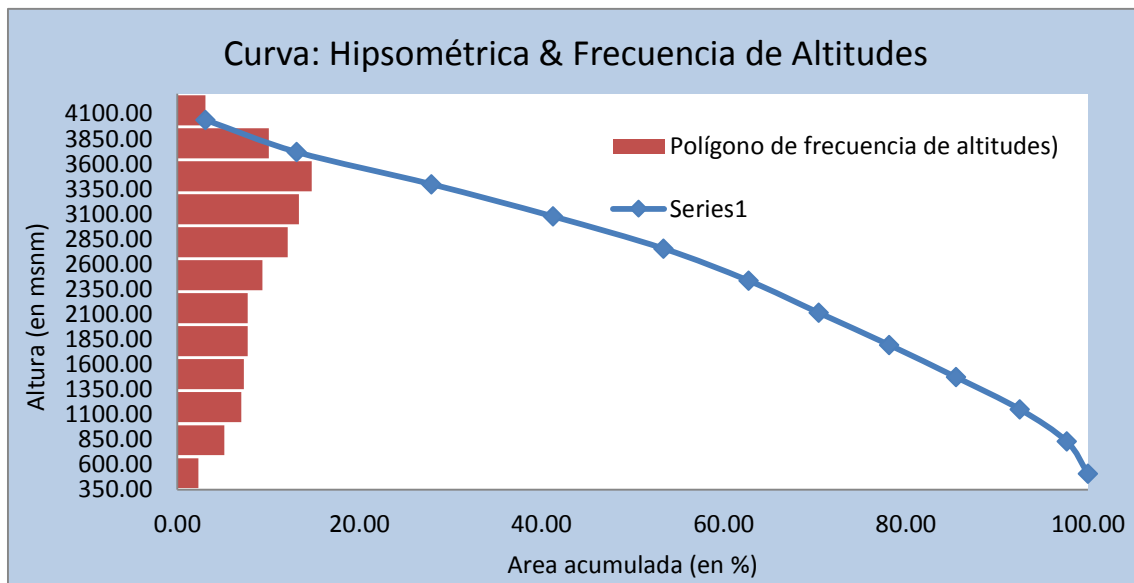


Figura 21 Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes.

Altitud más frecuente = **3397.92 msnm**
Altitud de frecuencia 50% = **2635.93 msnm**

Según el gráfico se aprecia que la altitud más frecuente se encuentra 3397.92 m.s.n.m y la curva hipsométrica evidencia que se trata de una cuenca en la fase madurez y que con el tiempo es posible que la geodinámica externa e interna modifique la morfología y con ello cambie algunas características.

PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RIO JEQUETEPEQUE calculado mediante el uso del ArcGIS

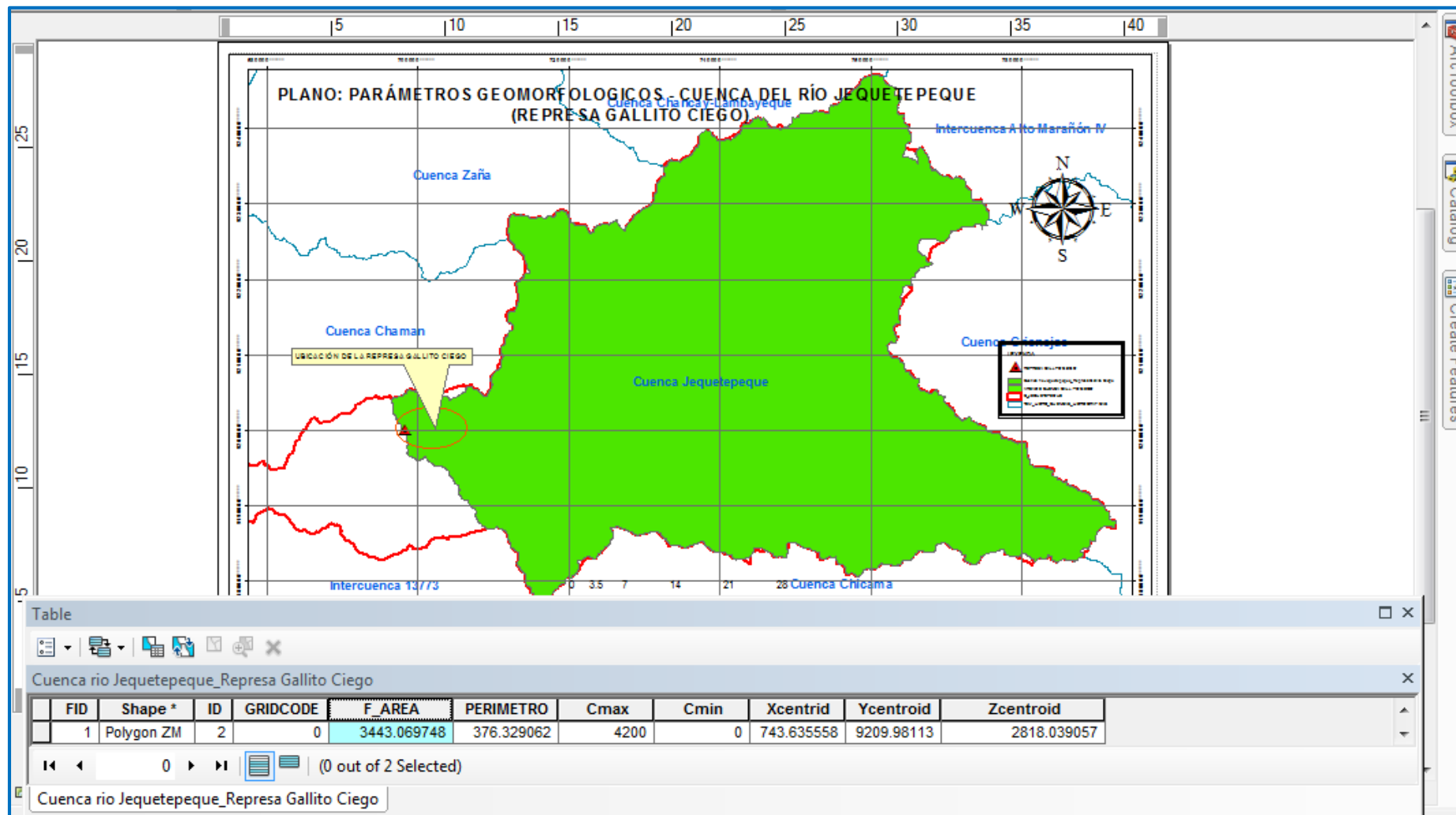


Figura 22 Parámetro geométricos de la cuenca del río Jequetepeque.

3.7.3 CLIMATOLOGÍA

Temperatura. La temperatura media anual de cuatro estaciones pertenecientes a la cuenca se ha obtenido a partir de datos mensuales según se muestra la siguiente tabla.

Tabla 10 Temperatura media anual por estaciones

ESTACIÓN	TEMPERATURA EN (°C)
MAGDALENA	22.00
LLAPA	11.87
GRANJA PORCÓN	17.12
CONTUMAZÁ	14.09
ASUNCIÓN	16.64
<i>PROMEDIO</i>	<i>16.34</i>

Precipitación. La precipitación fue obtenida por el método de las isoyetas descrito en el marco teórico para lo cual se ha usado datos de las estaciones pertenecientes a la cuenca del río Jequetepeque y estaciones vecinas.

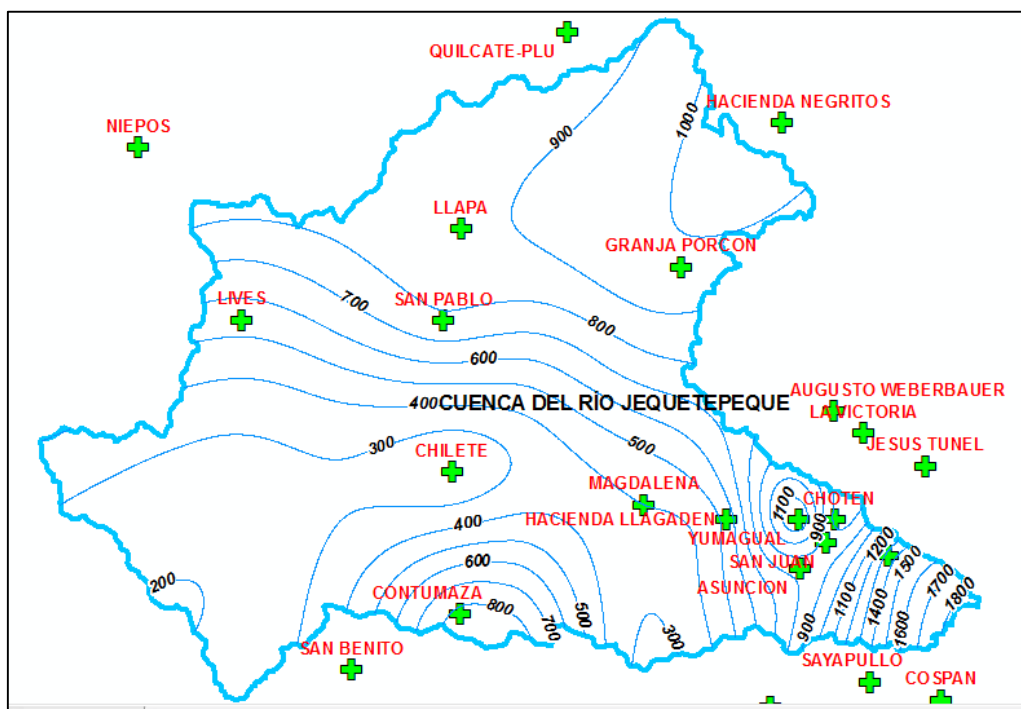


Figura 23 Método de las isoyetas

Fuente: Elaboración propia a partir de data de Senamhi

Humedad relativa

La humedad relativa media anual de la cuenca del río Jequetepeque se encuentra en 76.41 %. Calculada a partir de la base de datos proporcionada por Senamhi.

