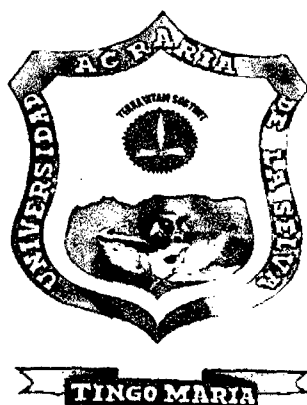


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CIENCIAS DE LOS

RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E HIDRAÚLICAS DEL
RÍO LAS PAVAS DE LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO**

Tesis

Para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

Presentado por:

DAVID CARRANZA JARA

PROMOCIÓN 2006 – I

TINGO MARÍA – PERÚ

2007



P10

C26

Carranza Jara, David

Características Morfológicas e Hidráulicas del Río las Pavas de La Provincia de Leoncio Prado. Tingo María 2007

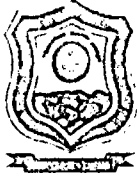
94 h.; 28 cuadros; 19 fgrs.; 19 ref.; 30 cm. ⁶

Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Conservación de Suelos y Agua) Universidad Nacional Agraria de Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

CUENCA / RÉGIMEN-CONSERVACIÓN / CARACTERÍSTICA HIDRÁULICA /

MANEJO-CONTROL / MORFOLOGÍA / METODOLOGÍA / TINGO MARÍA /

RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUÁNUCO / PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 19 de Octubre de 2006, a horas 07:00 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la tesis titulada:

“CARACTERISTICAS MORFOLÓGICAS E HIDRAÚLICAS DEL RÍO LAS PAVAS DE LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO”

Presentado por el Bachiller: **DAVID CARRANZA JARA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de “BUENO”.

En consecuencia el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título correspondiente.

Tingo María, 20 de diciembre de 2007

.....
Ing. M.Sc. JOSE LEVANO CRISOSTOMO
Presidente

.....
Ing. M.Sc. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
Vocal

AUSENTE

.....
Ing. MSc. VICTOR MEDINA SANCHEZ
Vocal

.....
Ing. RICARDO MARTIN CHAVEZ ASENCIO
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, por otorgándome siempre la fuerza espiritual para seguir alcanzando mis metas y lograr mis objetivos.

A mis queridas madres Carmen, JARA SILVA y Roxana, RAMOS JARA, quien con su apoyo moral, dedicación invaluable y sacrificio, hicieron posible la culminación de mi formación Profesional.

A mis hermanos Darío, y Julio Cesar.

A mi tío Ing. Orlando, JARA CABRERA, por el apoyo insuperable brindado, en el financiamiento de la tesis y a Nancy CABRERA BARDALES por apoyarme en este trabajo y estar a mi lado.

A mi querido y estimado abuelo Aniceto JARA GUEVARA

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables y a su plana docente, que contribuyeron en mi formación profesional.

- Al Ing. Ricardo, Chávez Asencio, patrocinador de esta investigación por sus valiosas orientaciones técnicas y científicas en la culminación del presente trabajo.

- A los miembros integrantes del jurado: Ing. M.sc. José, Levano Crisóstomo y Ing. M.sc. Lucio, Manrique de Lara Suarez, por sus orientaciones y consejos durante la ejecución del proyecto de tesis.

- A mis amigos José Correa Ponce, Henry Centeno Rengifo, a mis primos Humberto Jara Zavaleta, Remigio Pérez Jara y Erik Jara Benavides que me apoyaron en el trabajo de campo y a todas las personas que han colaborado en la realización del presente proyecto de tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Los elementos físicos – geográficos y los elementos hidrológicos de una cuenca.....	4
2.2. Las microcuencas de la provincia de Leoncio Prado.....	5
2.3. Morfología fluvial.....	6
2.3.1. Perfil longitudinal.....	6
2.3.2. Zonación longitudinal.....	8
2.3.3. Trazado de un río.....	10
2.4. Caracterización hidrológica.....	13
2.4.1. Descargas máximas.....	13
2.4.2. Caudal dominante.....	14
2.5. Métodos de determinación de máximas avenidas.....	17
2.5.1. Métodos empíricos.....	17
2.5.2. Métodos directos o hidráulicos.....	17
2.5.3. Métodos hidrológicos.....	18
2.5.4. Método racional modificado.....	18
2.6. Características hidráulicas de ríos.....	19
2.6.1. Velocidad.....	20
2.6.2. Rugosidades del cauce.....	22

2.6.3.	Otros caracteres hidráulicos.....	23
2.7.	Régimen de cauce.....	23
2.7.1.	Aplicación de las fórmulas de teoría del régimen.....	26
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1.	Referencias del río Las Pavas.....	32
3.2.	Lugar de ejecución.....	32
3.2.1.	Condiciones climáticas.....	33
3.3.	Materiales y equipos.....	34
3.4.	Metodología.....	34
3.4.1.	Caracterización hidrológica y morfométrica de la cuenca.....	34
3.4.2.	Caracterización hidráulica.....	37
3.4.3.	Análisis del régimen de cauce.....	39
3.4.4.	Análisis de confiabilidad de datos.....	42
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1.	Morfometría de la microcuenca del río las Pavas.....	48
4.1.1.	Análisis morfométrico	48
4.2.	Caracterización hidráulica.....	55
4.3.	Caudal dominante.....	65
4.4.	Régimen de cauce.....	61
4.4.1.	Métodos de cálculo para el régimen de cauce.....	61
4.5.	Análisis de confiabilidad de datos.....	66
4.5.1.	Estadísticos descriptivos.....	66
4.5.2.	Análisis de comparación de promedios.....	68
4.5.3.	Análisis de varianza para Diseño Completo al Azar.....	70

4.6. Análisis de regresión y de correlación.....	71
4.6.1. Modelos de caracterización hidráulica propuestos para el río Las Pavas.....	71
4.7. Comparación de las características hidráulicas estudio vs Régimen de cauce.....	79
4.8. Comprobación de hipótesis.....	85
V. CONCLUSIONES.....	86
VI. RECOMENDACIONES.....	88
VII. ABSTRACT.....	89
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
IX. ANEXO.....	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Velocidades mínimas que ocasionan erosión en los cauces a diferentes profundidades.....	22
2. Coordenadas de ubicación UTM.....	32
3. Distancias mínimas entre verticales recomendables.....	37
4. Análisis de Varianza para el Diseño Completo al Azar (DCA).....	44
5. Análisis de Varianza para Regresión Lineal.....	46
6. Índices y Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Las Pavas.....	51
7. Resultados para la Curva Hipsométrica del río Las Pavas.....	54
8. Resumen de características hidráulicas del río Las Pavas tramo 1al 7 del curso principal (Orden 3).....	57
9. Resumen de características hidráulicas del río Las Pavas tramo 8 al 14 del curso principal (Orden 3).....	58
10. Valores del caudal dominante (m ³ /s) del río Las Pavas en los diferentes tramos en estudio.....	60
11. Características hidráulicas de Régimen del río Las Pavas, tramo 1 al 7 entre las cotas 665 – 720 m.s.n.m.....	64
12. Características hidráulicas de Régimen del río Las Pavas, tramo 8 al 14 entre las cotas 665 – 720 m.s.n.m.....	65

13. Estadísticos descriptivos de los parámetros hidráulicos encontrados para el río Las Pavas.....	66
14. Estadísticos descriptivos de los parámetros de régimen de cauce para el río Las Pavas.....	67
15. Resultados de prueba de comparación de promedios de las características hidráulicas in situ vs características hidráulicas de régimen del río Las Pavas.....	69
16. Análisis de varianza del ancho (m) de río Las Pavas determinado por diferentes métodos.....	70
17. Análisis de varianza de la profundidad media (m) de río Las Pavas determinado por diferentes métodos.....	70
18. Análisis de varianza de la pendiente (%) de río Las Pavas determinado por diferentes métodos.....	71
19. Análisis de varianza para regresión lineal del ancho (m), pendiente (%), profundidad (%) y Velocidad (m/s) vs Caudal dominante (m ³ /s).....	72
20. Modelos obtenidos mediante regresión potencial.....	78
21. Análisis de varianza para el Ancho in situ (m) vs ancho de régimen de cauce (Método de Simons y Henderson) para el río Las Pavas.....	79
22. Análisis de varianza para el Ancho in situ (m) vs ancho de régimen de cauce (Método de Biench o Altunin) para el río Las Pavas.....	80
23. Análisis de varianza para el Ancho in situ (m) vs ancho de régimen de cauce (Método de Lacey) para el río Las Pavas.....	80

24. Análisis de varianza para la profundidad media in situ (m) vs profundidad media de régimen de cauce (Método de Biench o Altunin) para el río Las Pavas.....	81
25. Análisis de varianza para la profundidad media in situ (m) vs profundidad media de régimen de cauce (Método de Lacey) para el río Las Pavas.....	82
26. Análisis de varianza para la pendiente (m/m) in situ (m) vs profundidad media de régimen de cauce (Método de Biench o Altunin) para el río Las Pavas.....	82
27. Análisis de varianza para la pendiente (m/m) in situ (m) vs profundidad media de régimen de cauce (Método de Lacey) para el río Las Pavas	83
28. Valores de los parámetros hidráulicos estables para el río Las Pavas...	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Forma del perfil longitudinal del río Bernesga.....	7
2. Tipos de trazado de un río.....	11
3. Diferentes niveles del compartimiento de las aguas.....	13
4. Relación del caudal dominante frente al transporte de sedimentos.....	15
5. Diagrama para la obtención del caudal dominante.....	16
6. Esquema de definición para la geometría hidráulica de cauces aluviales.....	20
7. Relación entre el ancho de régimen y caudal dominante.....	25
8. Relación ancho-caudal para un grupo de experimentos con microcanales de laboratorio ($r^2 = 0.98$).....	26
9. Imagen de satélite año 2001, mostrando el lugar de ejecución del proyecto.....	36
10. Orden de las corrientes de la subcuenca del río Las Pavas.....	52
11. Curva Hipsométrica de la subcuenca del río Las Pavas.....	53
12. Perfil longitudinal de curso principal de la subcuenca del río Las Pavas.....	55
13. Caudal dominante (m^3/s) en cada tramo.....	61
14. Modelo de régimen de cauce del ancho (m) en función del caudal dominante (m^3/s), del río Las Pavas.....	73

15. Modelo de régimen de cauce de la profundidad media (m) en función del caudal dominante (m^3/s), del río Las Pavas.....74
16. Modelo de régimen de cauce de la pendiente (%) en función del caudal dominante (m^3/s), del río Las Pavas.....75
17. Modelo de régimen de cauce de la velocidad media (m/s) en función del caudal dominante (m^3/s), del río Las Pavas.....76
18. Modelo de régimen de cauce recomendado para la pendiente (%) en función del caudal dominante (m^3/s), del río Las Pavas.....77
19. Modelo de régimen de cauce recomendado para la velocidad media (m/s) en función del caudal dominante (m^3/s), del río Las Pavas.....77

RESUMEN

Se realizaron estudios de caracterización morfológica e hidráulica del río Las Pavas, en el distrito Mariano Dámaso Beraún, Provincia de Leoncio Prado, fundamentalmente con la finalidad de determinar estas características y hallar las condiciones para el detalle del régimen de cauce.

La investigación se inició en el mes de junio 2006 y culminó en enero 2007. En el presente estudio se determinó la relación hidráulica que existe entre la sección, el ancho, su gradiente y el caudal que conduce; describiendo así las condiciones para lograr definir el régimen de cauce. Dentro del siguiente estudio se tuvo que valer de información cartográfica digitalizada mediante la herramienta Arcview GIS 3.3, como también la adquisición de la imagen satelital Lansat 2001, procediéndose al despliegue de las cartas digitalizadas 19l, 20l, 19k y 20k de la región Huánuco. En la obtención del caudal dominante no se pudo llegar a utilizar un periodo de retorno de 1,5 años en la serie de caudales máximos anuales, por lo tanto se tomó dos criterios el primero de ser el que ocupa toda la sección transversal y el segundo definida para la cual la relación anchura/profundidad es mínima. Se pudo lograr plantear tres modelos desarrollados en el estudio, el de Simons y Henderson, el de Altunin – Biench y el de Lacey.

Las características hidráulicas del río Las Pavas presentaron los siguientes valores de pendientes que van de 2,00 a 18,63 %, un ancho de cauce con valores que van de 24,00 a 3,71 m, un perímetro mojado que va de 3,90 a 23,86 m, un área transversal de 4,2 a 31,20 m², un radio hidráulico con valores que van de 1,03 a 1,50 m, una velocidad media con valores que van de 0,98 a los 3,24 m/s, una profundidad media que van de 1,50 a 3,22 m y un caudal dominante con valores que van desde los 9,25 a 43,86 m³/s.

Se obtuvo los modelos de relación de las variables de ancho, profundidad media, pendiente y velocidad, frente al caudal dominante el cual fue calculado mediante el método directo; dichos modelos fueron los siguientes:

$W = 0.166 * Q_d^{1.304}$, $Y_m = 1.303 * Q_d^{1.159}$, $S = 57.24 * Q_d^{-0.288}$ y $V_m = 8.331 * Q_d^{-0.57}$, respectivamente. Se entiende que dichos modelos solo deben de ser usados para caracterizar al río Las Pavas, pues ellos servirán para la recuperación de los procesos fluviales.

I. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento y desarrollo de los recursos naturales y de las cuencas hidrográficas en el Perú puede caracterizarse, en gran parte, por su espontaneidad y necesidad de uso de un determinado recurso o área del país, inspirado básicamente en el crecimiento económico orientado al mejoramiento de la calidad de vida de una parte de la población que en la mayoría de los casos ha permitido el uso irracional de los recursos naturales renovables, lo que da como resultado un rápido agotamiento o deterioro de los mismos (SANCHEZ, 2003).

Los sistemas de drenaje están íntimamente relacionados con los asentamientos humanos y los desarrollos agrícolas, ganaderos e industriales. Por esta razón, el estudio y conocimiento de una cuenca de drenaje resulta indispensable, a fin de lograr un mejor manejo de la misma orientado a maximizar su utilización y a la vez lograr su control para minimizar fenómenos naturales no deseados (huaycos, desbordes, etc.).

Existen trabajos de investigación realizados, basados en estudios del aprovechamiento de los recursos forestales, como también de suelos, donde se ha determinado, que debido al mal uso del territorio, al ocupar

espacios no aptos para determinadas actividades productivas, se obtienen como consecuencia la erosión de los suelos conllevando al transporte de partículas que luego van a depositarse en el cauce de los ríos, los cuales colectan y transportan grandes volúmenes de sedimentos, estableciendo la mejor prueba del mal manejo de la cuenca.

El control del agua de cauces, conociendo la actividad la misma en todo el trayecto de un río, no presenta dificultad en su control aunque a veces resulte costoso, como en el caso de tener que pavimentar y canalizar un cauce. Existen métodos fáciles y económicos para controlar un río en sus tres secciones (PRIETO, 1999). Por otro lado, el mal entendimiento de tratar a las cuencas en dirección de las partes bajas a las partes altas, cuando debería de ser al contrario, Pues lo que se quiere conseguir con este trabajo de investigación es sentar las bases para recuperar los procesos fluviales con los que el río pueda reconstruir su dinámica y un funcionamiento más próximo al natural o de referencia. Es así que se planteó el estudio de las características morfológicas e hidráulicas del río Las Pavas, en el cual se determinó la relación hidráulica que existe entre su sección, el ancho, su gradiente y el caudal que conduce; describiendo así las condiciones para lograr el Régimen de Cauce el cual forme parte de un plan de manejo de cuenca del río las pavas.

Objetivos generales

- Determinar las características morfológicas e hidráulicas del río Las Pavas, Provincia de Leoncio Prado

Objetivos específicos

- Determinar las características morfológicas de la subcuenca Las Pavas de la Provincia de Leoncio Prado.

- Establecer la relación que existe entre las características hidráulicas y el caudal que produce.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LOS elementos físicos – geográficos y los elementos hidrológicos de una cuenca

Los factores que intervienen en el estudio de una cuenca son muy diversos: topografía, geología, edafología, climatología, hidrología, vegetación, etc.