Tabla 11 Humedad relativa media anual por estaciones

ESTACIÓN	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL EN (%)
MAGDALENA	68.64
LLAPA	83.53
GRANJA PORCÓN	81.94
CONTUMAZÁ	75.02
ASUNCIÓN	72.94
PROMEDIO	76.41

Caudales observados

El caudal líquido que se viene registrando en la estación Yonán cuyo periodo es (1965-2015), y monitoreado por el Senamhi. Ya que dicha información servirá para el análisis de la presente investigación.

Para obtener el transporte de sedimentos de fondo se utilizara los caudales máximos diarios de dicha estación que se encuentra ubicada a 300m sobre del puente Yonán.



Imagen 1 Estación Yonán datos de caudales máximos diarios.

3.7.4 CARGA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN

POTENCIAL DE DEGRADACIÓN DE CUENCA (SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN)

$$q_s = 2.65 \log \frac{P}{P_m} + 0.46 \log(C_o - 1.56)$$

Donde:

q_s = Degradación específica, Tn / Ha* mes Húmedo.

P_m = Precipitación del mes de máxima pluviosidad, mm.

P = Módulo pluviométrico anual, mm.

C_o = Coeficiente orográfico %.

CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO EN LA CUENCA DEL RÍO JEQUETEPEQUE APLICANDO EL MÉTODO DE LAS ISOYETAS.

GENERACIÓN DE ISOYETAS CADA 100mm

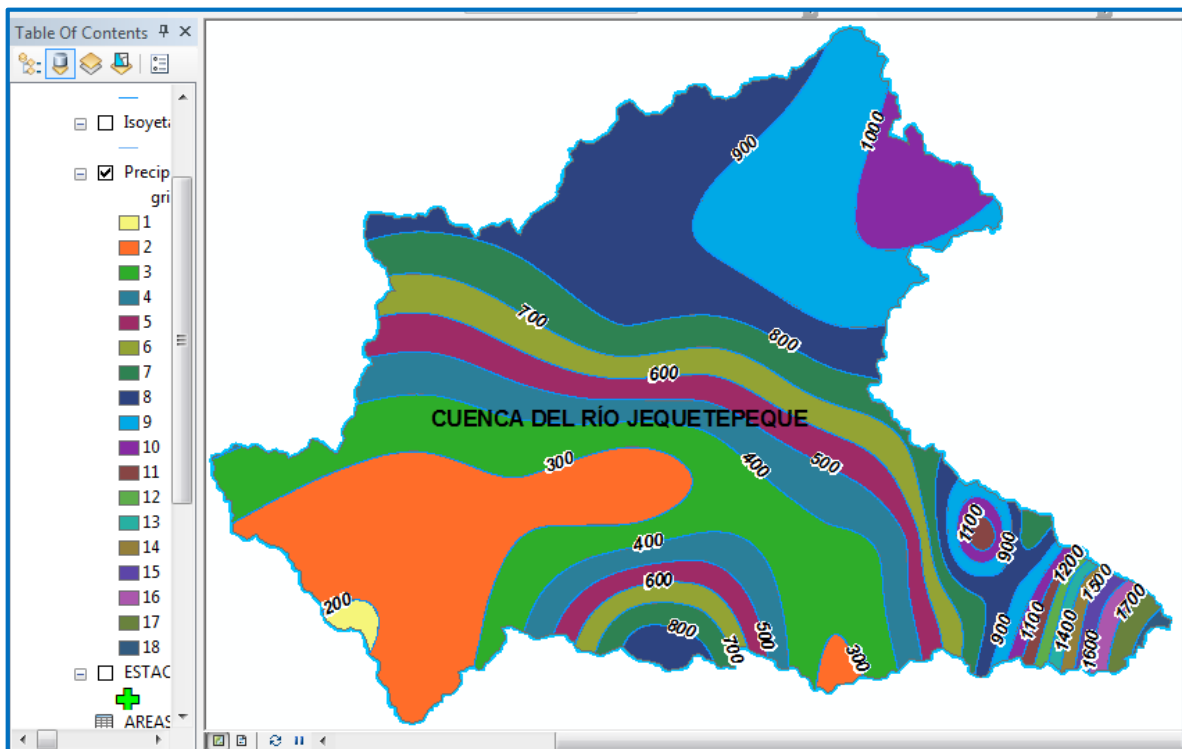


Figura 24 Cálculo de la precipitación media en la cuenca del río Jequetepeque.

Tabla 12 Áreas parciales en la cuenca del río Jequetepeque.

Áreas Parciales	Superficie (Km ²)	Valor de la Isoyeta (mm)	(P0+P1) /2*Ai
<i>A0</i>	0	195.282	
<i>A1</i>	15.189	200	3002.062
<i>A2</i>	540.888	300	135221.935
<i>A3</i>	544.413	400	190544.571
<i>A4</i>	330.702	500	148815.737
<i>A5</i>	252.746	600	139010.065
<i>A6</i>	245.094	700	159311.333
<i>A7</i>	287.254	800	215440.337
<i>A8</i>	555.247	900	471960.237
<i>A9</i>	408.192	1000	387782.142
<i>A10</i>	146.310	1100	153625.596
<i>A11</i>	20.561	1200	23644.912
<i>A12</i>	12.635	1300	15793.782
<i>A13</i>	12.788	1400	17263.534
<i>A14</i>	14.682	1500	21288.914
<i>A15</i>	16.019	1600	24829.532
<i>A16</i>	18.279	1700	30161.054
<i>A17</i>	17.939	1800	31393.580
<i>A18</i>	3.855	1871.23	7075.631
ÁREA TOTAL	3443.06		2176164.954

PRECIPITACIÓN PROMEDIO:	632.093	mm
--------------------------------	----------------	-----------

Resultados Mediante el uso del HIDROESTA

Tabla 13 Cálculo de la precipitación promedio por el método de las isoyetas.

Datos Isoyetas, Área:

Isoyetas	Valor de Isoyeta (mm)	Área entre Isoyetas
1	195.282	15.189
2	200.0	540.888
3	300.0	544.413
4	400.0	330.702
5	500.0	252.746
6	600.0	245.094
7	700.0	287.254
8	800.0	555.247
9	900.0	408.192
10	1000.0	146.31
11	1100.0	20.561
12	1200.0	12.635
13	1300.0	12.788
14	1400.0	14.682
15	1500.0	16.019
16	1600.0	18.279
17	1700.0	17.939
18	1800.0	3.855
19	1871.23	

Resultado del método de Isoyetas:

Precipitación promedio = 632.093 mm

Cálculo de la precipitación promedio por el método de las isoyetas

Ingreso de los pares de datos de las estaciones:

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER (isoyeta inicial)

Isoyeta	Valor de isoyeta (mm)	Área entre isoyetas
7	700.0	287.254
8	800.0	555.247
9	900.0	408.192
10	1000.0	146.31
11	1100.0	20.561
12	1200.0	12.635
13	1300.0	12.788
14	1400.0	14.682
15	1500.0	16.019
16	1600.0	18.279
17	1700.0	17.939
18	1800.0	3.855
[?]		

Valor de la última isoyeta (mm): (isoyeta final)

Resultado método de isoyetas:

Precipitación promedio: mm

Archivos y resultados:

04:40 p.m. 11/10/2017

Figura 25 Cálculo de la precipitación media utilizando el programa Hidroesta.

Tabla 14 Cálculo del Promedio Ponderado del coeficiente orográfico.

N°	Micro cuenca	Área (A)	Área (A)	Altitud Media (H)	C _o (%)	(A)(C _o (%))
		(Km ²)	(m ²)	msnm		
1	Qda. Huertas	100.89	100890000	2389	5.66	571.04
2	Qda. Chausis	209.32	209320000	2177.06	2.26	473.06
3	Río Poclush	889.76	889760000	3061.25	1.05	934.25
4	Río Rejo	218.8	218800000	3665.25	6.14	1343.43
5	Río San Juan	139.71	139710000	3300.94	7.8	1089.74
6	Río Magdalena	1008.89	1008890000	3024.18	0.91	918.09
7	Río Naranjo	29.5	29500000	2966.01	29.82	879.69
8	Río San Miguel	1042.76	1042760000	2869.03	0.79	823.78
9	Río San Pablo	180.46	180460000	2505.02	3.48	628.00
10	Río Chetillano	177.79	177790000	2790.2	4.38	778.72
11	Qda. Chantilla	97.17	97170000	2620.03	7.06	686.02
12	Río Pallac	238.21	238210000	2363.37	2.34	557.41
13	Río Contumazá	185.17	185170000	2446.18	3.23	598.10
14	Qda. La Bamba	50.45	50450000	1799.78	6.42	323.89
15	Qda. Nazario	31	31000000	1733.36	9.69	300.39
16	Qda. Del Chorro	17.38	17380000	1948.44	21.84	379.58
17	Qda. La Ramada	36.39	36390000	1268.89	4.42	160.84
18	Río Llapa	668.97	668970000	3294.63	1.62	1083.73
19	Qda. Honda	118.42	118420000	3521.99	10.47	1239.86
20	Río Tumbadén	303.55	303550000	3520.71	4.08	1238.48
21	Qda. El Cardo	30.27	30270000	1948.44	12.54	379.59
22	Qda. Yamulán	53.83	53830000	2703.96	13.58	731.01
23	Qda. Amillas	34.56	34560000	2804.18	22.75	786.24
24	Río Asunción	83.57	83570000	2983.5	10.65	890.02
25	Qda. Quinuas	90.43	90430000	2974.27	9.78	884.41
26	Río Llaucán	58.45	58450000	2815.24	13.56	792.58
27	Río Chanta	97.17	97170000	2620.03	7.06	686.02
28	Yanahuanga	205.99	205990000	3276.91	5.21	1073.21
29	San Miguel Parte Alta	106.71	106710000	3062.93	8.79	937.98
30	Choten	35.09	35090000	2177.06	13.51	474.07
31	Chilango	30.17	30170000	2739.29	24.87	750.33
32	San José	34.9	34900000	2999.24	25.77	899.37
SUMA TOTAL		6605.73				24292.93
					PROMEDIO PONDERADO (C_o (%))	3.68

Reemplazando los valores en la ecuación (44) de la carga de sedimentos en suspensión se tiene:

$$q_s = 2.65 \log \frac{P}{P_m} + 0.46 \log(C_o - 1.56)$$

$$q_s = 2.65 \log \left(\frac{632.093}{81.90} \right) + 0.46 \log(3.68 - 1.56)$$

$$q_s = 2.50 \frac{Tn}{Ha * \text{mes húmedo}}$$

$$q_s = \left(2.50 \frac{Tn}{Ha * \text{mes húmedo}} \right) \left(\frac{100Ha}{1km^2} \right) (3443.06km^2) \left(\frac{1m^3}{1.65Tn} \right) \left(\frac{1MMC}{10^6m^3} \right) * (3 \text{ meses})$$

$q_s = 1.57 MMC$. (Total de sedimentos en suspensión en los meses de enero, febrero y marzo)

Mientras que el muestreo de Sedimentos en suspensión realizado por PEJEZA en los meses de enero, febrero y marzo del período 2015.

Enero : 34482.8 m³.

Febrero: 33493.8 m³.

Marzo: 1572885m³.

Total de sedimentos en suspensión en los tres meses: 1640861.6 m³ = 1.64 MMC

Tabla 15 Estación Hidrométrica Yonán (Caudales Máximos Diario).

Año	Caudales máximos Diarios (m³/s)
1965	199.0
1966	102.1
1967	239.8
1968	57.0
1969	122.2
1970	139.9
1971	344.3
1972	376.0
1973	239.9
1974	134.8
1975	197.5
1976	130.7
1977	246.7
1978	37.9
1979	205.5
1980	52.2
1981	237.9
1982	76.1
1983	692.4
1984	512.1
1985	40.3
1986	145.3
1987	335.2
1988	102.2
1989	205.4
1990	102.6
1991	251.8
1992	110.9
1993	244.6
1994	319.4
1995	146.9
1996	294.3
1997	174.3
1998	509.5
1999	379.6
2000	340.0
2001	409.4
2002	333.7
2003	128.3
2004	106.6
2005	194.5
2006	331.6
2007	194.9
2008	393.0
2009	338.9
2010	264.2
2011	219.4
2012	311.9
2013	270.7
2014	135.7
2015	438.2

Tabla 16 Caudales y probabilidad observada y simulada

CAUDALES Y PROBABILIDAD OBSERVADA Y SIMULADA				
m	Q(m³/s)	P(x<X)	F(x<X)	 F(x<X)-P(x<X)
1	692.4	0.9808	0.9960	0.0152
2	512.1	0.9615	0.9729	0.0113
3	509.5	0.9423	0.9721	0.0298
4	438.2	0.9231	0.9414	0.0183
5	409.4	0.9038	0.9213	0.0174
6	393.0	0.8846	0.9070	0.0224
7	379.6	0.8654	0.8935	0.0281
8	376.0	0.8462	0.8896	0.0434
9	344.3	0.8269	0.8488	0.0219
10	340.0	0.8077	0.8424	0.0347
11	338.9	0.7885	0.8407	0.0522
12	335.2	0.7692	0.8348	0.0656
13	333.7	0.7500	0.8324	0.0824
14	331.6	0.7308	0.8290	0.0982
15	319.4	0.7115	0.8077	0.0962
16	311.9	0.6923	0.7935	0.1012
17	294.3	0.6731	0.7566	0.0835
18	270.7	0.6538	0.6988	0.0449
19	264.2	0.6346	0.6811	0.0465
20	251.8	0.6154	0.6452	0.0298
21	246.7	0.5962	0.6296	0.0335
22	244.6	0.5769	0.6231	0.0461
23	239.9	0.5577	0.6081	0.0504
24	239.8	0.5385	0.6078	0.0694
25	237.9	0.5192	0.6017	0.0824
26	219.4	0.5000	0.5388	0.0388
27	205.5	0.4808	0.4882	0.0074
28	205.4	0.4615	0.4878	0.0263
29	199.0	0.4423	0.4638	0.0215
30	197.5	0.4231	0.4581	0.0350
31	194.9	0.4038	0.4482	0.0443
32	194.5	0.3846	0.4466	0.0620
33	174.3	0.3654	0.3682	0.0028
34	146.9	0.3462	0.2626	0.0835
35	145.3	0.3269	0.2567	0.0703
36	139.9	0.3077	0.2368	0.0709
37	135.7	0.2885	0.2218	0.0667

38	134.8	0.2692	0.2186	0.0507
39	130.7	0.2500	0.2042	0.0458
40	128.3	0.2308	0.1960	0.0347
41	122.2	0.2115	0.1757	0.0358
42	110.9	0.1923	0.1408	0.0515
43	106.6	0.1731	0.1284	0.0447
44	102.6	0.1538	0.1175	0.0364
45	102.2	0.1346	0.1164	0.0182
46	102.1	0.1154	0.1161	0.0007
47	76.1	0.0962	0.0585	0.0377
48	57.0	0.0769	0.0309	0.0461
49	52.2	0.0577	0.0257	0.0320
50	40.3	0.0385	0.0157	0.0228
51	37.9	0.0192	0.0141	0.0051
Media X	228.4980			
Des. Est. S	120.61011			
α	0.01063			
β	174.21742			

Máxima diferencia. ($\Delta = 0.10$)

Valor crítico (de nivel de significación 0.05 y 51 de longitud de registro). ($\Delta_0 = 0.19$).

$\Delta < \Delta_0 \rightarrow$ El ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado.

Para conocer el riesgo de eventos máximos para una obra hidráulica se utiliza la ecuación siguiente.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^n$$

Donde:

R =Riesgo o falla de que ocurra el evento máximo al menos una vez en **n años** de la vida útil de la obra.

Tabla 17 Caudales Máximos para diferentes períodos de Retorno.