La influencia de los diversos factores no puede reducirse a expresiones puramente matemáticas, pero el estudio de ciertas relaciones puede dar una idea cualitativa del problema. Existen claras relaciones entre los elementos físico-geográficos que caracterizan un sistema o cuenca determinado y los diversos parámetros hidrológicos que lo afectan.

Cuando se habla de aguas de drenaje hídrico se hace referencia a todos los flujos de agua superficial, se trate de aquellos que escurren sin encauzar por las pendientes que se denomina drenaje en manto, en oposición a cuando el curso está confinado y se le denomina drenaje encauzado o curso de agua.

La red de canales fluviales que recogen el agua superficial y de las vertientes que tributan en ellos, se conoce como sistema de drenaje. Sus límites están constituidos por las divisorias de aguas, por lo tanto, la cuenca es la totalidad del área o superficie que cubre el sistema de drenaje.

Una cuenca de drenaje se comporta como un receptor de precipitaciones a las que luego distribuye en cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. Cada cuenca posee propiedades físicas, químicas y biológicas que dan como resultado un único conjunto de propiedades hidrológicas. Las características morfométricas y la estimación de las variables que definen el comportamiento hidrológico de una cuenca sirven de referencia en la interpretación del paisaje.

El caudal, de acuerdo al conocimiento del ciclo hidrológico, el agua superficial, flujo superficial o escorrentía superficial es el agua que se encuentra fluyendo sobre la superficie de la tierra. El flujo en canales es la principal forma de flujo de agua superficial. Cuando decimos canales nos estamos refiriendo también a ríos y quebradas. La escorrentía superficial se expresa en mm y el flujo en un canal en caudal o descarga expresada en m^3/s o l/s (VÁSQUEZ, 2000).

2.2. Las cuencas de la provincia de Leoncio Prado

Existen estudios realizados en otras microcuencas de la zona con temas diferentes, pero enfocados en una sola línea como es el uso racional de los recursos naturales; entre ellas tenemos las siguientes:

Subcuenca del Río Tulumayo, destaca la importancia debida al problema existente en la zona, como los cambios ambientales que se originan con la deforestación de extensas áreas de bosque, cuyos impactos se

manifiestan por medio de la erosión de los suelos, contaminación del agua y la alteración del régimen hidrológico de la cuenca (VARGAS, 1997).

Subcuenca del Río Supte, tuvo como finalidad la evaluación de los suelos de la subcuenca, mediante el estudio analítico de sus características físicas, biológicas y químicas, a fin de formular prácticas de manejo y conservación, planificando el uso racional del recurso suelo para su mejor aprovechamiento (MANRIQUE DE LARA y CHÁVEZ, 2000).

Subcuenca del Río Las Pavas, recomienda el uso de los suelos de acuerdo a su verdadera capacidad y efectuar un manejo adecuado de los cultivos dando especial atención a las medidas conservacionistas, rotaciones, abonamientos en los diferentes tipos de cultivos, de tal manera que las nuevas actividades al realizarse no deterioren el suelo (MANRIQUE DE LARA, 1996).

2.3. Morfología fluvial

2.3.1. Perfil longitudinal

ROCHA (1998) menciona que, el eje hidráulico de un río no es una línea recta. El recorrido fluvial tiene una tendencia natural a la sinuosidad. Leopold y Angbein, señala que, estudiosos de la morfología fluvial, se hacen la siguiente pregunta: ¿existe algo así como un río recto? La respuesta es negativa, salvo para tramos fluviales de longitud muy pequeña. Dichos autores

señalan que los tramos fluviales rectos no exceden de 10 veces el ancho del río.

La pendiente fluvial es variable a lo largo del recorrido que el río hace desde sus nacientes hasta la desembocadura. En general en las partes altas están las mayores pendientes. En las partes bajas de los cauces fluviales la pendiente disminuye notablemente. En correspondencia con estas pendientes en las partes altas se encuentran las mayores velocidades y el material sólido transportado está constituido por partículas gruesas. En las partes bajas las velocidades son menores y también lo es el diámetro del sólido transportado. Existe, pues, correlación entre pendientes, velocidades y tamaño característico de los sólidos en movimiento.

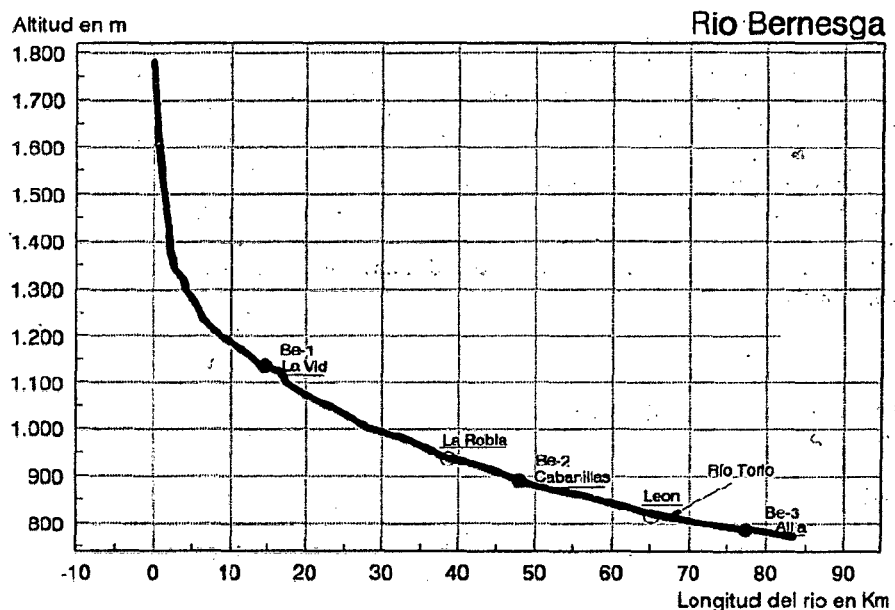


Figura 1. Forma del perfil longitudinal del Río Bernesga.

SCHRODER (1994) también, explica que en la naturaleza normalmente se tiene en las partes altas de los ríos, una gran pendiente y una

relativa poca cantidad de sedimentos, menos de la que el río es capaz de transportar. Por lo que se tiene un exceso en la capacidad de transporte, potencialmente muy agresiva, que ataca el fondo de los cauces, resultando una tendencia a la profundización (erosión). En las partes bajas se tiene el caso contrario de acumulación y elevación del lecho.

El perfil longitudinal de un río muestra como éste va perdiendo cota a lo largo de su recorrido, en él se puede observar la pendiente de cada tramo. Los perfiles longitudinales de los ríos suelen presentar forma cóncava, su pendiente disminuye desde las zonas más erosivas (zonas de cabecera), a las zonas donde predomina la sedimentación (zonas de desembocadura o bajas). Se establece una función del tipo (CHANG, 1988):

$$S_x = S_o e^{-ax}$$

Donde:

- S_x es la pendiente a la distancia x , aguas abajo de la sección de referencia
- S_o , es la pendiente
- a es el coeficiente de disminución de la pendiente

2.3.2. Zonación longitudinal

LÓPEZ *et al* (1992) describe que desde zonas de cabecera hasta desembocadura el sistema fluvial va cambiando, adquiere mayor tamaño. La

influencia terrestre de las orillas se debilita debido al aumento de caudal y carga de sedimentos provenientes de las zonas altas.

El ecosistema fluvial varía en cada tramo del río, desde el nacimiento a la desembocadura, pudiéndose diferenciar **tres tramos**: alto, medio y bajo.

Tramo alto o zona de cabecera

- Rios de Montana.
- Fuertes pendientes en sus laderas vertientes y en el cauce.
- Águas claras.
- Anchura de cauce pequeña.
- Vegetación arbórea produce sombra en casi todo el cauce, la entrada de energía luminosa se ve minimizada. Los únicos productores primarios son algas del perifiton que tapizan cantos rodados del lecho, el crecimiento de otro tipo de plantas verdes se ve limitado por el carácter oligotrófico del agua, alta velocidad del agua y carencia de luz.

- Aporte externo de materia orgánica, que se descompone lentamente formando un detritus de partículas gruesas de materia orgánica, que son aprovechadas por los consumidores de ese tramo.

Zona media o pie de monte

- Pérdida de velocidad del cauce, con un ensanchamiento del mismo, lecho constituido por gravas y cantos rodados de menor tamaño.

- La relación cobertura vegetal/anchura del río disminuye, los rayos solares llegan hasta el fondo, donde son aprovechadas por el perifiton y la vegetación macrofítica. En este tramo el río cuenta ya con materia orgánica producida dentro del mismo.

- La entrada de energía procedente de los sistemas terrestres mantiene su importancia pero en menor medida que en zonas de cabecera, es materia orgánica proveniente de los tramos altos.

Tramo bajo o río de llanura

- Propios de valles abiertos y grandes llanuras de inundación, con pronunciados meandros sobre un lecho formado por sedimentos de granulometría fina.

- Turbidez en las aguas debido a las partículas en suspensión y a la presencia de sales disueltas, al ser aguas más profundas la presencia de macrófitas se ve limitada a las orillas por ser la luz un factor limitante.

Velocidad del agua baja, desarrollo de fitoplancton, usado en la dieta de algunos macroinvertebrados, peces omnívoros y anátidas.

2.3.3. Trazado de un río

El trazado de un río se refiere al tipo de trayectoria que presenta en planta. La sinuosidad, que se estima como el cociente entre la longitud del río y la longitud del valle en un tramo, permite diferenciar tres tipos de trazados:

- **Trazado recto**, relativo a cocientes de sinuosidad inferiores a 1,5, no se aprecian líneas en el cauce pero la línea del thalweg se desplaza alternativamente de una orilla a la otra, haciéndose más visible en aguas bajas.

- **Trazado meandriforme**, cuando el coeficiente de sinuosidad es superior a 1,5, debido a las curvas que desarrolla el cauce desplazándose en sentido transversal del valle hacia un lado y otro. El tipo de curvas o meandros puede ser muy diferente de unos ríos a otros, pudiéndose diferenciar entre ellos a su vez diferentes tipos de trazados.

- **Trazado trenzado**, que se desarrolla en tramos de mayor pendiente o cuando la carga sólida es elevada, y se caracteriza por la formación de un curso de agua ancho y poco profundo, que se divide en varios brazos dejando islas intercaladas, uniéndose hacia aguas abajo y volviéndose a separar, a modo de trenzas.

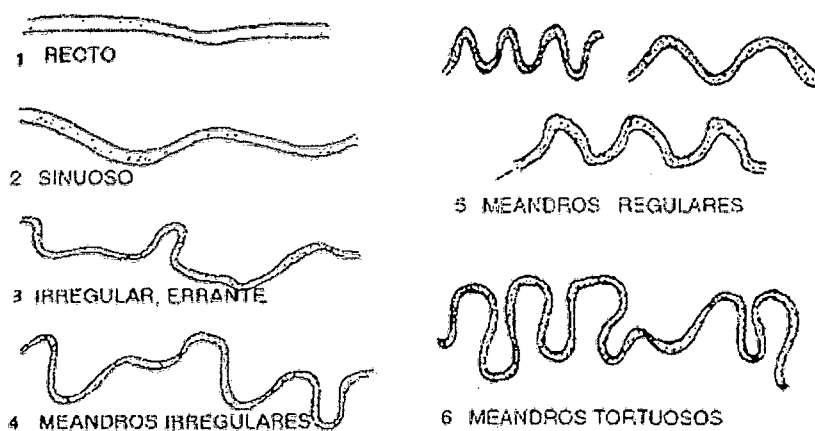


Figura 2. Tipos de trazado de un río.

Los tramos rectos son inestables en la naturaleza, por tanto, prácticamente inexistente pudiendo observarse algunos en ríos pequeños de

bajo caudal. Los tramos meandriformes se desarrollan al aumentar la magnitud de los ríos aguas abajo, con pendientes suaves, mientras que los trezados corresponden a un amplio rango de caudales pero siempre con pendientes elevadas.

Si se le permiten todos los grados de libertad, un río es una corriente de agua que forma su cauce ajustando libremente la anchura, el calado y la planta.

En función del caudal y de la pendiente se puede determinar la morfología de un río:

$$i * Q^{0.44} = 0,0116$$

donde:

- i es la pendiente
- Q es el caudal

De manera que, si:

$i * Q^{0.44} > 0,0116$ el río es trezado y en caso contrario sería meandriforme (LOPEZ . *et al.* 1992).

La relación entre la anchura y el calado de un río es consecuencia de la resistencia de las orillas a la erosión. Un ensanchamiento del cauce a costa de las orillas, si éstas presentan baja resistencia, supone una reducción del caudal unitario al tiempo que se pone en circulación más material sólido. Como consecuencia (balanza de Lane) se produce una acreción del fondo que se reequilibrará con una pendiente mayor.

2.4. Caracterización hidrológica

2.4.1. Descargas máximas

VASQUEZ (2000) menciona que el periodo de máximas descargas se da por lo general en los meses de enero – marzo y, excepcionalmente, en abril, y es debido a las precipitaciones en la parte media y alta de la cuenca, que define el período de avenidas. Los meses de setiembre – noviembre se caracterizan, por que en dicho periodo se presentan las descargas mínimas que dan en el período de estiaje. Son estos valores extremos que permiten el análisis hidrológico para el diseño de obras hidráulicas de control, almacenamiento, regulación y balance del recurso hídrico.

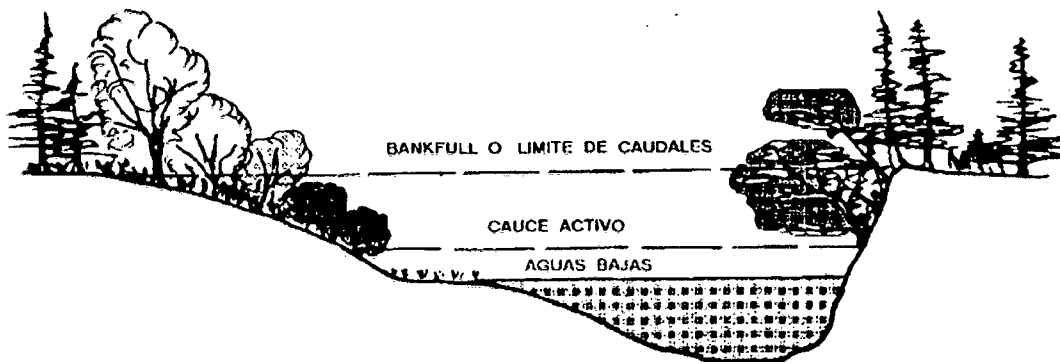


Figura 3. Diferentes niveles del compartimiento de las aguas

2.4.2. Caudal dominante

Atendiendo a la existencia de un cierto equilibrio en los ríos, podemos relacionar la forma de la sección transversal del cauce con un determinado régimen de caudales o con el valor del caudal más representativo del mismo, que tenga mayor influencia en la configuración y mantenimiento de dicha sección.

Bajo estas condiciones se plantea el concepto de “caudal dominante” que se define como el caudal que determina ciertos parámetros del cauce como la longitud de curvatura de meandros o el caudal que efectúa mayor trabajo en términos de transporte de sedimentos.

El caudal dominante y con mayor influencia en la sección será el que llene dicha sección hasta sus orillas superiores (nivel de bankfull), pudiéndose obtener con este criterio o con el de ser el que realiza mayor trabajo en el transporte de sedimentos.

Según vemos en la figura 4, la curva A representa la tasa de transporte de sedimentos de cada caudal que pasa por la sección, la cual aumenta exponencialmente al aumentar la magnitud de este último. La curva B indica la duración de los caudales a lo largo del periodo considerado, indicando los caudales mínimos y avenidas extraordinarias poco frecuentes y los caudales intermedios de mayor frecuencia entorno al caudal medio anual.