NÚMERO DE AÑOS CONSECUTIVOS "N"	R (%)	Tr	CAUDALES MÁXIMOS (m3/S)
2	5	39	518.72
	15	13	410.27
	30	6	336.35
	50	3	273.87
	75	2	208.68
	90	1.5	160.97
5	5	98	604.88
	15	31	496.43
	30	15	422.52
	50	8	360.03
	75	4	294.85
	90	3	247.14
10	5	195	670.07
	15	62	561.62
	30	29	487.70
	50	15	425.22
	75	8	360.03
	90	5	312.32
25	5	488	756.23
	15	154	647.78
	30	71	573.87
	50	37	511.38
	75	19	446.20
	90	11	398.49
50	5	975	821.42
	15	308	712.97
	30	141	639.05
	50	73	576.57
	75	37	511.38
	90	22	463.67
100	5	1950	886.60
	15	616	778.15
	30	281	704.23
	50	145	641.75
	75	73	576.57
	90	44	528.85

3.7.5 ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE DE FONDO

POR MEDIO DEL MÉTODO DE MEYER – PETER Y MÜLLER DEL RÍO JEQUETEPEQUE

SECCIÓN TRANSVERSAL (S-1)

Datos:

- Caudal (Q): 360.03 m³/s.
- Área hidráulica (A_H): 72.22 m² (de la sección transversal S-1).
- Perímetro mojado (P_m): 96.01 m (de la sección transversal S-2).
- Pendiente del cauce del tramo de entrega (s_k): 0.0140
- Peso específico del agua (γ_w) (T°=28°C): 996.26 kgf/m³
- Radio Hidráulico (R_H)

$$R_H = \frac{72.22}{96.01} = 0.75 \text{ m}$$

- Velocidad (U)

$$U = \frac{Q}{A_h} = \frac{360.03}{72.22} = 4.99 \text{ m/s}$$

- Coeficiente de rugosidad de Strickler (k_s).

$$k_s = \sqrt{\frac{U^2}{s_k R_H^{4/3}}} = \frac{1}{n} = \sqrt{\frac{4.99^2}{0.014(0.75)^{4/3}}} = 51.09$$

- Densidad del agua (ρ):

$$\rho = \frac{\gamma_w}{g} = \frac{996.26 \text{ kgf/m}^3}{9.81 \text{ m/s}^2} = 101.56 \left(\frac{\text{s}^2}{\text{m}^4} \text{ kgf}\right)$$

- Peso específico del sedimento sólido (γ_s).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = 2.65 \text{ T/m}^3$$

- Peso específico del sólido sumergido (γ'_s).

$$\gamma'_s = (\gamma_s - \gamma_w) = (2650 - 996.26) = 1653.74 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Tabla 18 Características de los sedimentos

TAMIZ	ABERTURA(mm)	% Que pasa
N° 200	0.075	0.6
N°100	0.150	2.7
N°80	0.177	17.1
N°50	0.300	21.8
N°40	0.420	36.3
N°30	0.600	45.4
N°20	0.840	51
N°16	1.190	53.6
N°10	2.000	56
N°8	2.360	56.5
N°4	4.750	59.4
1/4"	6.350	61
3/8"	9.500	64.5
1/2"	12.500	67.3
3/4"	19.050	75.6
1"	25.400	82.1
1 1/2"	38.100	89.5
2"	50.800	94.2
2 1/2"	63.500	97.7
3"	76.200	100

En primer lugar se calcula el valor de D_{90} y el de D_m para la muestra granulométrica del lecho del río:

- a) El valor de D_{90} es inmediato ya que corresponde al diámetro del tamiz de 51 mm

$$D_{90} = 0.051 \text{ m}$$

- Coeficiente de rugosidad superficial (k_r)

$$k_r = \frac{26}{D_{90}^{1/6}} = \frac{26}{(0.051)^{1/6}} = 42.70$$

- b) El cálculo de D_m se realiza según: $D_m = \frac{\sum \Delta_i D_i}{100}$ (tabla siguiente):

Tabla 19 Cálculo del diámetro medio de los sedimentos.

% que pasa	Diámetro (mm)	Diámetro medio Xi (mm)	Δi	$\Delta i D_i$
0.6	0.075			
		0.11	2.1	0.2
2.7	0.150			
		0.16	14.4	2.4
17.1	0.177			
		0.24	4.7	1.1
21.8	0.300			
		0.36	14.5	5.2
36.3	0.420			
		0.51	9.1	4.6
45.4	0.600			
		0.72	5.6	4.0
51	0.840			
		1.02	2.6	2.6
53.6	1.190			
		1.60	2.4	3.8
56	2.000			
		2.18	0.5	1.1
56.5	2.360			
		3.56	2.9	10.3
59.4	4.750			
		5.55	1.6	8.9
61	6.350			
		7.93	3.5	27.7
64.5	9.500			
		11.00	2.8	30.8
67.3	12.500			
		15.78	8.3	130.9
75.6	19.050			
		22.23	6.5	144.5
82.1	25.400			
		31.75	7.4	235.0
89.5	38.100			
		44.45	4.7	208.9
94.2	50.800			
		57.15	3.5	200.0
97.7	63.500			
		69.85	2.3	160.7
100	76.200			

$$\sum \Delta_i D_i = 1182.8 \text{ mm}$$

$$D_m = \frac{\sum \Delta_i D_i}{100} = \frac{1182.8 \text{ mm}}{100} = 11.828 \text{ mm} = 0.0118 \text{ m.}$$

En segundo lugar sustituyendo en la fórmula de Meyer - Peter y Müller:

$$\gamma_w \left(\frac{K_s}{K_r} \right)^{3/2} R_{HSK} = 0.047 \gamma'_s D_m + 0.25 \rho^{1/3} q_s'^{2/3}$$

Reemplazando los valores en la fórmula de Meyer – Peter y Müller:

$$996.26 \left(\frac{51.09}{42.70} \right)^{3/2} (0.75)(0.014) = 0.047(1653.74)(0.0118) + 0.25(101.56)^{1/3} q_s'^{2/3}$$

$$q_s' = 36.2418 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \text{m.}$$

En el ancho de solera del río, a lo largo de la sección, el caudal sólido transportado será:

$$Q_s = (q_s')(b) = (36.2418)(44.50) = 1612.8 \text{ kg/s}$$

Para un día el río tendrá un arrastre de sedimentos de:

$$Q_s = \frac{(1612.8)(86400)}{1650} = 84449.95765 \text{ m}^3/\text{día}$$

En 90 días de período húmedo

$$Q_s = \left(84449.95765 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) (90 \text{ días}) = 7600496.19 \text{ m}^3$$

El caudal sólido en millones de metros cúbicos (MMC)

$$Q_s = (7600496.19 \text{ m}^3) \left(\frac{1 \text{ MMC}}{10^6 \text{ m}^3} \right) = 7.60 \text{ MMC}$$

Tabla 20 Resumen promedio de la tasa de sedimentación MMC/año.

Carga de Sedimentos	Tasa de sedimentación (MMC*/año)
De fondo	7.60
De suspensión	1.57
TOTAL	9.17

MMC*Millones de metros cúbicos

La tasa de transporte de sedimentos del río Jequetepeque, en el tramo de entrega a la presa Gallito Ciego es de 9.17 MMC/año.

Tasa de sedimentación según resultados de la batimetría

Según la batimetría realizada en Abril de 1999, da testimonio que se tiene acumulado en el embalse un volumen total de sedimentos $97 \times 10^6 \text{ m}^3$ (tabla 32), lo que representa una tasa real promedio de acumulación en el embalse de $8.82 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ (8.82 MMC/año), valor que concuerda muy bien con la cifra de pronóstico obtenida en el párrafo anterior (9.17 MMC/año).

Tasa de sedimentación según predicción del proyecto

El proyecto contempla una capacidad muerta de la presa Gallito Ciego de $85 \times 10^6 \text{ m}^3$ (85 MMC), ligada a una vida útil proyectada de 50 años (Tabla 21); con lo cual obviamente, la tasa de sedimentación anual adoptada para este proyecto es de $1.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ (1.7 MMC/año). Valor que discrepa con las tasas obtenidas de la batimetría (8.82 MMC/año) y de pronóstico del presente estudio (9.17 MMC/año).

La Tabla, contiene el resumen de cálculos de las tasas de sedimentación.

Tabla 21 Comparación de las tasas de sedimentación MMC/año.

Parámetro	Fundamento	Valor (MMC/año)
Tasa observada (Batimetría)	97 MMC/11 años	8.82
Tasa de pronóstico	Resultado de este estudio	9.17
Tasa de diseño del proyecto	85 MMC/50 años	1.70

La tasa de sedimentación estimada en esta investigación es compatible con la tasa de sedimentación observada (batimetría) y, ambas altamente discrepantes con la tasa de diseño del proyecto, la cual es menor en aproximadamente 5 veces. Esto evidencia la debilidad del

estudio hidrológico, en materia de sedimentología, con una subestimación verdaderamente sorprendente y suspicaz, quien sabe para forzar a sabiendas la factibilidad del proyecto.

La vida útil de la presa, proyectada a 50 años (horizonte económico), se ha visto reducida a menos de 1/5; lo que significa un truncamiento brusco del flujo económico de beneficios y, con ello, grandes pérdidas económicas. Esta situación se torna más grave aún, al haberse forzado la factibilidad económica ($B/C=0.70$).

CAPÍTULO IV

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta parte se presenta los resultados de la carga de sedimentos de suspensión, carga de sedimentos de fondo, la tasa de sedimentación y su impacto en su horizonte económico del proyecto.

4.1 ANÁLISIS DE LA CARGA DE SEDIMENTOS DE SUSPENSIÓN

La carga de sedimentos de suspensión fue mediante el método de la Ecuación universal de Pérdida de suelo, ya que intervienen las características de relieve (coeficiente orográfico) y factores climáticos (precipitación media anual y la precipitación del mes de máxima pluviosidad) de la cuenca.

El coeficiente orográfico de la cuenca del río Jequetepeque es de 3.68 % es un valor $< 6\%$, entonces la cuenca representa un relieve poco accidentado.