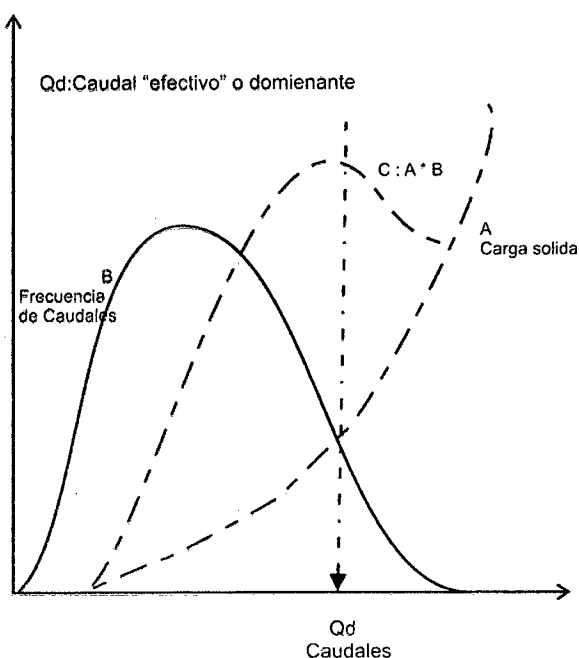


Figura 4. Relación del caudal dominante frente al transporte de sedimentos

La curva C es el producto de $A * B$ y refleja la cantidad acumulada de sedimentos exportados en el periodo considerado en B por cada caudal. El valor máximo de esta curva indica el caudal que exporta una mayor cantidad de sedimentos, es decir, el que efectúa un mayor trabajo en la sección considerada (Q_d). Si comparamos este valor de caudal con el que ocupa toda la sección transversal, se observa un valor similar, considerándose su valor como el del caudal dominante o más representativo del régimen de caudales de dicho tramo.

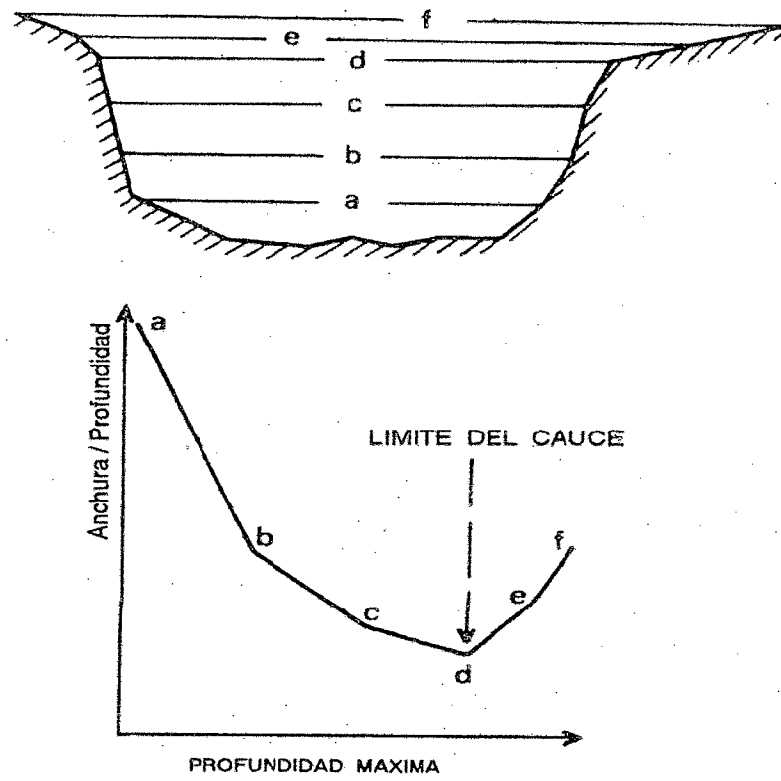


Figura 5. Diagrama para la obtención del caudal dominante.

Para la obtención del caudal dominante se utiliza un periodo de retorno de 1,5 años en la serie de caudales máximos anuales o también el criterio de ser el que ocupa toda la sección transversal aunque a veces ésta tiene una delimitación poco precisa observándose varios ángulos que podrían corresponder al nivel de bankfull. En este caso y si no existen otros indicios, dicha sección puede quedar definida por el procedimiento descrito en la figura 5, correspondiendo el nivel de bankfull al de profundidad para la cual la relación anchura/profundidad es mínima.

2.5. Métodos de determinación de máximas avenidas

VASQUEZ (2000) describe, algunos métodos para la determinación de máximas avenidas las cuales se muestran a continuación:

2.5.1. Métodos empíricos

Lo constituyen las fórmulas empíricas, las cuales en la actualidad son poco usadas por la existencia de otros procedimientos y la aplicación de la informática. Se opta por estas fórmulas, ante la escasez de datos para conocer en forma rápida la magnitud del máximo caudal que se puede esperar; el mismo que puede ser comparado con datos reales de cuencas vecinas o similares.

2.5.2. Métodos directos o hidráulicos

La aplicación de estos métodos, aunque no cuentan con metodología hidrológica, no debe obviarse. Mayormente permiten obtener información bastante útil, sobre todo para fijar con precisión la altura de niveles alcanzados por el agua en tiempos pasados y permiten conocer el gasto máximo instantáneo.

Este método considera la observación y medición de las características de una sección estable del río, donde no exista demasiados desplazamientos, caso de paredes laterales sólidas o fijas conformadas por: roca, buena cobertura vegetal, rellenos de huaico, etc.

2.5.3. Métodos hidrológicos

Reproducen en forma aceptable el fenómeno, en base a parámetros como precipitaciones máximas y características físicas de la cuenca. Por la irregularidad de las lluvias en la cuenca, y determinar las pérdidas por infiltración, que pueden distorsionar al estimar las avenidas a partir de las lluvias, existen desventajas al extrapolar algunas de sus variables. Entre los métodos hidrológicos sobresalen:

- Método de hidrógrama unitario, triangulares, sintéticos, adimensionales, Instantáneos, etc.
- Método de isócronas (racional).

2.5.4. Método racional modificado

Se calcula empleando intensidades máximas de precipitación para diferentes períodos de retorno en función del tiempo de concentración de la cuenca. El cálculo del tiempo de concentración: fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0,0195 K^{0.77} \quad K = (L^3 H)^{1/2}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (horas).

L = Longitud del cauce principal (km)

H = Desnivel (%).

Cálculo de la intensidad máxima de precipitación

$$I_{T_r, max} = PT_r/24$$

T_r = periodo de retorno

Calculo de la descarga máxima por el método racional modificado

$$Q = 0,0283 * CIA^{4/5} S^{1/5}$$

Donde:

Q = Descarga máxima en m³/s para x años.

C = Factor de escorrentía de Mac-Math.

I = Intensidad de lluvia (mm/hora).

A = Área de la cuenca (km²).

S = Pendiente promedio del cauce principal (%).

2.6. Características hidráulicas de ríos

FARIAS (2005) Describe que, la geometría hidráulica de un tramo de río habitualmente se expresa a través de un conjunto de ecuaciones que describen de manera global la forma y tamaño del cauce (representados a través del ancho B y profundidad H de la sección transversal y la pendiente longitudinal S, asumidas como variables dependientes) en función del caudal dominante Q. Es decir:

$$B, H, S = f_{B,H,S}(Q).$$

Estas tres funciones habitualmente se presentan en forma potencial:

$$B = a_o * Q^{a_1}$$

$$H = b_o * Q^{b_1}$$

$$S = c_o * Q^{c_1}$$

Donde a_1 , b_1 y c_1 son coeficientes y exponentes ($i=1,2$) inicialmente obtenidos en forma empírica, pero luego validados a través de criterios analíticos. A pesar de la gran complejidad empírica en los procesos morfológicos que determinan las dimensiones de régimen, los exponentes de las relaciones anteriores varían entre rangos relativamente estrechos para el caso de cauces de llanura ($0,46 < a_1 < 0,53$; $0,3 < b_1 < 0,4$; $-0,25 < c_1 < 0,15$, aproximadamente).

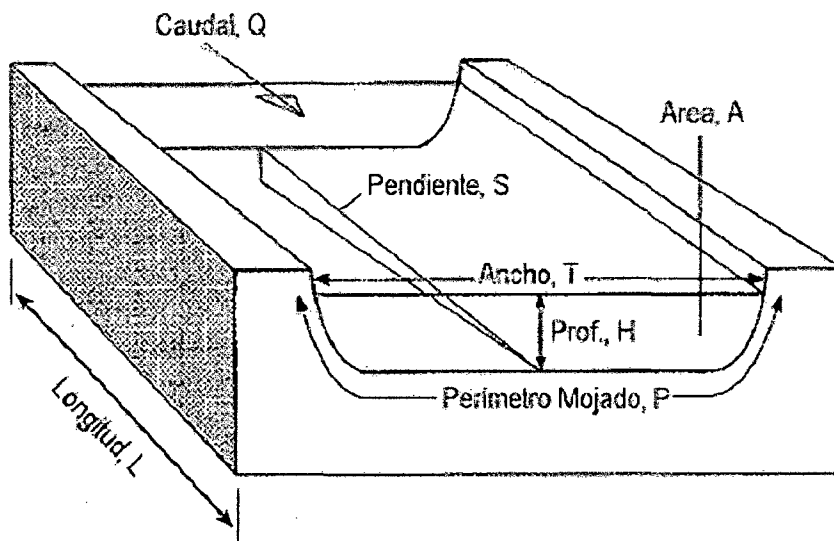


Figura 6. Esquema de definición para la geometría hidráulica de cauces aluviales.

2.6.1. Velocidad

VASQUEZ (2000) describe, una fórmula empírica para hallar la velocidad dada por Manning Strickler:

$$v_m = k_s * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde:

v_m = velocidad media (m/s)

k_s = radio hidráulico

S = pendiente (%)

k_s = coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río

SCHRODER (1994) describe que en el caso de un canal de secciones diferentes la hipótesis de una velocidad media para la sección total no es real. Luego describe un concepto físico pero teniendo en consideración la influencia que tiene la forma del canal, el radio hidráulico r_{hy} , se ve afectado por un coeficiente de forma f , dando la siguiente expresión:

$$v = 2 \log \left(\frac{14.84 * f r_{hy}}{k_s} \right) * \sqrt{8gI_E}$$

Donde:

f = coeficiente de forma según Bock

v = velocidad m/s

k_s = rugosidad en mm.

CHOW (1994) menciona que de acuerdo con el procedimiento para el aforo de corrientes, la sección del canal se divide en franjas verticales por medio de un determinado número de verticales sucesivas, y las velocidades medias en las verticales se determinan midiendo la velocidad a 0,6 de la velocidad en cada vertical, o tomando el promedio de las velocidades a 0,2 y 0,8 de la profundidad, cuando se requieren resultados más confiables.

Cuadro 1. Velocidades mínimas que ocasionan erosión en los cauces a diferentes profundidades.

Materiales	0.30 (*)	0.75 (*)	1.56 (*)	3.00 (*)
Limo o barro fino	0,12	0,21	0,27	0,45
Arena fina	0,27	0,45	0,52	0,67
Arena gruesa	0,52	0,67	0,90	1,05
Guijarros pequeños como guisantes y gravas	0,67	0,90	1,05	1,35
Guijarros grandes como huevos de gallina	1,50	1,80	2,10	2,70

Fuente: PRIETO (2002).

* : Velocidad media mínima que produce arrastre metros/seg.

2.6.2. Rugosidades del cauce

SCHRODER (1994) menciona que si en un cauce se presenta diferentes rugosidades, por ejemplo en el fondo y en los taludes, entonces es necesario encontrar el valor medio.

VILLON (2000) menciona que cada parte del área hidráulica tiene la misma velocidad media de la sección completa, es decir, $v_1=v_1=.....v_N=v$ de la fórmula de Manning:

$$n = \left[\frac{p_1 n_1^{3/2} + p_2 n_2^{3/2} + \dots + p_N n_N^{3/2}}{p} \right]^{2/3} \Rightarrow n = \left[\frac{\sum_{i=1}^N p_i n_i^{1.5}}{p} \right]^{2/3}$$

Donde:

n = rugosidad ponderada de Manning

n_i = rugosidad de Manning por cada perímetro mojado.

p = perímetro mojado (m)

p_i = perímetro mojado de cada rugosidad (m)

2.6.3. Otros caracteres hidráulicos

VASQUEZ (2000) Considera un Tirante de Máxima Avenida de diseño para proyectos, la pendiente promedio de la zona del proyecto, el coeficiente de rugosidad de Manning y la sección estable del río, y determina el tirante máximo, mediante la relación:

$$Q = \frac{1}{n} (A * R^{2/3} * S^{1/2})$$

Donde:

Q = Caudal de avenida del proyecto ($m^3 s$)

A = Área de sección (m^2)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente del río (%)

n = Coeficiente de rugosidad

2.7. Régimen de cauce

El cauce del río se va modelando de acuerdo a su capacidad de transporte y al régimen de caudales y de sedimentos que se producen en la cuenca. Se puede pensar así que en el mediano plazo se establece un equilibrio entre la cuenca, el río y su cauce. En los sistemas fluviales, no existe equilibrio en el sentido estricto de la palabra, pero los ríos tienden a desarrollar un comportamiento promedio en el ajuste de la forma de la sección transversal, en el patrón de alineamiento y en el perfil longitudinal del canal. Se considera

que en la escala de tiempo de interés para la hidrología y la geomorfología el sistema fluvial está en un casi equilibrio dinámico.

Leopold y Maddock (1953) Mencionado por ANGELS (2005). Sentaron las bases del estudio de las propiedades hidráulicas de los cauces naturales; propusieron las ecuaciones básicas, que han sido objeto de multitud de estudios posteriores. Dichas ecuaciones describen la morfología de los cauces mediante relaciones básicas determinadas empíricamente, pero que se basan en la ecuación de continuidad supuesta para canal rectangular:

$$Q = W D V$$

donde Q es el caudal desaguado, W es la anchura del flujo en el canal, D es el calado del flujo de agua y V es la velocidad de flujo, que vienen dadas a su vez por las expresiones:

$$W = a Q^b \quad D = c Q^f \quad V = k Q^m$$

donde, considerando la ecuación de continuidad, se cumple que:

$$m + b + f = 1$$

$$a c k = 1$$

Además:

$$S = t Q^z \quad n = r Q^y$$

Siendo S la pendiente y n la rugosidad.

Así, establecieron unas leyes de variación de la velocidad, el ancho y el calado del flujo, la pendiente y la rugosidad con respecto al caudal desaguado. Realizaron dos estudios distintos:

i) Variación de las propiedades hidráulicas en diferentes secciones aguas abajo de la cuenca para descargas correspondientes a un mismo período de retorno (análisis *downstream*).

ii) Variación de las propiedades hidráulicas en cada sección para diferentes caudales desaguados correspondientes a distintos períodos de retorno (análisis *at-a-station*).