Para calcular la precipitación media anual de la cuenca del río Jequetepeque se utilizó el método de las isoyetas, mediante la utilización del sistema de información geográfico ArcGis y también fue comprobado con el software Hidroesta.

Obteniendo un resultado de carga de sedimentos de suspensión de 1.57 MMC/ en los tres meses húmedos de enero, febrero y marzo .

4.2 ANÁLISIS DE LA CARGA DE SEDIMENTOS DE FONDO

Para la estimación de carga de sedimentos de fondo se utilizó el método de Meyer – Peter y Müller, donde se realizó un modelamiento de máximas descargas anuales de la estación Yonán y también el análisis granulométrico de los sedimentos en el tramo de entrega a la presa Gallito Ciego.

MODELAMIENTO DE MÁXIMAS DESCARGAS ANUALES DE LA ESTACIÓN YONÁN

Se ha tomado una muestra de caudales máximos anuales registrados en la Estación Hidrométrica de Yonán (aguas arriba de la represa Gallito Ciego) del río Jequetepeque, durante 51 años consecutivos de registros históricos (1965-2015).

El modelo que mejor se ajusta es el modelo probabilístico de Gumbel, se realizó con la prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Kolmogorov.

Donde el estadístico de Smirnov – Kolmogorov (Δ) es menor que el valor crítico (Δ_0), entonces la prueba de bondad de ajuste es bueno, para un nivel de significación $\alpha = 0.05$, y $N=51$ años de caudales máximos.

De la simulación del modelamiento, se obtiene un caudal máximo de $360.03 \text{ m}^3/\text{s}$ para 5 años consecutivos y con un riesgo del 50 % y periodo de retorno de 8 años.

Diámetro medio de los sedimentos de fondo

El diámetro medio de los sedimentos de fondo en la Sección transversal, en el tramo de entrega a la Presa Gallito Ciego se ajusta al diámetro medio mediante el método de Meyer – Peter y Müller.

ANÁLISIS DEL REGISTRO HISTÓRICO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA YONÁN

El análisis se realizó con la prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Kolmogorov.

Donde el estadístico de Smirnov – Kolmogorov (Δ) es menor que el valor crítico (Δ_0) para un nivel de significación $\alpha = 0.05$, y $N=51$ años de caudales máximos.

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a lo largo de la investigación permitieron evaluar la hipótesis planteada al inicio del presente estudio y poder concluir de la siguiente manera:

- La estimación de carga de sedimentos de suspensión mediante el método de la Ecuación universal de Pérdida de suelo aporta 1.57 MMC de enero a marzo de 2015, mientras la carga de sedimentos de suspensión realizado por PEJEZA es de 1.64 MMC de enero a marzo de 2015.
- La estimación de carga de sedimentos de fondo mediante el método de Meyer- Peter y Müller aporta 7.60 MMC de enero a marzo de 2015.
- Las tasas de sedimentación de este estudio es de 9.17 MMC/año y la del proyecto es de 1.70 MMC/año.
- El impacto horizonte económico del proyecto, se ha visto reducida a menos de 1/5.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda profundizar estudios con el método de la ecuación universal de Pérdida de suelo, cuando se cuente con mayor cantidad de datos meteorológicos.
- Se recomienda profundizar estudios a fin de estimar la carga de sedimentos de suspensión y carga de sedimentos de fondo mediante otros métodos.
- Se recomienda no forzar la factibilidad de los proyectos (Beneficio/Costo).

CAPÍTULO VI

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Apaella N, R. (2014). *Hidráulica Fluvial*. Perú: UNALM.
2. Aparicio M, F.J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Limusa.
3. Cahuana Andía, A. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología civ-233*. Recuperado de <http://www.fcyt.umss.edu.bo/materias>. Cochabamba: USSB.
4. Chereque M, W. (1989). *Hidrología: para estudiantes de ingeniería civil*. Lima: PUCP.
5. Días R, J A. (2014). *Mecánica de Suelos*. México: Trillas.
6. Guevara P, E. (2015), *Métodos para el Análisis de Variables Hidrológicas y Ambientales*: Perú: Depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú.
7. Gracia, S. J., Maza, A. J. A. (1987). *Morfología de Ríos*. México: UNAM.
8. Juárez B. E., Rico, R. A. (2016), *Mecánica de Suelos Tomo 1 Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa.
9. Linsley, Kholer, Paulus. (1977). *Hidrología para ingenieros*. Bogotá. 2da. Ed
10. Martín V, J P. (2003). *Ingeniería de Ríos*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
11. Martínez M, E. (2001). *Hidráulica Fluvial Principios y Prácticas*. España: Bellisco.
12. Maza, A. J. A., Garcia, F. M. (1987). *Hidrodinámica Bases para Hidráulica Fluvial*. México: UNAM.
13. Mejía M, J A. (2012). *Hidrología Aplicada*. Perú: Q & P Impresores S.R.L.
14. Rocha F, A. (1998). *Introducción a la hidráulica Fluvial*. Perú:
15. Reyes T. A., Ulises, B. F., Carvajal, E. Y. (2011). *Guía básica para la caracterización morfométrica de Cuencas Hidrográficas*. Colombia: Imprenta Departamental del Valle del Cauca.
16. Sánchez S R, F J (2004). *Hidrología*. España: UNIVERSIDAD DE SALAMANCA.
17. Villón B, M. (2011). *Hidrología*. Costa Rica: Copyright – MaxSoft.
18. Villón B, M. (2011). *Hidrología Estadística*. Costa Rica: Copyright – MaxSoft.
19. Wolfgang S, I. W. (1994). *Regularización y Control de Ríos*. Perú: CONCYTEC.

TESIS Y ESTUDIOS

1. MINAGRI, ANA, AAA-JZ, DCPRH. (2015) *Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Jequetepeque*. (ESTUDIO). San Pedro de Lloc.

APUNTES DE CLASE

1. Ortiz V., S. O. (2004). *Hidrología de Superficie* (Apuntes de clase). Escuela Profesional de Ingeniería Hidráulica - UNC.

PAGINAS WEB

1. INEI. <http://www.inei.gob.pe/>
2. PEJEZA. <http://www.pejeza.gob.pe/>
3. SENAMI. <http://www.senamhi.gob.pe/>
4. UNESCO. <http://www.unesco.org/new/es>

CAPÍTULO VII

VII. ANEXOS.

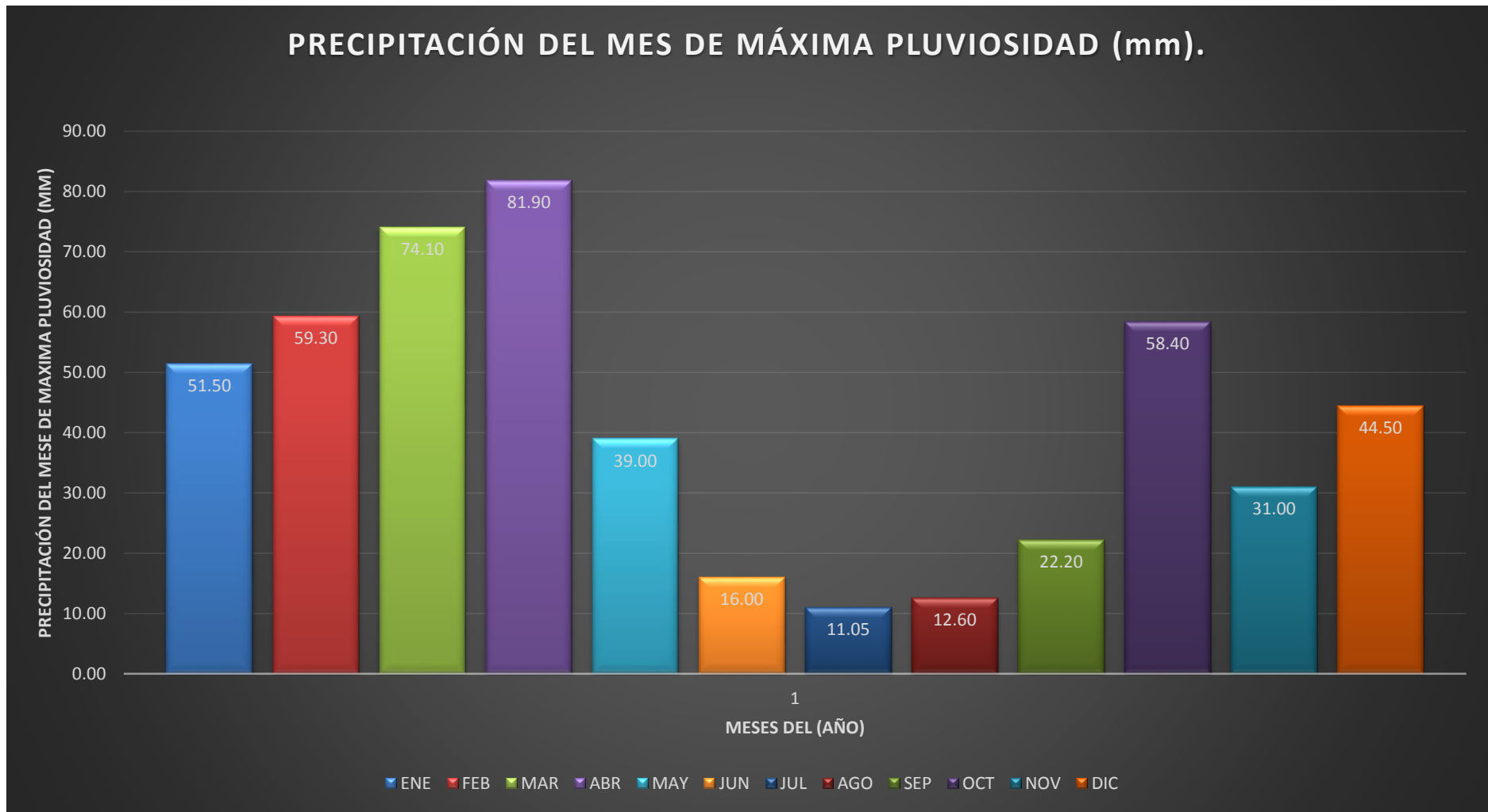
7.1. PRECIPITACIÓN DEL MES DE MÁXIMA PLUVIOSIDAD (ABRIL)