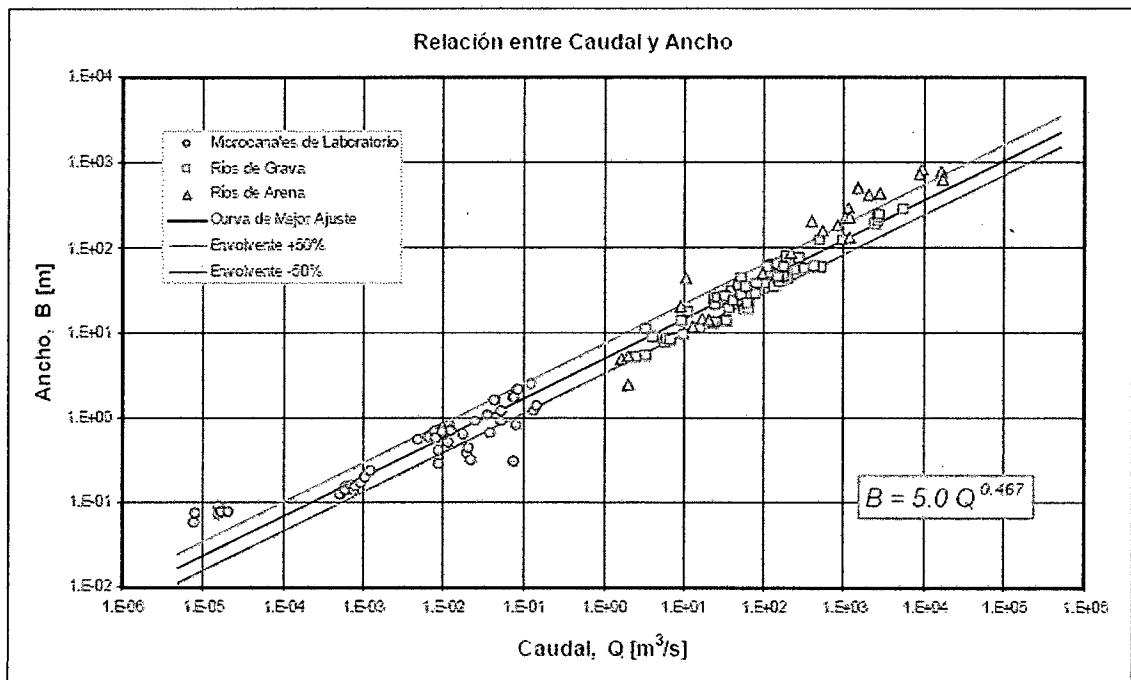


Figura 7. Relación entre el ancho de régimen y caudal dominante

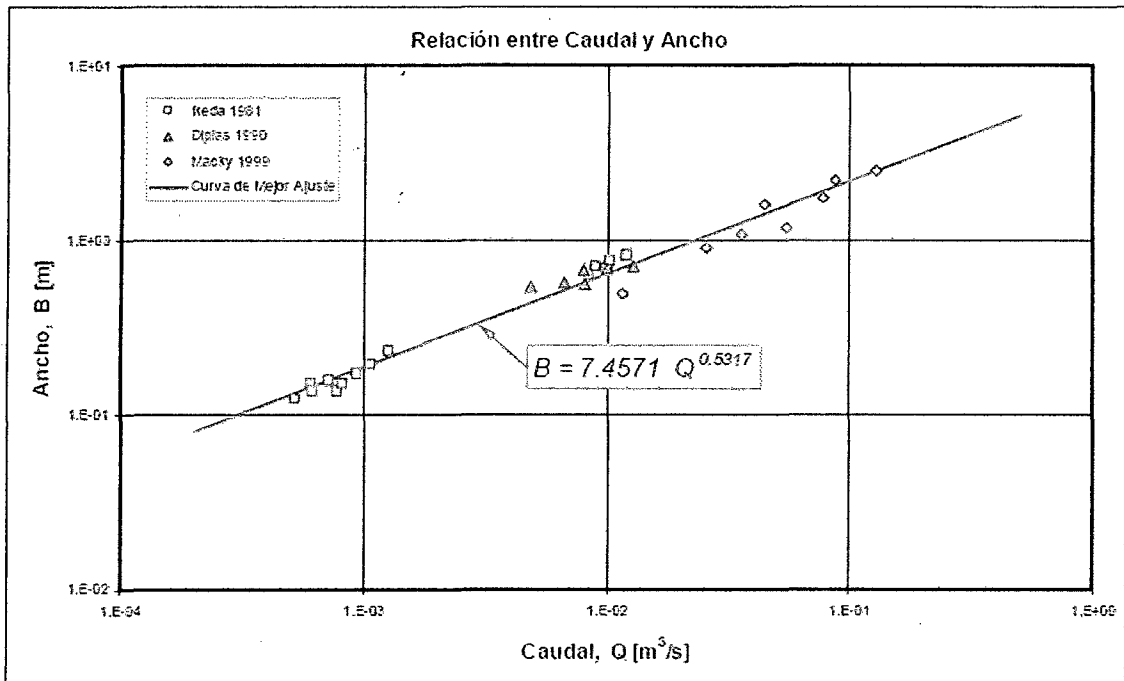


Figura 8.- Relación Ancho-Caudal para un grupo de experimentos con microcanales de laboratorio ($r^2 = 0.98$)

2.7.1. Aplicación de las fórmulas de teoría del régimen

La Teoría del régimen es puramente empírica, y su origen se sitúa en las observaciones del comportamiento de canales de riego, que dado su largo periodo de operación, se pueden suponer estables. Existen diversos autores que han trabajado basándose en lo que hoy se conoce como teoría del régimen, lo cual ha dado lugar a diferentes métodos, que se diferencian entre sí por el número de parámetros independientes utilizados. Las fórmulas se muestran de forma explícita, ya que fue así como se obtuvieron. Se han aplicado los métodos de Lacey, Blench, Simons y Albertson que corresponden a la Teoría del régimen y en último lugar el método de Altunin. El primer resultado de estas observaciones fue que la velocidad media era función del calado:

$$v = 0,548 * y^{0.64}$$

Donde v es velocidad media de la corriente en m/s, y el calado en m. Con esta relación diseñó los canales. Posteriores observaciones llevaron a concluir que el exponente 0,64 y el coeficiente 0,548 variaban de unas regiones a otras, con lo que de forma más genérica escribió:

$$v = C * y^m$$

Los resultados buscados en estos métodos son la pendiente, la anchura (de la superficie libre) y la profundidad o calado. Estas últimas se encuentran también expresadas como anchura media (área/calado) y profundidad media (área/anchura de la superficie libre). Como ya hemos indicado, estos parámetros geométricos del río vendrán definidos, principalmente, por el caudal dominante y la granulometría. A continuación se comentan brevemente los métodos utilizados.

Método de Lacey

Las fórmulas de este autor que se utilizan en este trabajo son las que presentó en 1958 tras una recapitulación importante de numerosas observaciones que había llevado a cabo durante más de 20 años. Las diferencias en este método respecto a los predecesores son la introducción del perímetro mojado y del radio hidráulico en lugar del ancho y del calado. Las ecuaciones que se utilizarán aquí son las propuestas por Lacey pero modificadas para ser utilizadas con el sistema métrico por Maza, y son las siguientes:

$$B = 4,831 * Q^{1/2}$$

$$y_m = 0,474 * \left[\frac{Q}{f} \right]^{1/3}$$

$$R_h * i = 0,0002032 * f^{3/2} * y_m^{1/2}$$

Donde $f = 50,60 * D_m^{1/2}$ es el factor de sedimentación, D_m el diámetro medio del material de fondo en m, B el ancho de la superficie libre del agua en m, Q el caudal dominante en m^3/s , y_m el calado medio en m, R_h el radio hidráulico en m, e i la pendiente.

Como se puede observar, este método es un conjunto de expresiones explícitas sin parámetros por elegir, y las fórmulas no son dimensionalmente correctas, por tanto hay que utilizar necesariamente el sistema métrico. La expresión para la pendiente en el método de Lacey es la misma del apartado anterior, excepto que se usa el tamaño medio D_m en lugar del tamaño D_{50} .

Las características de los canales en los que Lacey hizo sus estudios eran las siguientes:

- Material de fondo no cohesivo.
- D_m (diámetros medio del material de fondo) entre 0,15mm y 0,4mm.
- Ondulaciones en el fondo.
- Transporte del material del fondo inferior a 500 ppm .
- Q (caudal dominante) entre $1,4m^3/s$ y $280m^3/s$.

Método de Blench

Este método, respecto al anterior, introduce dos parámetros (F_b : factor de fondo y F_s : factor de orilla) que tienen en cuenta la concentración del material transportado en suspensión, el diámetro de las partículas de fondo y la resistencia de las orillas a ser erosionadas. Los valores adoptados para estos dos parámetros son los propuestos por Blench: $F_b=1,2$ (valor correspondiente a la descripción de “material grueso” en el fondo) y $F_s=0,2$ (valor correspondiente a la descripción de orillas “medianamente cohesivas”) Como concentración de sedimento en la capa de fondo (C) se usa el caudal sólido obtenido con la fórmula de Meyer-Peter y Müller cuando circula el caudal dominante. Para ello se calcula el régimen uniforme en una sección y con él el caudal sólido total de fondo. Las ecuaciones propuestas por Blench son las siguientes:

$$B_m = 1,81 * \left(\frac{F_b * Q}{F_b^2} \right)^{1/2}$$

$$y = \left(\frac{F_s * Q}{F_b^2} \right)^{1/3}$$

$$i = \frac{F_b^{5/6} * F_s^{1/12}}{3,28 * K * Q^{1/6} * \left(1 + \frac{C}{2330}\right)}$$

donde $K = 3.36 * g / \nu^{1/4}$, ν es la viscosidad de la mezcla agua-sedimento (en m^2), C es la concentración de material arrastrado en la capa de fondo (en ppm), que se ha podido estimar en unas 360 ppm, y los otros parámetros son los comentados anteriormente.

Método de Simons y Albertson

Los estudios de estos dos autores se basaron en las observaciones de ríos de la India y de Estados Unidos. Las relaciones a las que se llegaron tras las investigaciones se pueden resumir en las siguientes fórmulas:

$$B_m = 0,9P = 0,91K_1Q^{0.512}$$

$$B_m = 0,92B - 0,61$$

$$y = 1,21R = 1,21K_2 * Q^{0.361}$$

Si $R_h \leq 2,60$.

$$y = 0,61 + 0,93R = 0,61 + 0,93K_2 * Q^{0.361}$$

Si $R_h > 2.60$.

Estos dos grupos de ecuaciones, muestran las buenas correlaciones que Simons y Albertson encontraron entre B_m y P , y entre R_h e y .

La ventaja de este método es su mayor aplicabilidad, pues los materiales del fondo y de las orillas que contempla es más amplio que en los métodos anteriores, dado por los coeficientes K_i y m' , aunque presenta el inconveniente de no dar una metodología precisa para obtener el valor de dichos coeficientes.

En cualquier caso, los rangos de aplicabilidad del método para obtener unos resultados reales, son los siguientes:

- B_m (ancho medio) entre 0,60 m y 79 m.
- y (calado) entre 0,84 m y 3,15 m
- i (pendiente geométrica) entre 0,000058 y 0,0097

- D_m (diámetro medio del material de fondo) entre 0,028 mm y 80

mm

- Q (caudal dominante) entre $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$ y $244 \text{ m}^3/\text{s}$

- C (concentración de material transportado) entre 156 ppm y 8000

ppm

Estos son los valores de los parámetros de los ríos con los que trabajaron Simons y Albertson, la mayoría de ellos se parecen bastante a los que nos encontramos en el caso que estamos tratando, por lo que adaptamos este método para realizar el trabajo propuesto.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Referencia del río Las Pavas

El presente trabajo de investigación se realizó en el río Las Pavas y sus tributarios de la provincia de Leoncio Prado, encontrándose políticamente localizado en la provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco.

3.2. Lugar de ejecución

La ubicación del lugar puede delimitarse aproximadamente por las coordenadas mostradas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Coordenadas de ubicación UTM.

ALTITUD DE LA SUBCUENCA: 660 m.s.n.m

Nº Coord.	Este	Norte
01	392683	8964034
02	396270	8966630
03	400831	8965945
04	402219	8960825
05	394738	8960753

Ubicación política

Región	: Huánuco
Provincia	: Leoncio Prado
Distrito	: Mariano Damaso Beraún

3.2.1. Condiciones climáticas

Temperatura máxima	: 24,9 °C
Temperatura mínima	: 19,2 °C
Temperatura media anual	: 23,9 °C
Precipitación anual promedio	: 3300 mm.

Las condiciones climáticas en las que se enmarca el lugar en estudio, corresponde a la zona de vida (HOLDRIGE, 1994), Bosque muy húmedo Pre-montano Sub-Tropical (bmh-PST). Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), que registró los parámetros climáticos en la ciudad de Tingo María, en la Estación José Abelardo Quiñones – Tingo María; fueron: precipitación anual, 3,199.29 mm, con distribución unimodal, temperatura Media anual de 25,5 °C y humedad relativa promedio de 76,46%.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales y equipos

- Cartas nacionales, Planos (topográficos, geológicos, hidrológicos, ecológicos y de suelos), Wincha de 30 m, GPS, Miras graduadas en cm, Registro de precipitaciones de 3 años, Cédulas de campo, Cronómetro, Juego de tamices, Balanza con capacidad de 5 Kg, Balanza analítica, Pintura esmalte (dos colores), Eclímetro , Flotadores (tecnopor)

3.4. Metodología

3.4.1. Caracterización hidrológica y morfológica de la cuenca

Dentro del siguiente estudio se utilizó información cartográfica digitalizada y se tomó herramientas del sistema de información geográfica, como también la adquisición de la imagen satelital Lansat 2001, procediendo al despliegue de las cartas digitalizadas 19l, 20l, 19k y 20k de la región Huánuco y de la imagen satelital se pudo llegar a determinar el área de la subcuenca y su delimitación; como también la modelación del cauce con sus tributarios y el orden de drenaje del Rio Las Pavas.

El perímetro, la curva hipsométrica, curva de frecuencia de altitudes de la cuenca, se determinó exportando en formato digital CAD y

valiéndose de la metodología existente en VILLON (2002) Como también los índices representativos de la cuenca (Factor de forma de la cuenca (F) e Índice de compacidad).

Características tales como la pendiente de la cuenca (método criterio del rectángulo equivalente), perfil longitudinal del curso de agua, pendiente del cauce (método pendiente uniforme), la red de drenaje (el orden de las corrientes, longitud de los tributarios, densidad de corriente y densidad de drenaje) también fueron determinado mediante la metodología descrita en (VILLON 2002).

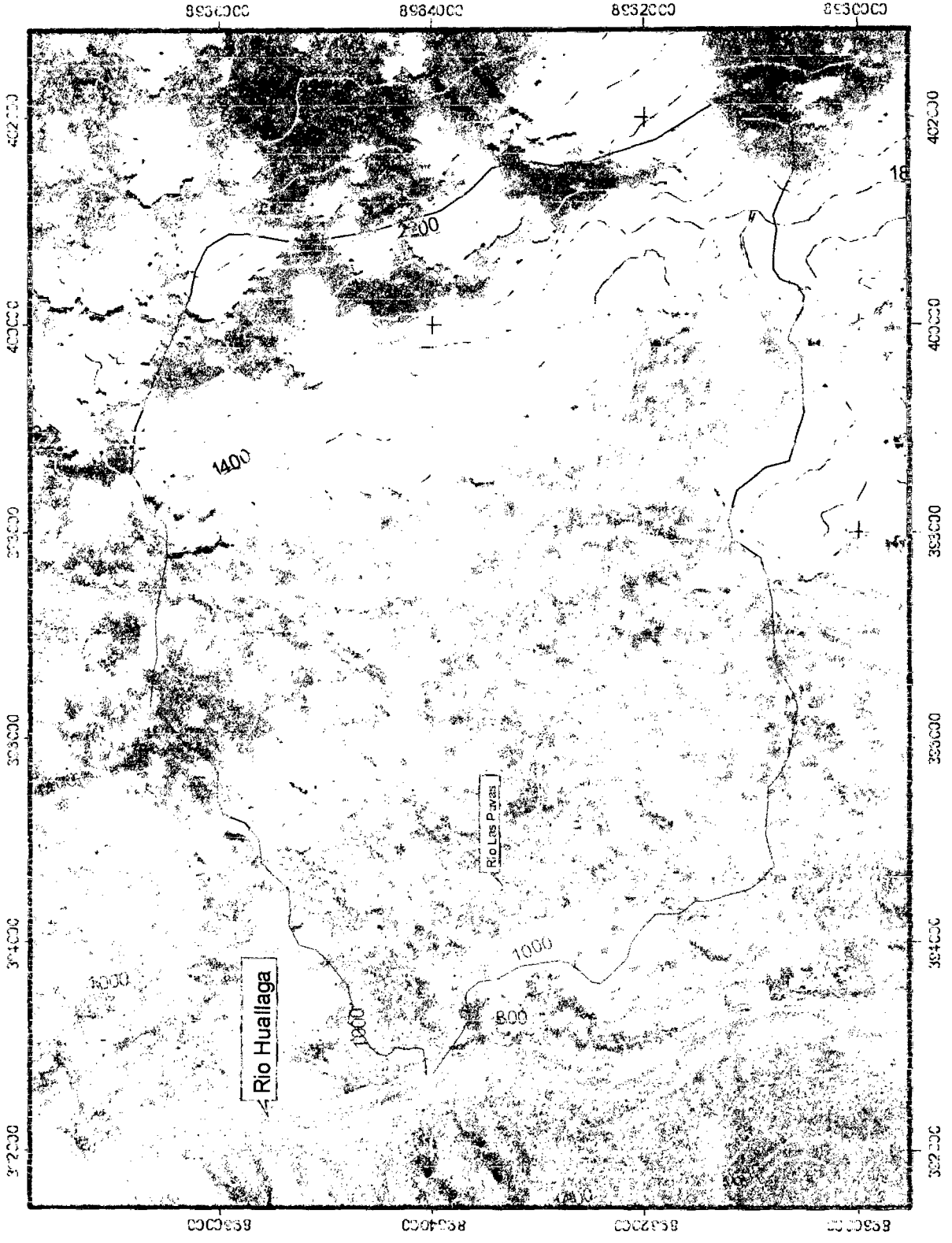


Figura 9. Imagen de satélite año 2001, mostrando el lugar de ejecución del proyecto

3.4.2. Caracterización hidráulica

En la caracterización hidráulica se siguió la siguiente metodología:

Se evaluaron los caudales durante el periodo de setiembre 2006 a enero del 2007, para lo cual se instaló un punto de aforo ubicado en el Puente Cueva de las Pavas, procediendo luego a seccionar en un tramo de 10.3 m. de longitud instalándose una regla graduada de 3,50 m. luego en cada lectura sólo se tomó la altura del agua en la regla y la velocidad promedio del agua (Ver anexo), obteniéndose la curva de calibración de dicha sección.