Tabla 22 Precipitaciones de los meses de máxima pluviosidad (mm).

P	ESTACIÓN	ESTE	NORTE	ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	SAN JUAN	777022.20	9193637.60	2,469.00	50.00	54.00	74.10	53.00	23.50	7.70	5.20	6.60	17.20	21.40	29.40	44.50
2	MAGDALENA	758321.7	9197487.5	1,257.00	24.50	49.60	46.50	40.80	16.30	7.60	5.50	4.90	7.50	16.70	21.40	32.00
3	LLAPA	739704.2	9225728.5	2,900.00	33.40	54.80	58.50	49.70	37.30	9.50	8.50	12.60	21.50	58.40	24.80	30.60
4	HACIENDA LLAGADEN	766815.2	9196029.2	2,150.00	38.10	26.50	26.00	27.80	18.80	16.00	0.00	6.00	10.00	15.30	23.10	34.40
5	GRANJA PORCON	762191.4	9221839.6	3,261.00	11.92	12.24	12.09	11.40	11.30	11.27	11.05	11.29	11.88	11.46	11.37	12.48
6	CONTUMAZA	739517.7	9186333.8	2,610.00	33.80	59.30	58.60	81.90	15.10	4.80	2.50	6.50	7.20	30.00	14.40	30.20
7	CHILETE	738778.8	9200899.7	859.00	36.80	40.20	27.50	22.20	14.20	0.00	0.00	0.00	4.70	9.40	11.40	16.40
8	ASUNCION	774313	9190992	2,194.00	51.50	59.20	72.30	51.30	39.00	13.00	3.80	4.40	22.20	17.10	31.00	36.20
	PRECIPITACIÓN MÁXIMA MENSUAL				51.50	59.30	74.10	81.90	39.00	16.00	11.05	12.60	22.20	58.40	31.00	44.50

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 33 se muestra la precipitación de los meses de máximas pluviosidad (mm), observada en las estaciones meteorológicas pertenecientes a la cuenca del río Jequetepeque.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26 Precipitación del mes de máxima pluviosidad (mm).

7.2. ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Tabla 23 Análisis Granulométrico de los sedimentos en la sección transversal S-1.

“TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL RÍO JEQUETEPEQUE E IMPACTO EN LA VIDA ÚTIL DE LA PRESA GALLITO CIEGO”.							
ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
TRAMO	:	En el tramo de entrega a la presa Gallito Ciego			SECCIÓN	:	S-1
MATERIAL	:	TERRENO NATURAL			MUESTRA	:	M – 1
FECHA	:	25/09/17			PROF. (m)	:	0.10 - 0.50
TAMIZ	ABER. (mm)	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% PASA		
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0		
2 1/2"	63.500	504.7	2.4	2.4	97.7		
2"	50.800	752.3	3.5	5.9	94.2		
1 1/2"	38.100	1010.6	4.7	10.6	89.5		
1"	25.400	1572.6	7.3	17.9	82.1		
3/4"	19.050	1402.1	6.5	24.4	75.6		
1/2"	12.500	1780.3	8.3	32.7	67.3		
3/8"	9.500	612.8	2.9	35.5	64.5		
1/4"	6.350	744.1	3.5	39.0	61.0		
Nº 4	4.750	341.2	1.6	40.6	59.4		
Nº 8	2.360	619.9	2.9	43.5	56.5		
Nº 10	2.000	120.9	0.6	44.0	56.0		
Nº 16	1.190	509.9	2.4	46.4	53.6		
Nº 20	0.840	545.8	2.6	49.0	51.0		
Nº 30	0.600	1216.5	5.7	54.7	45.4		
Nº 40	0.420	1933.6	9.0	63.7	36.3		
Nº 50	0.300	3120.2	14.6	78.3	21.8		
Nº 80	0.177	1003.0	4.7	82.9	17.1		
Nº 100	0.150	3069.5	14.3	97.3	2.7	PESOS INICIALES	
Nº 200	0.075	467.4	2.2	99.4	0.6	PESO TOTAL : 21486.0 gr	
< Nº 200		115.6	0.5	100.0		PORCION DE FINO : 12722.3 gr	

Fuente: Elaboración propia.

7.3. PANEL FOTOGRÁFICO

7.3.1 TRABAJO DE CAMPO



Imagen 2 Ámbito de estudios en la ciudad de Tembladera.

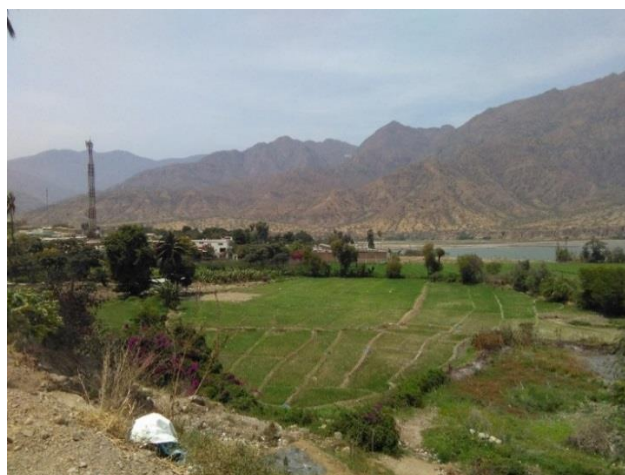


Imagen 3 Zona periférica del embalse Gallito Ciego.



Imagen 4 Límites del espejo de agua del embalse Gallito Ciego



Imagen 5 Tramo de entrega se sedimentos al embalse Gallito Ciego



Imagen 6 Fijación del punto de muestreo - tramo de entrega se sedimentos



Imagen 7 Determinación de la temperatura del agua - Tramo de entrega.



Imagen 8 Levantamiento Topográfico del Tramo de entrega.



Imagen 9 Determinación del ancho del cauce del río - Tramo de entrega.



Imagen 10 Determinación de la pendiente del cauce - Tramo de entrega.



Imagen 11 Puntos de muestreo C1, C2, C3 – Sección trasversal 01.



Imagen 12 Turbidez del agua en la estación hidrométrica Yonán.

7.3.2 TRABAJO DE GABINETE:



Imagen 13 Muestras de suelos para analizar en el laboratorio.



Imagen 14 Determinación del peso de cada muestra.



Imagen 15 Secado a temperaturas ambientales cada una de las muestras.



Imagen 16 Muestras de suelos en el laboratorio.



Imagen 17 Muestras de suelos en el laboratorio – juego de tamices.



Imagen 18 Ensayo granulométrico de los sedimentos.



Imagen 19 Determinación del peso específico de cada muestra.

7.4. INFORMACIÓN DE OPEMA – JEQUETEPEQUE GALLITO CIEGO



Imagen 20 Equipos instalados en la embarcación hidrográfica.