Se procedió a identificar las zonas o tramos críticos teniendo en cuenta factores antrópicos y procesos naturales.

Cuadro 3. Distancias mínimas entre verticales recomendables

Ancho total mínimo del río (m)	Distancia entre verticales (m)
Menos de 2	0,20
2 – 3	0,30
3 – 4	0,40
4 – 8	0,50
8 – 15	1,00
15 – 25	2,00
25 – 35	3,00
34 – 45	4,00
45 – 80	5,00
80 – 160	10,00
160 – 350	20,00

Fuente: VILLÓN (2002).

Luego de la determinación de las características hidráulicas se procedió a determinar el ancho, profundidades del río con la finalidad de obtener la sección en cada punto de lectura, lográndose obtener 94 secciones, empezando desde la desembocadura hasta el tramo de tercer orden el cual se muestra en la Figura 10.

Para la obtención del caudal dominante no se pudo llegar a utilizar un periodo de retorno de 1,5 años en la serie de caudales máximos anuales, por lo tanto se tomó el criterio de ser el que ocupa toda la sección transversal. En este caso como no existieron otros indicios, dicha sección quedo definida por el procedimiento descrito en la Figura 5, correspondiendo el nivel de bankfull al de profundidad, para la cual la relación anchura / profundidad es mínima.

Luego se procedió a realizar un muestreo de los sedimentos para realizar un análisis granulométrico y así poder determinar el diámetro promedio de las partículas, dicho muestreo se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Con una pala recta y un envase con capacidad de 5,0 Kg. Se excavó y se muestreo a 10,0 y 30,0 cm. de profundidad, dicho proceso se siguió en todo el tramo llevando las muestras a un lugar apropiado.
- Luego de haber muestreado y abarcado todo el tramo en estudio se procedió con la pala recta a mezclar y mediante el método de cuarteos, se juntó una muestra de 20,0 kg, la cual fue llevada para el análisis granulométrico respectivo.

- Posteriormente estos datos fueron relacionados y corregidos con la siguiente expresión propuesta por CHAVEZ (1994), para determinar el diámetro promedio de las partículas:

$$d_o = 0,15 + 0,47 * V^{5,13}$$

Donde:

d_o : diámetro promedio (mm)

V: velocidad media (m/s)

3.4.3. Análisis del régimen de cauce

En el afán de poder obtener un modelo de acuerdo a su capacidad de transporte y al régimen de caudales que se producen en la cuenca y así poder recomendar los parámetros hidráulicos que en un mediano plazo se establezca un equilibrio entre la cuenca, el río y su cauce, las tablas que determinan una metodología para el régimen de cauce, se encuentran en VASQUEZ (2001). Se plantearon tres modelos desarrollados en el estudio, los cuales se describen a continuación:

Método de Lacey

La primera fórmula utilizada para determinar los parámetros para el régimen de cauce es la Lacey y son las siguientes:

$$B = 4,831 * Q^{1/2}$$

$$y_m = 0,474 * \left[\frac{Q}{f} \right]^{1/3}$$

$$R_h * i = 0,0002032 * f^{3/2} * y_m^{1/2}$$

Donde $f = 50,60 * D_m^{1/2}$ es el factor de sedimentación, D_m el diámetro medio del material de fondo en m, B el ancho de la superficie libre del agua en m, Q el caudal dominante en m^3/s , y_m el calado medio en m, R_h el radio hidráulico en m, e i la pendiente.

Las características de origen para la aplicación de la fórmula de Lacey se basó en lo siguiente:

- Material de fondo no cohesivo.
- D_m (diámetros medio del material de fondo) entre 0,15 mm y 0,4 mm.
- Ondulaciones en el fondo.
- Transporte del material del fondo inferior a 500 ppm .
- Q (caudal dominante) entre $1,4 m^3 / s$ y $280 m^3 / s$.

Método de Biench

En este segundo método, respecto al anterior, introduce dos parámetros (F_b : factor de fondo y F_s : factor de orilla). Los valores adoptados para estos dos parámetros son los propuestos por Blench: $F_b=1,2$ (valor correspondiente a la descripción de “material grueso” en el fondo) y $F_s=0,2$ (valor correspondiente a la descripción de orillas “medianamente cohesivas”). Las ecuaciones propuestas por Blench que se utilizó en el presente trabajo son las siguientes:

$$B_m = 1,81 * \left(\frac{F_b * Q}{F_b^2} \right)^{1/2}$$

$$y = \left(\frac{F_s * Q}{F_b^2} \right)^{1/3}$$

$$i = \frac{F_b^{5/6} * F_s^{1/12}}{3,28 * K * Q^{1/6} * (1 + \frac{C}{2330})}$$

Donde $K = 3,36 * g / v^{1/4}$, v es la viscosidad de la mezcla agua-sedimento (en m²), C es la concentración de material arrastrado en la capa de fondo (en ppm), que se ha podido estimar en unas 500 ppm, y los otros parámetros son los comentados anteriormente.

Método de Simons y Albertson

En este tercer método utilizado, los autores se basaron en las observaciones de ríos de la India y de Estados Unidos. Las relaciones a las que se llegaron tras las investigaciones se pueden resumir en las siguientes fórmulas:

$$B_m = 0,9P = 0,91K_1Q^{0,512}$$

$$B_m = 0,92B - 0,61$$

$$y = 1,21R = 1,21K_2 * Q^{0,361}$$

Si $R_h \leq 2,60m$.

$$y = 0,61 + 0,93R = 0,61 + 0,93K_2 * Q^{0,361}$$

Si $R_h > 2,60$.

En cualquier caso, los rangos que se tuvieron en cuenta para la aplicabilidad del método y obtener resultados más ajustados a la realidad, son los siguientes:

- Bm (ancho medio) entre 0,60 m y 79 m.
- y (calado) entre 0,84m y 3,15 m
- i (pendiente geométrica) entre 0,000058 y 0,0097
- Dm (diámetro medio del material de fondo) entre 0,028 mm y 80 mm
- Q (caudal dominante) entre 0.14 m³/s y 244 m³/s
- C (concentración de material transportado) entre 156 ppm y 8000 ppm

Estos son los valores de los parámetros de los ríos con los que trabajaron Simons y Albertson, la mayoría de ellos se parecen bastante a los que nos encontramos en el caso que estamos tratando, con lo que a priori, debe ser un método a tener como referente.

3.4.4. Análisis de confiabilidad de datos

Planteo de Hipótesis para el análisis de regresión

Ha: Existe igualdad de promedios de características hidráulicas en estudio frente a las características de régimen de cauce.

Ho: No existe igualdad de promedios de características hidráulicas en estudio frente a las características de régimen de cauce.

Planteo de Hipótesis para el análisis de regresión

Ha: Existe regresión lineal entre las variables hidráulicas ancho, pendiente, profundidad y velocidad vs el caudal dominante.

Ho: No existe regresión lineal entre las variables hidráulicas ancho, pendiente, profundidad y velocidad vs el caudal dominante.

Planteo de Hipótesis para Diseño Completo al Azar (DCA)

Ha: Existe diferencias significativas entre las características hidráulicas del Río Las Pavas, tomadas en situ y las calculadas empíricamente para el Régimen de Cauce.

Ho: No existe diferencias significativas entre las características hidráulicas del Río Las Pavas, tomadas en situ y las calculadas para el Régimen de su Cauce.

Para el análisis de procesamiento de datos se valió de la aplicación de los programas Excel 2007 y el SPSS 12.0, herramientas con las cuales se pudo analizar estadísticamente los siguientes pruebas:

Estadísticos descriptivos

En este tipo de análisis se pudo determinar los siguientes parámetros: las medias, valores mínimos y máximos y desviación típica a una significación estadística de 0,05 de probabilidad.

Análisis de comparación de promedios

Para dicha prueba se utilizó la prueba Tukey y se comparó el ancho in situ vs ancho de régimen propuestos por Simons, Altunin y Lacey, de igual manera se comparó la profundidad in situ vs profundidad de régimen propuesto por Altunin y Lacey, y por ultimo la pendiente medida in situ vs la pendiente de régimen propuestos por Altunin y Lacey.

Análisis de varianza para Diseño Completo al Azar (DCA)

Para el análisis de la existencia de variación significativa estadística, se utilizó un nivel de significación de 0.05 de probabilidad basado en las unidades tomadas homogéneamente, se utilizó el Diseño Completo al

Azar: Modelo:

$$Y_{ij} = u + \alpha_i + e_{ij}$$

Y_{ij} : Unidad experimental

u : Media global

α_i : Efecto del factor

e_{ij} : Error aleatorio

Notación de punto:

$$Y_{i.} = \sum_{j=1}^n Y_{ij}; \quad Y_{..} = \sum_i \sum_j Y_{ij}$$

Cuadro 4. Análisis de Varianza para el Diseño Completo al Azar (DCA)

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fcalculado
<i>Tratamiento</i>	$SCR = \frac{\sum_{i=1}^a Y_{i.}^2}{n} - C$	$a - 1$	$CMR = \frac{SCR}{a - 1}$	$F_c = \frac{CMR}{CME}$
<i>Error</i>	$SCE = SCT - SCR$	$N - a$	$CME = \frac{SCE}{N - a}$	
<i>Total</i>	$SCT = \left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \right] - C$	$N - 1$		

$$C = \frac{Y_{..}^2}{N}$$

Donde:

a: Número de tratamiento

n: Número de repeticiones

N: a * n: Total de observaciones

Análisis de regresión lineal y correlación

Basado en un análisis de regresión lineal se pudo determinar la relación funcional entre las variables: ancho vs caudal, profundidad vs caudal dominante, pendiente vs caudal dominante y velocidad vs caudal dominante; encontrando un modelo que se puede usar para predecir la variable respuesta a un nivel de significación de 0,05 de probabilidad. El modelo de regresión lineal es el siguiente: KESSLER (2005).

$$Y_i = B_o + B_i * x_i + e_i$$

Donde:

Y_{ij} : Variable dependiente

x_i : Variable independiente

e_{ij} : Error aleatorio

B_o, B_i : Constantes

Estimación de la ecuación de regresión:

$$Y = b_o + b_1 x_i$$

$$SCX = \sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}$$

$$SCY = \sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n}$$

$$SPXY = \sum X_i * Y_i - \frac{(\sum X_i)(\sum Y_i)}{n}$$

$$b_1 = \frac{SPXY}{SCX}$$

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 * \bar{X}$$

Cuadro 5. Análisis de Varianza para Regresión Lineal

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fcalculado
<i>Regresión</i>	$SCR = b_0 * SPXY$	$P - 1$	$CMR = \frac{SCR}{a - 1}$	$F_c = \frac{CMR}{CME}$
<i>Error</i>	$SCE = SCT - SCR$	$N - P$	$CME = \frac{SCE}{N - a}$	
<i>Total</i>	$SCT = SCX$	$N - 1$		

P: Número de parámetros (b_0, b_1)

P - 1: Número de variables independientes

Modelos de caracterización hidráulica propuestos para el río Las Pavas

Para el estudio se propuso una caracterización de la geometría hidráulica para el cual se tomaron las recomendaciones de FARIAS (2005), el cual describe que a través de un conjunto de ecuaciones se pudo obtener de manera global la forma y tamaño del cauce (representados a través del ancho B y profundidad H de la sección transversal y la pendiente longitudinal S, asumidas como variables dependientes) en función del caudal dominante Q. Es decir:

$$B, H, S = f_{B,H,S}(Q) .$$

Estas tres funciones se presentan en forma potencial:

$$B = a_o * Q^{a_1}$$

$$H = b_o * Q^{b_1}$$

$$S = c_o * Q^{c_1}$$

Donde a_1 , b_1 y c_1 son coeficientes y exponentes ($i=1,2$) inicialmente obtenidos en forma empírica, pero luego validados a través de criterios analíticos.

Comparación de las características hidráulicas estudio vs Régimen de Cauce

Por último se realizó un análisis de varianza mediante el método de Diseño Completo al Azar a una prueba de significación de 0,05 de probabilidad, entre las variables hidráulicas medidas in situ vs las características hidráulicas calculadas mediante los modelos de Simons, Altunin y Lacey, para el régimen de cauce del río Las Pavas. En este tipo de análisis se utilizó la herramienta SPSS 12.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Morfometría de la subcuenca del río las Pavas

4.1.1. Análisis morfométrico

En el análisis morfométrico se pudo determinar un área de 6323,481 has. (Cuadro 6). El área de la subcuenca del río Las Pavas es quizá el parámetro más importante, siendo determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como, el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales, etc.

Perímetro y elevación media

El perímetro (P) que es definida por la longitud del límite exterior de la subcuenca, superficie y la forma de la cuenca; calculándose una extensión de 36,167 km. y una elevación media de 1330,75 m.s.n.m. (Cuadro 5).

En la determinación de la forma de la subcuenca se pudo determinar el factor de forma con un valor de 0,676, índice de alargamiento de 1,481, índice de compacidad con un valor de 0,001, índice de masividad de 21,045 y una densidad de drenaje de 0,719 Km/Km² (Cuadro 5).

Otros parámetros morfométricos determinados fueron: la longitud del cauce principal con un valor de 10,35 Km; el orden de corrientes que consistió en 20 cursos de agua de orden 1, 5 cursos de agua de orden 2 y uno de orden 3, que es el curso principal. La densidad de corriente con un valor de 0.395 N° corrientes/Km². una pendiente media de la subcuenca de 0.173 m/m, un número de escurrimiento de 26 y una pendiente media del cauce principal de 0,068 m/m., por último se determinó el tiempo de concentración promedio, dicho parámetro fue obtenido por la ponderación de cuatro métodos arrojando un valor de 1,33 horas (Cuadro 6).

Analizando los parámetros morfométricos característicos de la subcuenca del río las pavas, se puede clasificar de la siguiente manera:

En cuanto a su área se puede calificar como una cuenca mediana o subcuenca ya que está dentro de un rango de 58,5 a 81 Km² con 63,235 Km². En cuanto al coeficiente de forma de la cuenca se puede calificar como una cuenca circular pues cuanto más el coeficiente se aproxime a la unidad será de forma circular por lo tanto dicho índice indica que la subcuenca tiene una tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

En cuanto al índice de alargamiento se puede calificar a la subcuenca del río Las Pavas, como una cuenca poco alargada pues está dentro de un rango de 0,0 a 1,4, rango que considera como una cuenca poco alargada.

El valor del índice de compacidad (K_c), encontrado para la subcuenca del río Las Pavas es de 1,273 el cual muestra una tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento.

El valor de masividad, da a notar que dicha subcuenca puede calificarse como muy montañosa, pues arrojó un valor de 21,045 y está dentro de un rango de 0 a 35, rango que se califica como muy montañosa.

En cuanto al valor de densidad de drenaje es de 0,719 el cual se puede calificar como baja. Por otro lado según, FUENTES (2004), menciona que a mayor densidad de drenaje, más dominante es el flujo en el cauce, frente al flujo en ladera, lo que se traduce en un menor tiempo de respuesta de la cuenca, y por tanto, un menor tiempo al pico del hidrograma.

La longitud del cauce principal de la subcuenca presenta una calificación media, este parámetro influye en el tiempo de concentración y en la mayoría de los índices morfométricos

El número de escurrimientos presentó un valor de 26 calificándose como bajo pues existen deficiencias de un mejor drenaje de la cuenca y por tanto, desfavorece el escurrimiento

El tiempo de concentración con un valor de 1,33 horas, se puede calificar como moderado. Este tiempo no se corresponde con el fenómeno real, pues puede haber puntos de la cuenca en los que el agua caída tarde más en llegar al desagüe que el más alejado.

(FUENTES, 2004).

Por otro lado, debe tenerse claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante; depende, como indican MARCO y REYES (1992) de la intensidad del chubasco, aunque muy ligeramente.

Cuadro 6. Índices y parámetros morfométricos de la subcuenca del río Las Pavas.

Índices		Resultados		Clasificación
Índice de forma			0,676	Circular
Índice de alargamiento	Ancho (m):	7807,12	1,481	Poco alargada
	Long. Max. (m):	11560,75		
Índice de Compacidad			1,273	De oval redonda a oval oblonga
Índice de Masividad	Alt. Media (m):	1330,75	21,045	Muy montañosa
	Área (Km ²):	63,235		
Densidad de drenaje (Km/ Km ²)			0,719	Eficiente
Elevación media de la cuenca			1330,750	Baja
<u>Parámetros morfométricos</u>				
Área (Ha)			6323,481	Mediana (subcuenca)
Perímetro (Km)			36,167	-
Longitud del cauce principal (Km)			10,357	Mediano
Orden de corriente			1,2 y 3	Medio
Número de escurrimiento (Nº)			26,000	Medio
Pendiente media del cauce principal (%)			6,800	Moderada
Tiempo de concentración (hr.)	Kirpich (hr)	0,84	1,333	Moderado
	Californiana (hr)	1,77		
	Giandotti (hr)	1,52		
	Tempez (hr)	1,20		

Fuente: elaboración propia 2007

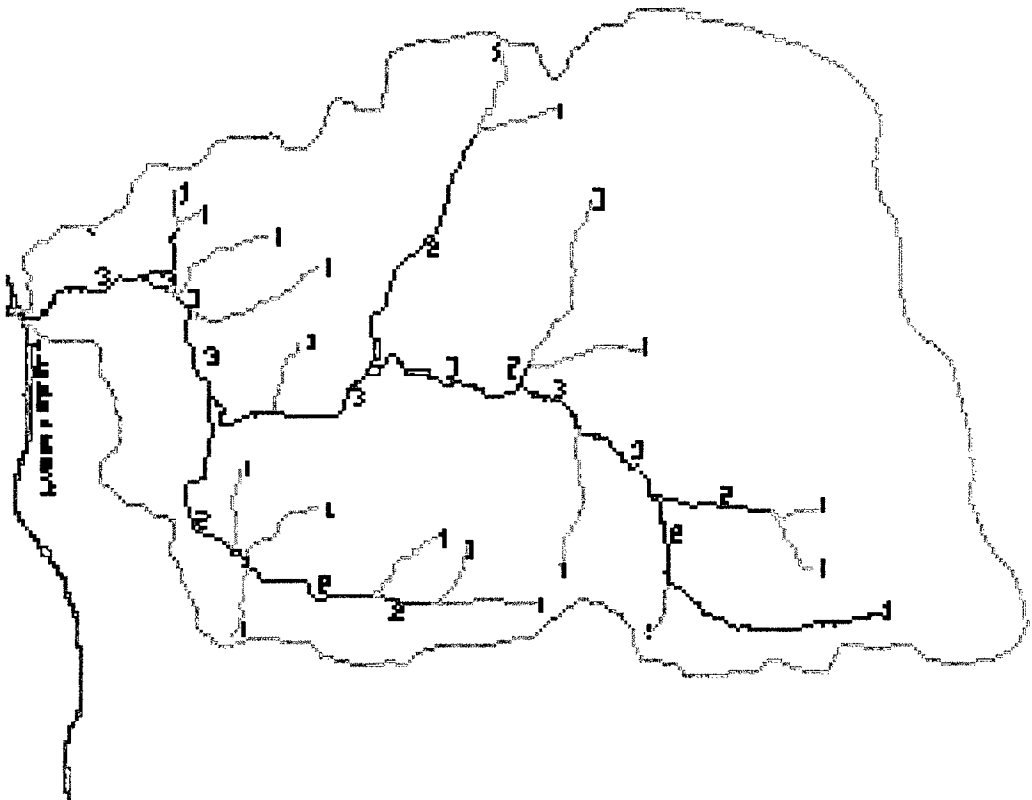


Figura 10. Orden de corriente de la subcuenca del río Las Pavas

Curva hipsométrica

La curva hipsométrica determinada para la subcuenca del río Las Pavas, proporcionó una información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, que representó gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por los tramos de altura. Dicha curva presentó, en las ordenadas, las cotas de altura de la cuenca, que van de 680 hasta los 2200 m.s.n.m, y en abscisas la superficie de la cuenca con valores que van desde 3,349 hasta los 63,235 Km² que se encuentran por encima de dichas cotas (Figura 11 y Cuadro 7).

La relación de las áreas sobre y bajo la curva hipsométrica son importantes, pues según FUENTES (2004), la importancia de esta relación reside en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. Así, cuando la relación es igual a 1, se trata de una cuenca en equilibrio morfológico.

Con la elaboración de la curva hipsométrica de la subcuenca del río Las Pavas, se pudo caracterizar la edad de dicha subcuenca, como es de un estado de madurez, característica de una cuenca en equilibrio.

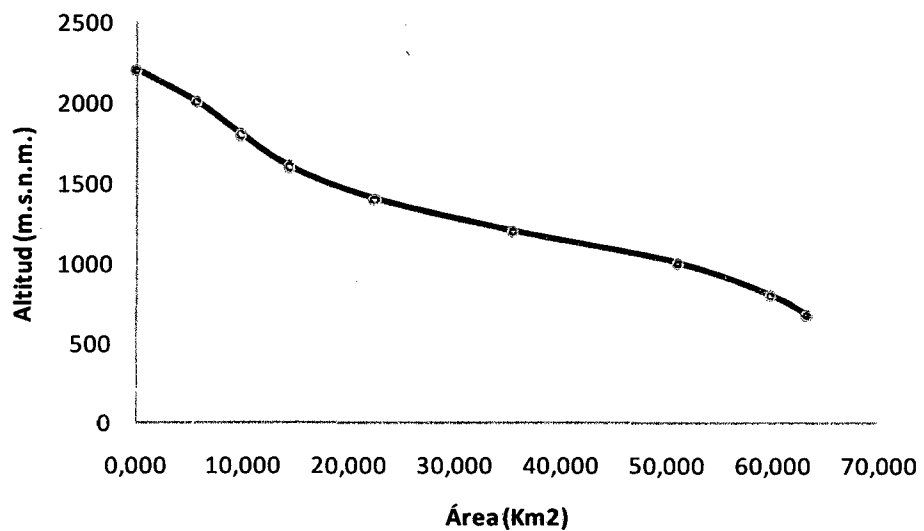


Figura 11. Curva hipsométrica de la subcuenca del río Las Pavas

Cuadro 7. Resultados de cálculo para la curva hipsométrica del río Las Pavas.

Altitud (msnm) (1)	Áreas Parciales (Km ²)) (2)	Áreas acumuladas(Km ²)	Áreas que quedan sobre las altitudes (km2) (4)	% del total (5)	% del total que queda sobre la altitud (6)
665	0	0	63,235	0	100
800	3,349	3,349	59,886	5,296	94,704
1000	8,848	12,197	51,038	13,992	80,711
1200	15,528	27,725	35,510	24,556	56,155
1400	13,042	40,767	22,468	20,624	35,531
1600	8,030	48,797	14,438	12,699	22,832
1800	4,643	53,440	9,795	7,342	15,490
2000	4,167	57,607	5,628	6,590	8,900
2200	5,628	63,235	0,000	8,899	0,000
	63,235			100,000	

Fuente: elaboración propia 2007

Perfil longitudinal del cauce principal

Después de elaborar el perfil longitudinal se puede apreciar una forma cóncava la cual describe una variación de su cota a lo largo de su longitud y recorrido; de tal modo que el perfil longitudinal reflejará la pendiente de cada tramo determinada por las condiciones expuestas aguas arriba. También se puede decir, que la pendiente el cauce disminuye a medida que aumenta la superficie de la subcuenca.

Después de elaborar el perfil longitudinal, se realizó un análisis relacionando al diámetro de los sedimentos (área, gravilla y grava), con valores

que van de 0,50 mm. a los 4,00 m., donde no se determinó una estrecha relación directamente proporcional de las dimensiones de los sedimentos con el perfil longitudinal de cauce principal.

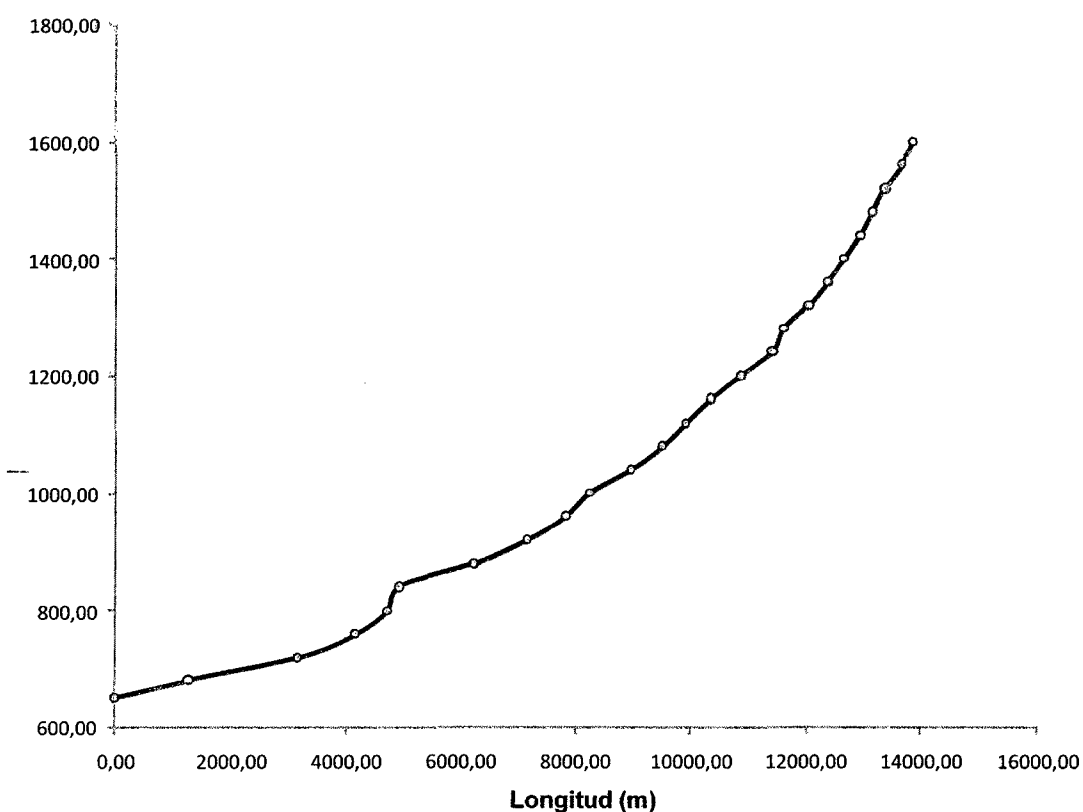


Figura 12. Perfil longitudinal de curso principal de la subcuenca del río Las Pavas

4.2. Caracterización hidráulica

Los resultados obtenidos en la determinación de los caracteres hidráulicos del río Las Pavas se muestran en los Cuadros 8 y 9, para el cual se logró resumir los valores más representativos (promedios, desviación estándar y coeficiente de variación) por cada carácter hidráulico estudiado.

En los tramos en estudio considerados entre las cotas 665 – 1200 m.s.n.m. se obtuvo un ancho promedio que va de 3,63 a 17,85 m., un perímetro mojado promedio de 3,92 a 17,35 m., un área transversal que va de 4,27 a 22,97 m², una velocidad media con promedios que van de 1,63 a 3,72 m/s y una profundidad media con promedios que van de 1,61 a 2,41 m. resultando más variable el carácter hidráulico de la pendiente con un valor de 40,36 %, para el tramo 3, el más alto valor de variabilidad con respecto a los demás parámetros, es debido a que en este tramo se presentan resaltos hidráulicos, haciendo que el fondo del lecho del cauce forme pendientes pronunciadas. Seguidamente otros de los más variables son: el perímetro mojado y la profundidad media con un coeficiente de variabilidad de 21,01 y 21,00 % respectivamente.

Cuadro 8. Resumen de características hidráulicas del río Las Pavas tramo 1 al 7 del curso principal (Orden 3).

Tram. Nº	Cotas (m.s.n.m.)	Paramet. Estadist.	Anch. (m)	Perim. Mojado (m)	Área (Km ²)	Radio H.	Rug. Manning	S (%)	Veloc. Media (m/s)	Y (m)
1	665,00 a	Promed.	17,85	17,35	22,97	1,33	0,04	3,04	1,91	2, 18
	680,00	Desvest.	3,63	3,41	4,21	0,12	0,01	0,87	0,27	0,46
		C.V	20,36	19,64	18,34	8,64	13,12	28,57	14,07	21,00
2	680,00 a	Promed.	14,13	15,69	20,84	1,34	0,04	2,22	1,65	2,41
	720,00	Desvest.	1,09	2,61	2,80	0,14	0,00	0,37	0,10	0,42
		C.V	7,71	16,65	13,44	10,08	3,93	16,47	6,21	17,33
3	720,00 a	Promed.	12,65	12,43	15,04	1,21	0,04	2,69	1,63	2,28
	760,00	Desvest.	1,49	1,66	2,28	0,10	0,00	1,09	0,29	0,31
		C.V	11,78	13,33	15,18	8,04	4,44	40,36	17,87	13,48
4	760,00 a	Promed.	10,00	11,02	12,61	1,15	0,04	4,34	2,00	2,15
	800,00	Desvest.	2,21	2,32	2,45	0,06	0,00	1,56	0,34	0,25
		C.V	22,15	21,01	19,45	5,28	3,78	36,00	17,15	11,53
5	800,00 a	Promed.	5,94	5,71	6,18	1,08	0,04	16,38	3,72	2,39
	840,00	Desvest.	0,73	1,07	1,16	0,06	0,00	4,57	0,55	0,42
		C.V	12,21	18,70	18,80	5,90	4,31	27,87	14,72	17,41
6	840,00 a	Promed.	9,01	10,41	12,42	1,21	0,04	2,77	1,67	1,90
	880,00	Desvest.	0,86	1,85	1,33	0,11	0,00	0,45	0,19	0,27
		C.V	9,58	17,75	10,69	8,75	4,72	16,24	11,33	14,20
7	880,00 a	Promed.	8,39	9,15	10,55	1,16	0,04	3,43	1,79	2,01
	920,00	Desvest.	0,36	0,84	0,68	0,13	0,00	0,86	0,12	0,16
		C.V	4,32	9,21	6,48	10,78	0,00	25,01	6,77	7,78

Fuente: elaboración propia 2007

Cuadro 9. Resumen de características hidráulicas del Río Las Pavas tramo 8 al 14 del curso principal (Orden 3).