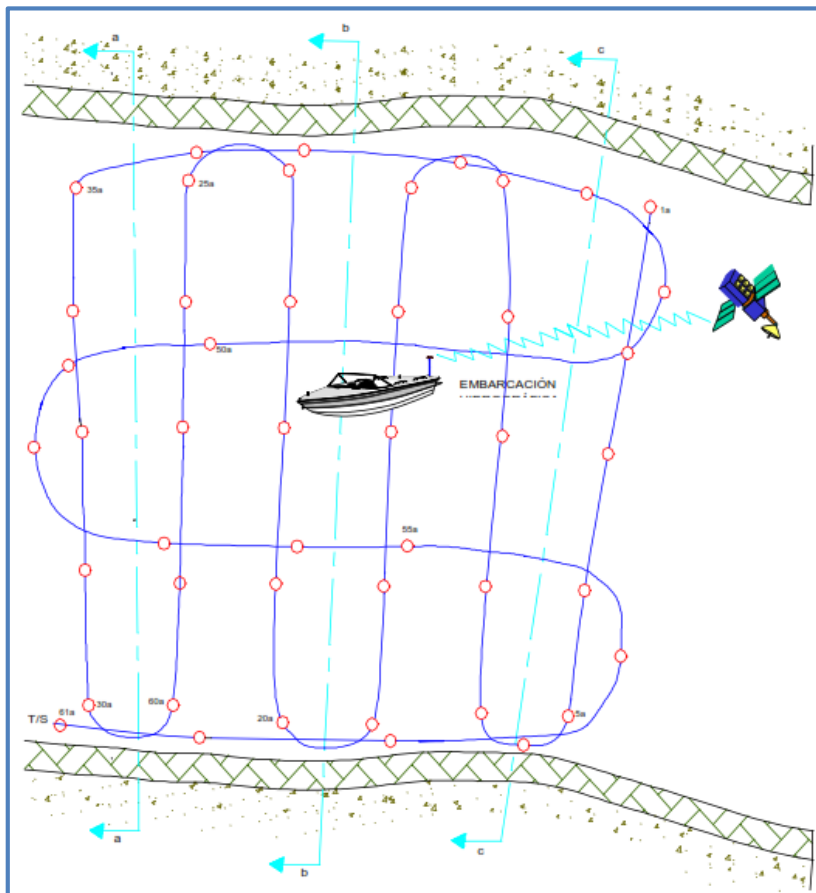


Imagen 21 Posicionamiento de la embarcación en el levantamiento batimétrico.

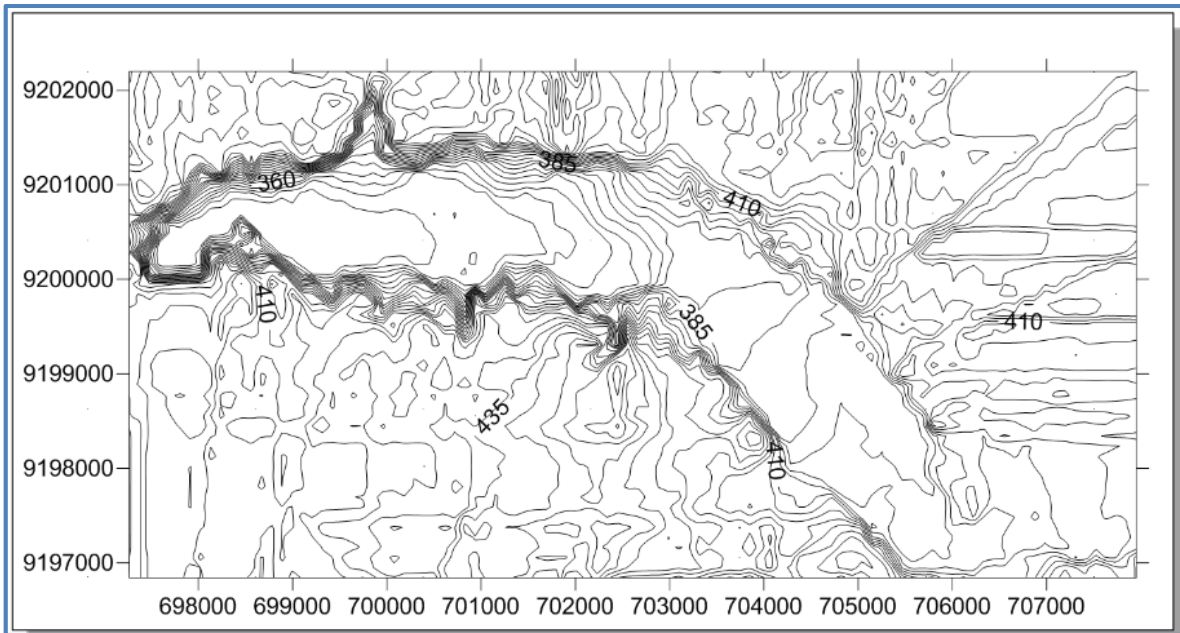


Imagen 22 Levantamiento batimétrico – visualización en planta.

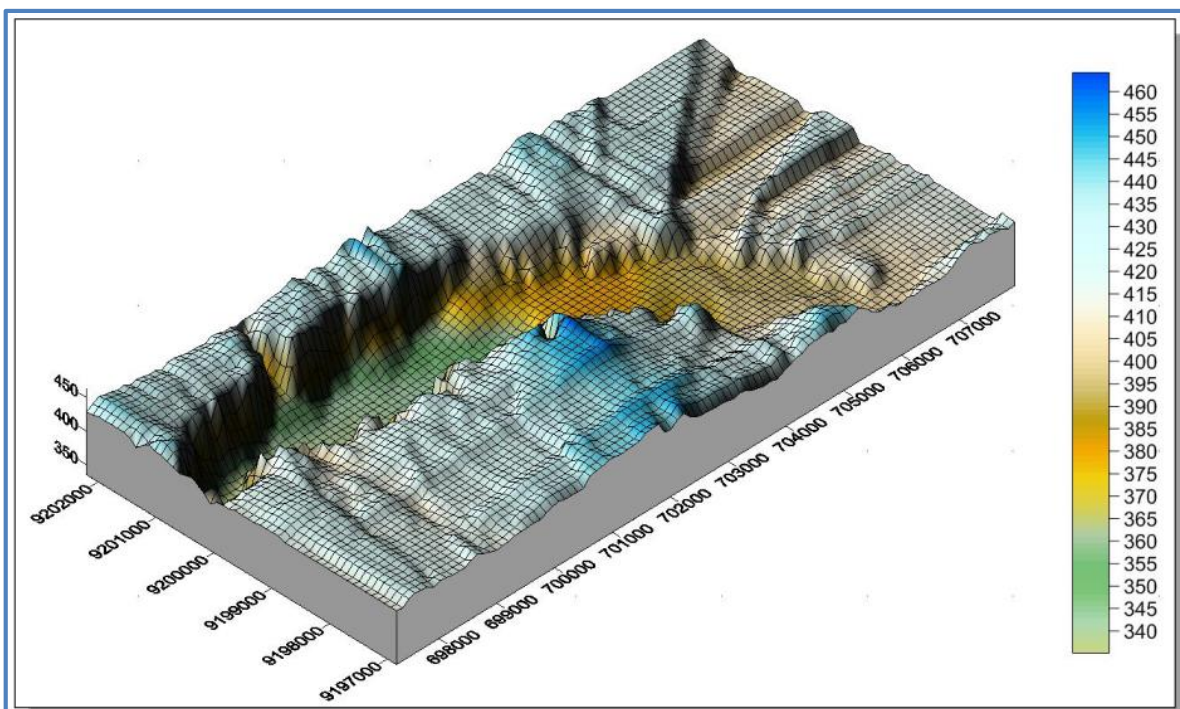


Imagen 23 Levantamiento batimétrico – Modelo Digital del Embalse Gallito Ciego.

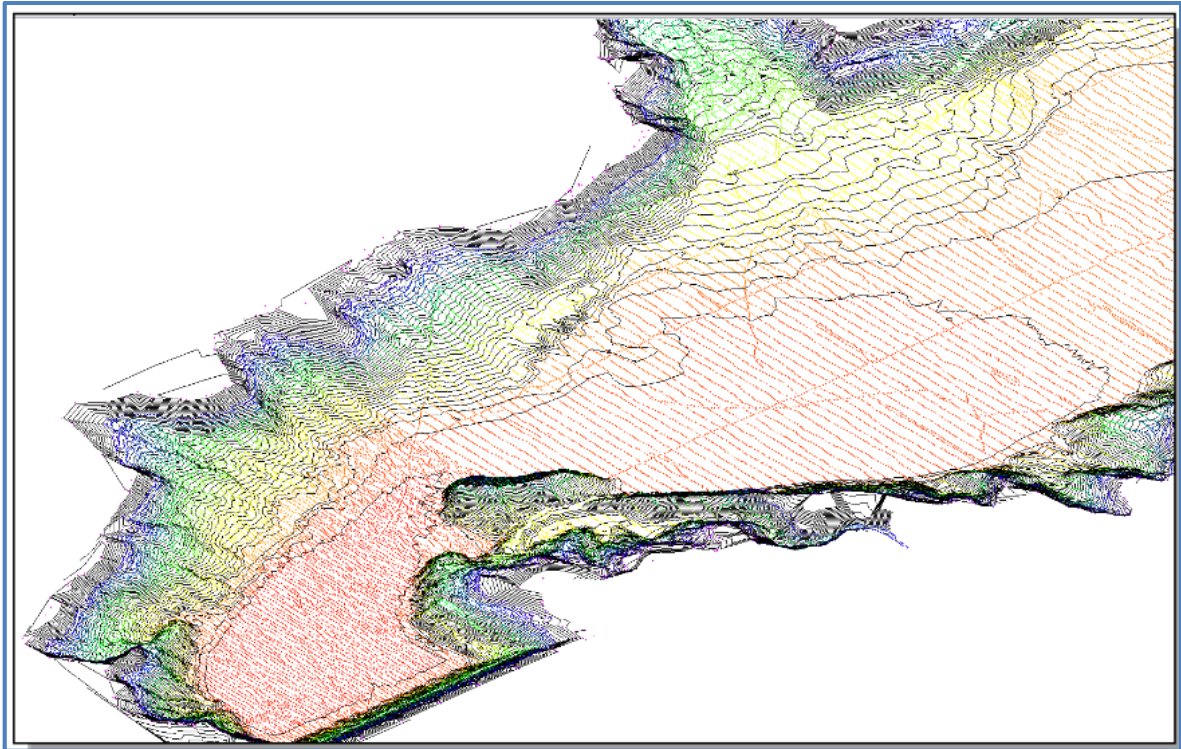


Imagen 24 Creación de Curvas de Nivel del Embalse Gallito Ciego.