Tram. N°	Cotas (m.s.n.m.)	Parámet. Estadíst.	Anch.(m)	Perim. Mojado(m)	Área (m ²)	R adio H.	Rug. Manning	S (%)	Veloc. Media (m/s)	Y (m)
8	920,00 a 960,00	Promed.	7,80	9,63	10,51	1,09	0,04	4,31	1,95	1,85
		Desvest.	1,25	1,45	1,51	0,06	0,00	0,00	0,07	0,17
		C.V	16,03	15,10	14,38	5,65	4,35	0,00	3,75	9,43
9	960,00 a 1000,00	Promed.	7,57	10,37	10,81	1,04	0,04	4,68	1,96	2,19
		Desvest.	0,65	1,11	1,21	0,01	0,00	0,73	0,15	0,37
		C.V	8,54	10,72	11,15	0,77	2,20	15,70	7,57	16,74
10	1000,00 a 1040,00	Promed.	6,75	9,21	9,59	1,04	0,04	6,31	2,28	2,24
		Desvest.	0,66	1,05	1,11	0,04	0,00	0,91	0,11	0,42
		C.V	9,81	11,37	11,58	3,62	0,00	14,46	4,77	18,86
11	1040,00 a 1080,00	Promed.	4,90	6,46	7,03	1,09	0,04	7,36	2,55	2,14
		Desvest.	0,62	1,02	0,91	0,04	0,00	0,00	0,06	0,13
		C.V	12,72	15,75	12,92	3,51	4,35	0,00	2,34	5,83
12	1080,00 a 1120,00	Promed.	4,77	5,20	5,83	1,12	0,04	9,84	3,00	1,61
		Desvest.	0,21	0,10	0,04	0,03	0,00	0,00	0,05	0,05
		C.V	4,37	1,92	0,69	2,51	4,95	0,00	1,67	3,06
13	1120,00 a 1160,00	Promed.	3,82	4,42	4,99	1,13	0,04	9,44	2,95	1,96
		Desvest.	0,15	0,09	0,01	0,02	0,00	0,35	0,06	0,12
		C.V	3,89	2,05	0,23	1,99	4,95	3,66	1,99	6,16
14	1160,00 a 1200,00	Promed.	3,63	3,92	4,27	1,09	0,04	7,59	2,58	2,04
		Desvest.	0,11	0,03	0,21	0,06	0,00	0,00	0,10	0,08
		C.V	3,06	0,76	4,93	5,69	6,15	0,00	3,79	4,16

Fuente: elaboración propia 2007

4.3. Caudal dominante

Los valores ponderados del caudal dominante en los diferentes tramos en estudio se muestran en el Cuadro 10 y Figura 13, teniendo un valor ponderado máximo de 34,73 m³/s entre las cotas 665 – 680 m.s.n.m. y un valor ponderado mínimo de 10,34 m³/s entre las cotas 1160 – 1200 m.s.n.m.,

presentándose una mayor variabilidad en el tramo de las cotas 1040 – 1080 m.s.n.m.

En la determinación del caudal dominante en los diferentes tramos del río Las Pavas no se tomó el criterio de evaluar mediante un periodo de retorno de 1,5 años pues la disponibilidad de instrumentos de medición de caudales era muy reducido, por otra lado el tiempo de ejecución del estudio fue un periodo de 6 meses, así que por lo tanto, se tuvo en cuenta dos criterios; uno de ellos fue el de la relación ancho profundidad y el otro el de aquel caudal que ocupa el límite de la sección que forma el lecho del río.

ROCHA (1998) menciona que, el caudal dominante no es aquel evento máximo mayor carga sólida, si no que en general será uno menor pero que se presenta en forma más frecuente, incidiendo den forma gradual acumulativa.

Cuadro 10. Valores del caudal dominante (m^3/s) del río Las Pavas en los diferentes tramos en estudio.

Tram. Nº	Cotas (m.s.n.m.)	Caudal Promed. (m^3/s)	Desvest.	Coef. Variabilidad
1	665 a 680	34,73	4,52	13,01
2	680 a 720	30,65	4,00	13,06
3	720 a 760	21,87	2,12	9,69
4	760 a 800	23,31	1,75	7,51
5	800 a 840	21,23	2,84	13,36
6	840 a 880	18,97	1,00	5,27
7	880 a 920	16,78	0,24	1,40
8	920 a 960	19,07	2,40	12,60
9	960 a 1000	16,88	1,15	5,76
10	1000 a 1040	21,24	1,98	9,32
11	1040 a 1080	16,70	2,43	14,58
12	1080 a 1120	16,08	1,09	7,43
13	1120 a 1160	13,53	0,95	7,01
14	1160 a 1200	10,34	1,53	14,83

Fuente: elaboración propia 2007

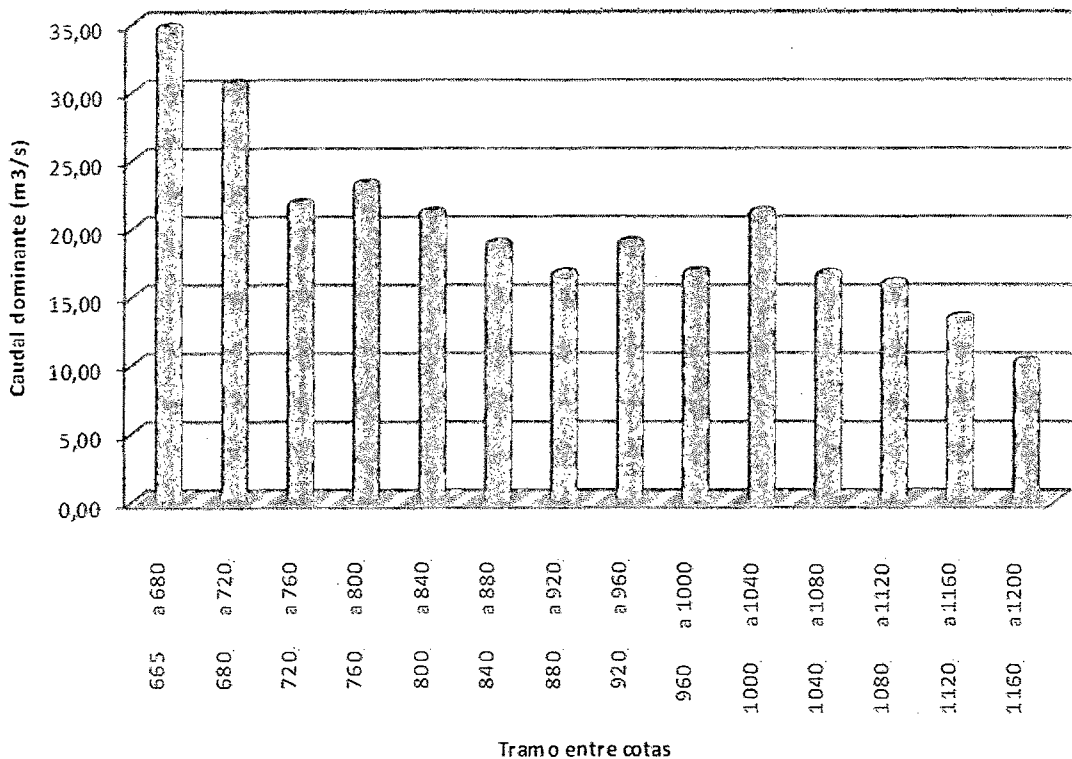


Figura 13. Caudal dominante (m³/s) en cada tramo

4.4. Régimen de cauce

4.4.1. Métodos de cálculo para el régimen de cauce

En la realización de la determinación de los parámetros hidráulicos para el régimen de cauce se tomó bastante cuidado y criterio en las observaciones directas en el campo es así que VASQUEZ (2000), considera que las condiciones de los ríos requieren de una observación directa.

Los resultados obtenidos en la determinación de los caracteres hidráulicos de régimen de cauce por tramo del río Las Pavas se muestran en los Cuadros: del 9 - 22. Dichos valores pudieron ser ponderados para obtener un valor representativo por (promedios, desviación estándar y coeficiente de variación) por cada carácter hidráulico estudiado.

En los tramos estudiados, considerado entre las cotas 665– 1200 m.s.n.m. con el método de Simons y Henderson se obtuvo un ancho promedio por tramo de 17,85 m. a 9,58 m. con el método de Blench o Altunin se obtuvo un ancho promedio por tramo que va de 36.88 m a 20,13 m y con el método de Lacey se determinó un ancho promedio por tramo de 28,41 m a 15,51 m; de igual manera para la determinación de la profundidad media y la pendiente de régimen para los métodos de Blench o Altunin y Lacey fueron valores que van de 1,37 a 0,91 m y 0,53 a 0,35 ; 2,92 a 38,77 % y 2,58 a 3.65 % respectivamente.

Por otro lado se observó una variación pronunciada con respecto a la pendiente con valores de 34,00 y 20,85 % de variabilidad, para los métodos de Altunin y Lacey respectivamente. Esto relacionado al carácter hidráulico de la pendiente con respecto a valores obtenidos en campo con un valor de 40,36 %, pues es la variable con mayor cambio seguido de la profundidad media con un valor de 20,01, con respecto a tramos determinados (Cuadro 8).

Pues a pesar de los cálculos obtenidos el dimensionamiento hidráulico del cauce del río Las Pavas a través de la historia no permite considerarlo en absoluto inalterado, se piensa que en algunos tramos del cauce principal antes y después de la vía carrozable mantiene un dimensionamiento parecido al que dicta la morfología fluvial.

LÓPEZ *et al.* (1992) describe que, desde zonas de cabecera hasta desembocadura el sistema fluvial va cambiando, adquiriendo mayor tamaño. La

influencia terrestre de las orillas se debilita debido al aumento de caudal y carga de sedimentos provenientes de las zonas altas.

Con respecto a la desviación estándar para el ancho de régimen por el método de Simons se estimó una desviación que va de 0,09 a 1,20 m., para el método de Biench o Altunin 0,18 a 2,44m, para el método de Lacey se obtuvieron valores que van de 0,14 a 1,88 m.

En el caso para la profundidad de régimen con método de Biench la desviación estándar fue de 0,01 a 0,06 m. y para el método de Lacey es de 0,001 a 0,02 m., luego con respecto a la pendiente de régimen para el método de Biench se obtuvo valores que va de 0,001 a 8,08 % y en el método de Lacey se obtuvieron valores que va de 0,06 a 0,50 % (Cuadro 10 y 11).

Analizando los valores de los resultados del dimensionamiento hidráulico del río Las Pavas el ancho del cauce disminuye conforme se va recorriendo el cauce río arriba, pues esto es ciertamente lógico ya que, la captación del agua de escorrentía disminuye conforme se aleja del punto de aforo, lo que no sucede con la pendiente del cauce pues este sigue siendo el que presenta mayor coeficiente de variación.

En el tramo 11 se observó una alta variación para el ancho con un coeficiente de variación de 7,65 % seguido por el ancho según Lacey y Altunin con un valor de 7,47%. Para el tramo 12 también se observó una alta variación para la pendiente con un coeficiente de variación de 11,49 para el método de Altunin, y 3,77 %, para los métodos de Simons y Henderson (Cuadro 10 y 11).

Cuadro 10. Características hidráulicas de régimen del río Las Pavas, tramo 1 al 7 entre las cotas 665 – 1200 m.s.n.m.

Tram. Nº	Parámetro estadíst.	Met. Simons	Met. Biench o Altunin			Met. De Lacey		
		y Henderson- ancho(m)	Ancho (m)	Prof. Media(m)	S(%)	Ancho (m)	Prof. Media (m)	S(%)
1	Prom.	17,80	36,88	1,37	2,92	28,41	0,53	2,58
	Desvest.	1,20	2,44	0,06	0,99	1,88	0,02	0,27
	CV	6,76	6,61	4,43	34,00	6,61	4,43	10,36
2	Prom.	16,69	34,64	1,31	2,37	26,69	0,51	2,39
	Desvest.	1,14	2,30	0,06	1,05	1,77	0,02	0,23
	CV	6,80	6,65	4,46	44,41	6,65	4,46	9,48
3	Prom.	14,06	29,29	1,17	4,20	22,57	0,46	2,62
	Desvest.	0,69	1,41	0,04	0,59	1,09	0,01	0,36
	CV	4,93	4,82	3,20	14,10	4,82	3,20	13,85
4	Prom.	14,53	30,25	1,20	8,00	23,31	0,47	3,04
	Desvest.	0,58	1,17	0,03	4,32	0,90	0,01	0,27
	CV	3,96	3,87	2,61	54,01	3,87	2,61	8,91
5	Prom.	13,84	28,84	1,16	14,79	22,22	0,45	4,41
	Desvest.	0,94	1,91	0,05	0,60	1,47	0,02	0,50
	CV	6,79	6,63	4,41	4,08	6,63	4,41	11,35
6	Prom.	13,08	27,30	1,12	12,69	21,03	0,43	2,65
	Desvest.	0,35	0,72	0,02	1,33	0,56	0,01	0,18
	CV	2,71	2,65	1,77	10,45	2,65	1,77	6,89
7	Prom.	12,29	25,68	1,07	17,49	19,79	0,42	2,88
	Desvest.	0,09	0,18	0,01	2,07	0,14	0,00	0,38
	CV	0,72	0,70	0,47	11,85	0,70	0,47	13,29

Fuente: elaboración propia 2007

Cuadro 11. Características hidráulicas de régimen del río Las Pavas, tramo 8 al 14 entre las cotas 665 – 1200 m.s.n.m.

Tram. N°	Parametro estadist.	Met.	Met. Biench o Altunin			Met. De Lacey		
		Simons y Henderson-ancho(m)	Ancho (m)	Prof. Media(m)	S(%)	Ancho (m)	Prof. Media (m)	S(%)
8	Prom.	13,10	27,34	1,12	18,86	21,07	0,44	3,16
	Desvest.	0,85	1,73	0,05	1,34	1,33	0,02	0,12
	CV	6,49	6,33	4,23	7,08	6,33	4,23	3,67
9	Prom.	13,40	27,95	1,14	19,94	21,54	0,44	3,32
	Desvest.	0,40	0,81	0,02	0,34	0,62	0,01	0,13
	CV	2,97	2,90	1,94	1,72	2,90	1,94	3,81
10	Prom.	13,85	28,88	1,16	27,49	22,25	0,45	3,59
	Desvest.	0,66	1,34	0,04	4,93	1,04	0,01	0,21
	CV	4,77	4,65	3,10	17,93	4,65	3,10	5,93
11	Prom.	12,24	25,58	1,07	33,05	19,71	0,42	3,62
	Desvest.	0,94	1,91	0,05	0,00	1,47	0,02	0,08
	CV	7,65	7,47	5,02	0,00	7,47	5,02	2,34
12	Prom.	12,02	25,13	1,06	39,06	19,36	0,41	3,82
	Desvest.	0,45	0,92	0,03	4,49	0,71	0,01	0,06
	CV	3,77	3,68	2,45	11,49	3,68	2,45	1,66
13	Prom.	1,00	23,05	1,00	35,09	17,76	0,39	3,76
	Desvest.	0,39	0,80	0,02	4,56	0,62	0,01	0,07
	CV	3,56	3,48	2,31	12,99	3,48	2,31	1,75
14	Prom.	9,58	20,13	0,91	38,77	15,51	0,35	3,65
	Desvest.	0,73	1,50	0,05	8,08	1,15	0,02	0,14
	CV	7,61	7,43	4,96	20,85	7,43	4,96	3,79

Fuente: elaboración propia 2007

4.5. Análisis de confiabilidad de datos

4.5.1. Estadísticos descriptivos

Para el estudio se realizó un análisis descriptivo estadístico de un total de 94 secciones, con el apoyo de la herramienta SPSS 12.0. Los valores se muestran en el Cuadro 12, es así, que para el caudal dominante encontrado se obtuvieron valores que van de 9,26 a 43,86 m³/s, para el ancho del cauce valores que van de 3,56 a 24,00 m, una profundidad que van desde 1,2 a 2,18 m, una pendiente con valores que van de 1,00 hasta 18,63 %, una velocidad que entre 0,91 a 3,25 m/s, perímetro mojado con valores que van de 3,90 y 23,86 m, un área transversal con valores entre 4,12 a 31,20 m² y por último un radio hidráulico de 1,00 a 1,60 m.