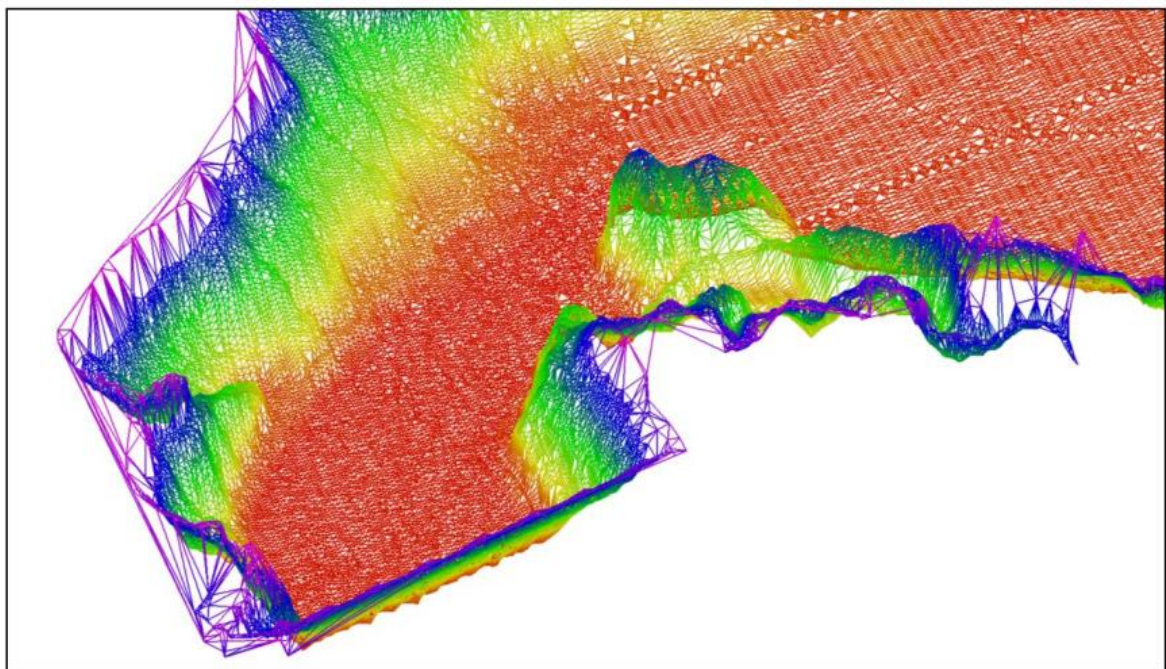


Imagen 25 Generación de una Matriz en todo el Embalse Gallito Ciego.

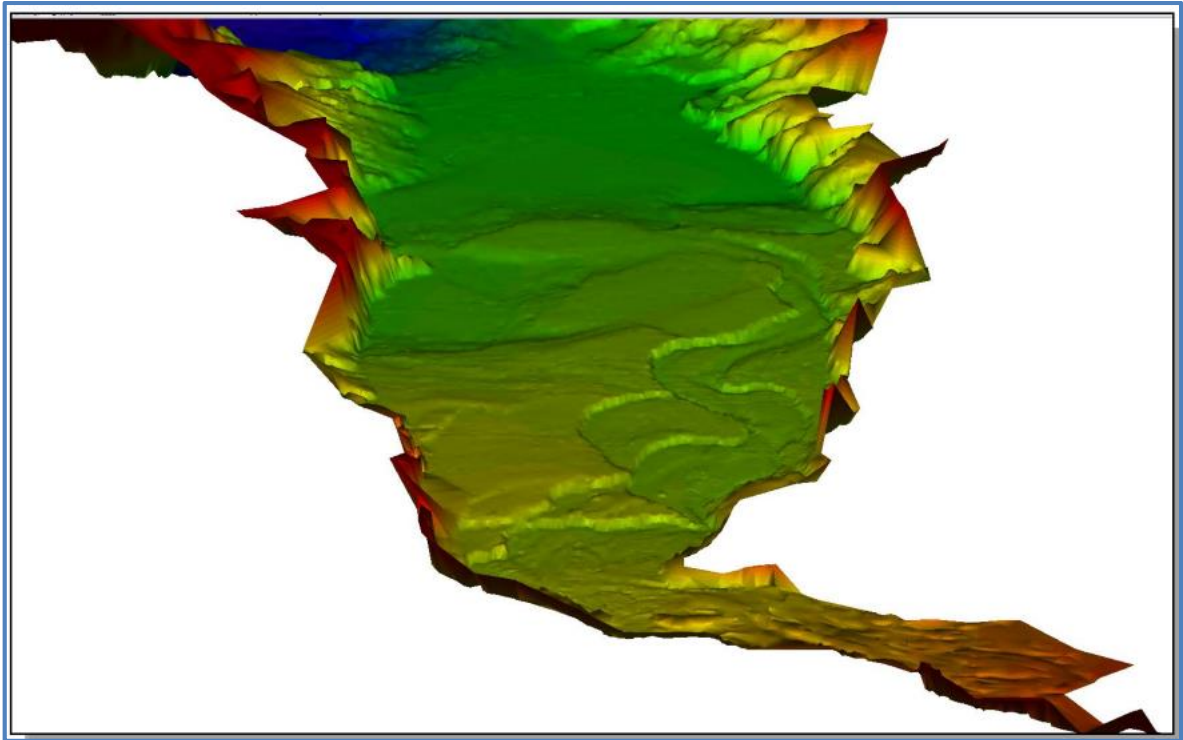


Imagen 26 Generación de una Matriz en la cola del Embalse Gallito Ciego.

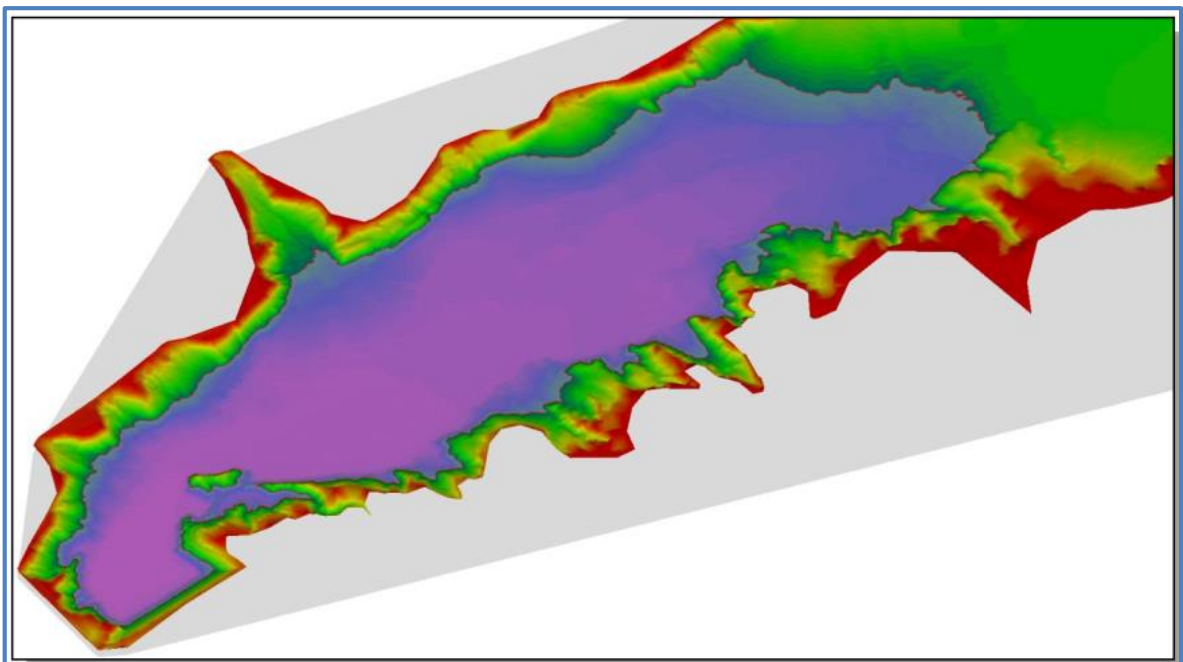


Imagen 27 Cálculo del volumen en el Embalse Gallito Ciego.

7.5. PLANOS