La variación más notable es para los valores obtenidos de caudal, con un valor de desviación típica de 7,46 m.

Cuadro 12. Estadísticos descriptivos de los parámetros hidráulicos encontrados para el río Las Pavas

Caract. Hidráulicas	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Caudal (m ³ /s)	94	9,26	43,86	24,5130	7,46303
Ancho de cauce (m)	94	3,56	24,00	11,2803	4,85660
Profundidad (m)	94	1,20	3,23	2,1839	,37815
Pendiente (%)	94	1,00	18,63	4,7109	3,88702
Velocidad (m/s)	94	0,91	3,25	1,4706	0,50701
Perímetro mojado (m)	94	3,90	23,86	11,9632	4,67111
Área transversal (m ²)	94	4,12	31,20	14,7948	6,62716
Radio hidráulico (m)	94	1,00	1,60	1,2107	0,13991

Fuente: elaboración propia 2007

En el Cuadro 13 se muestran los resultados de las características de equilibrio para el río Las Pavas, obteniéndose los cálculos con tres modelos de régimen, Simons, Altunin y Lacey. Con el método de Simons solo se pudo determinar el ancho del cauce, pues para los demás parámetros como pendiente y profundidad media no se pudo obtener información. Entonces los valores obtenidos para el ancho de cauce con el método de Simons es de un valor mínimo de 9,06 m. y un máximo de 14,75 m; los valores obtenidos con el método de Altunin fue de 19,07 m y 41,53 m, valores considerados como muy extremos para ser tomados en cuenta en la caracterización de un régimen de equilibrio; mientras que, mediante el método de Lacey se pudo llegar a valores aceptables en cuanto al ancho de cauce con un valor mínimo de 14,70 m y un valor máximo de 31,99 m, más no para la profundidad media ya que los valores son muy bajos de 0,34 a 0,57m.

Cuadro 13. Estadísticos descriptivos de los parámetros de régimen de cauce para el río Las Pavas.

Caract. Hidráulicas	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Ancho - Simons (m)	94	9,06	20,10	14,7502	2,31140
Ancho - Altunin (m)	94	19,07	41,53	30,6896	4,69737
Profundidad - Altunin (m)	94	0,88	1,48	1,2055	0,12339
Pendiente - Altunin (%)	89	1,20	44,48	11,1748	11,74569
Ancho - Lacey (m)	94	14,70	31,99	23,6461	3,61926
Profundidad - Lacey (m)	94	0,34	0,57	0,4689	0,04798
Pendiente - Lacey (%)	94	1,99	4,70	2,9498	0,63340

Fuente: elaboración propia 2007

4.5.2. Análisis de comparación de promedios

En la comparación de promedios de los parámetros hidráulicos de régimen de cauce del río Las Pavas, con los parámetros encontrados en situ y a una significación de 0,05 de probabilidad pues no se encontró igualdad de promedios, aceptando la hipótesis alternante debido a que los promedios comparados con los valores hidráulicos son totalmente diferentes. Con esto estaríamos comprobando la hipótesis planteada en el estudio (Cuadro 14).

Cuadro 14. Resultados de prueba de comparación de promedios de las características hidráulicas in situ vs características hidráulicas de régimen del río Las Pavas.

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Ancho de cauce (m) - Ancho - Simons (m)	-3,46993	3,12230	,32204	-4,10944	-2,83042	-10,775	93	,000
Par 2	Ancho de cauce (m) - Ancho - Altunin (m)	-19,40938	2,58418	,26654	-19,93867	-18,88009	-72,820	93	,000
Par 3	Ancho de cauce (m) - Ancho - Lacey (m)	-12,36588	2,58008	,26612	-12,89434	-11,83743	-46,468	93	,000
Par 4	Profundidad (m) - Profundidad - Altunin (m)	,97832	,36104	,03724	,90437	1,05227	26,272	93	,000
Par 5	Profundidad (m) - Profundidad - Lacey (m)	1,71491	,36664	,03782	1,63982	1,79001	45,349	93	,000
Par 6	Pendiente (%) - Pendiente - Altunin (%)	-7,22258	9,89321	1,04868	-9,30661	-5,13856	-6,887	88	,000
Par 7	Pendiente (%) - Pendiente - Lacey (%)	1,76111	3,31363	,34177	1,08241	2,43980	5,153	93	,000

4.5.3. Análisis de varianza para Diseño Completo al Azar (DCA)

En el Cuadro 15, se muestra el análisis de variancia realizado para comparar los datos de ancho de equilibrio (m), calculados por los tres métodos considerados, se halló que existen diferencias significativas a una probabilidad de 0.05, ello se debe a que la influencia de factores naturales influye en la dinámica y morfología fluvial.

Cuadro 15. Análisis de varianza del ancho (m) de río Las Pavas determinado por diferentes métodos.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Entre método	11994,88	93	128,98	6,44	*
Error	3767,15	188	20,04		
Total	15762,03	281			

* = SIGNIFICATIVO

En el Cuadro 16, se muestra el análisis de variancia realizado para comparar los datos de profundidad media (m), calculada por los tres métodos considerados, se halló que existen diferencias significativas a una probabilidad de 0.05.

Cuadro 16. Análisis de varianza de la profundidad media (m) de río Las Pavas determinado por diferentes métodos.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Entre método	25,50	93	0,27	15,82	*
Error	1,63	94	0,02		
Total	27,13	281			

* = SIGNIFICATIVO

En el Cuadro 17, se muestra el análisis de variancia realizado para comparar los datos de pendiente (%), calculado por los tres métodos considerados, se halló que existen diferencias significativas a una probabilidad de 0.05.

Cuadro 17. Análisis de varianza de la pendiente (%) de río Las Pavas determinado por diferentes métodos.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Entre método	3473,73	93	37,35	0,28	*
Error	12409,63	94	132,02		
Total	15883,37	187			

* = SIGNIFICATIVO

4.6. Análisis Regresión y de correlación

4.6.1. Modelos de caracterización hidráulica propuestos para el río Las Pavas.

FARIAS (2005) describe que, la geometría hidráulica de un tramo de río habitualmente se expresa a través de un conjunto de ecuaciones que describen de manera global la forma y tamaño del cauce (representados a través del ancho B y profundidad H de la sección transversal y la pendiente longitudinal S, asumidas como variables dependientes) en función del caudal dominante Qd. Es así que valiéndose de las premisas formuladas por el

presente autor, se obtuvo una relación directamente proporcional en cuanto al ancho del cauce frente al caudal dominante del río Las Pavas, con un coeficiente de determinación de 0,725 (Figura 14).

Cuadro 18. Análisis de varianza para regresión lineal del ancho (m), pendiente (%), profundidad (%) y Velocidad (m/s) vs Caudal dominante (m^3/s).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fcalculado	Sig.
ANVA Regresión: ancho (m) vs caudal dominante (m^3/s)					
Regresión	136,397	1,000	136,397	0,903	NS
Error	13890,851	92,000	150,988		
Total	14027,248	93,000			
ANVA Regresión: pendiente (%) vs caudal dominante (m^3/s)					
Regresión	17,583	1,000	17,583	0,469	NS
Error	3451,474	92,000	37,516		
Total	3469,057	93,000			
ANVA Regresión: profundidad (m) vs caudal dominante (m^3/s)					
Regresión	0,097	1,000	0,097	0,019	NS
Error	456,736	92,000	4,965		
Total	456,832	93,000			
ANVA Regresión: velocidad (m/s) vs caudal dominante (m^3/s)					
Regresión	0,603	1,000	0,603	0,247	NS
Error	224,424	92,000	2,439		
Total	225,027	93,000			

Los resultados en el Cuadro 18, del análisis de varianza para regresión lineal, arrojaron no significativo al relacionar el ancho, pendiente, profundidad y velocidad con el caudal dominante; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ($H_0=0$) al no existir una regresión lineal.

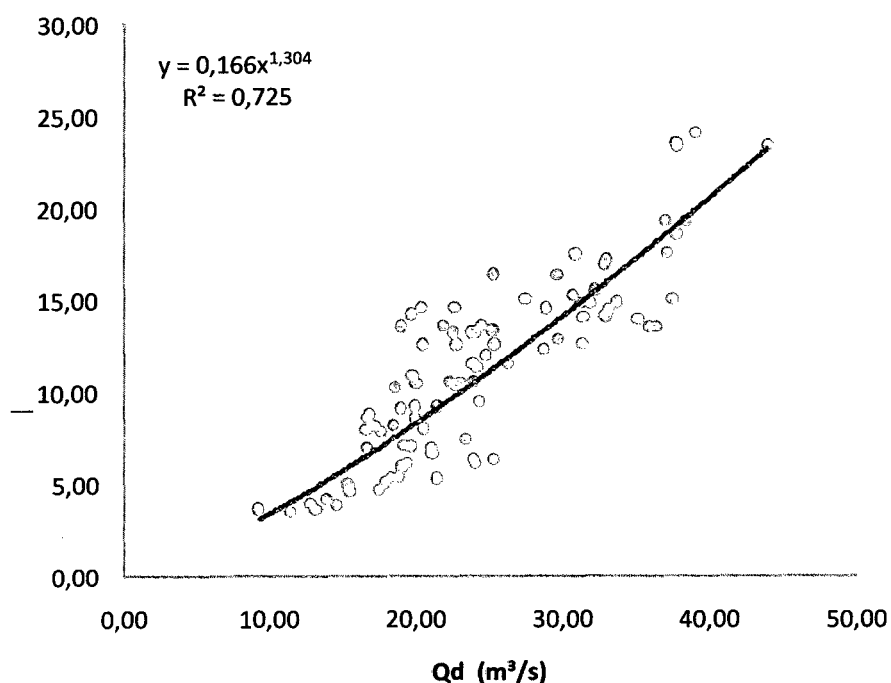


Figura 14. Modelo de régimen de cauce del ancho (m) en función del caudal dominante (m³/s), del río Las Pavas.

Al comparar la relación existente de la profundidad como variable dependiente frente al caudal dominante en encontró una baja relación directa pues los valores fueron muy dispersos, arrojando una coeficiente de determinación de 0.080 considerado como una bondad de ajuste de malo (Figura 15). Pues según LEOPOLD (1953), mencionado por ANGELS (2005), observó que dentro de cada sección, la profundidad es la variable que presenta mayor variación con los caudales, mientras que la anchura permanece realistamente constante y la velocidad se incrementa más despacio.

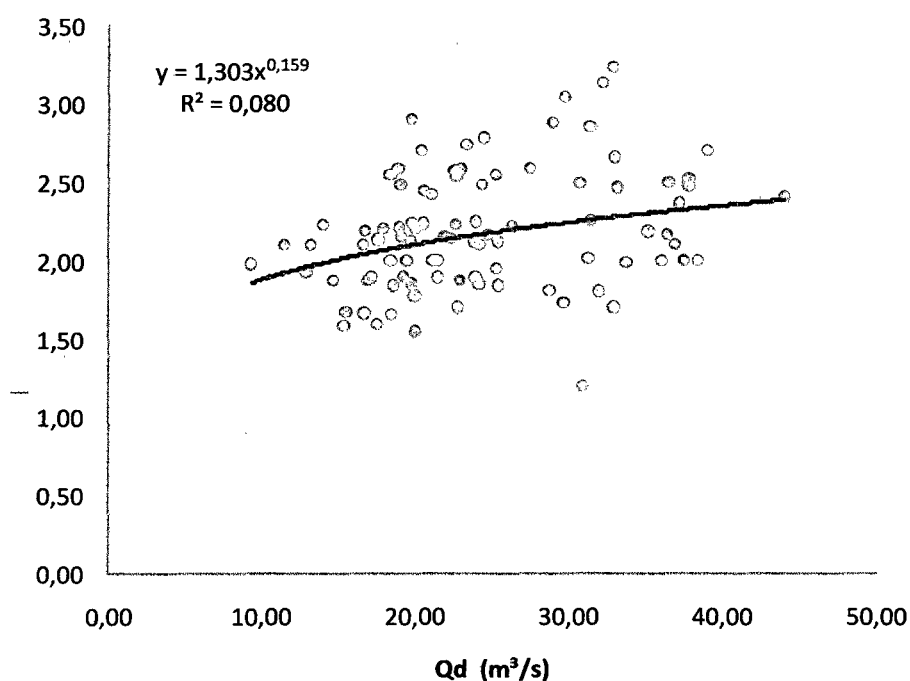


Figura 15. Modelo de régimen de cauce de la profundidad media (m) en función del caudal dominante (m³/s), del río Las Pavas.

En la Figura 16, se muestra la curva que se obtuvo al comparar la pendiente como variable dependiente frente al caudal dominante arrojando un coeficiente de determinación de 0,23 valor considerado como una relación muy baja. Dicha curva nos indica que en el río Las Pavas, la pendiente con el caudal dominante se relacionan en una forma indirecta; como también se pudo observar que se presentaron cinco valores que resultaron muy alejados de la curva formada; pues esto se debe a que dichos valores fueron obtenidos entre la cota 800 a 840 m.s.n.m. en una distancia de 214,66 m arrojando una pendiente de 18,63 %, alejándose de la normal morfología del cauce.

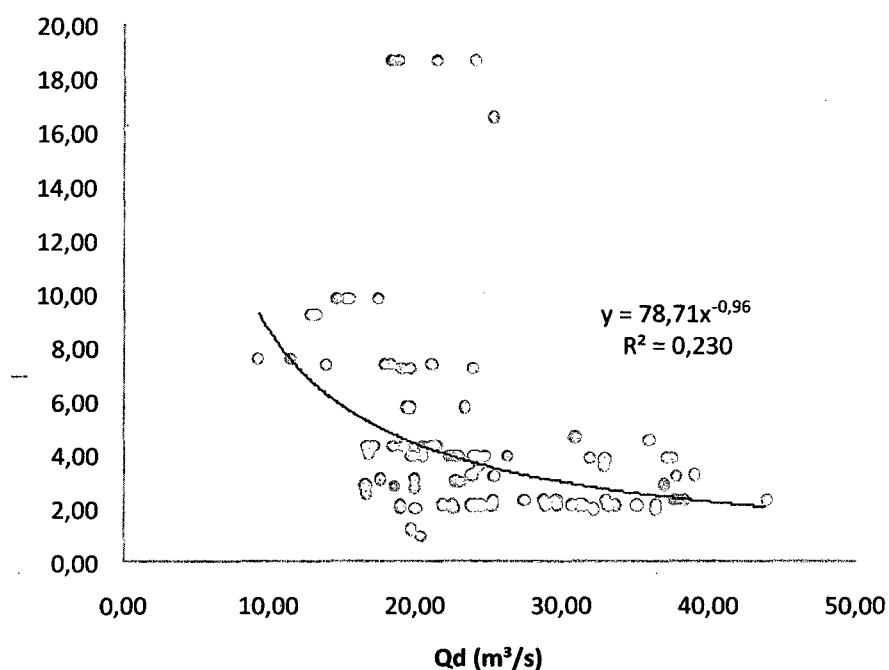


Figura 16. Modelo de régimen de cauce de la pendiente (%) en función del caudal dominante (m^3/s), del río Las Pavas.

En la Figura 17, se muestra la dispersión de los valores de velocidad media, frente al caudal dominante, arrojando una relación indirecta con un coeficiente de determinación de 0,431 considerado como regular. Por otro lado al igual que en la Figura 13 se puede notar que se presentan valores que resultaron muy alejados de la normal dispersión de los demás valores, pues en este caso la pendiente influyó en el incremento de la velocidad con valores mayores a los 3,00 m/s.

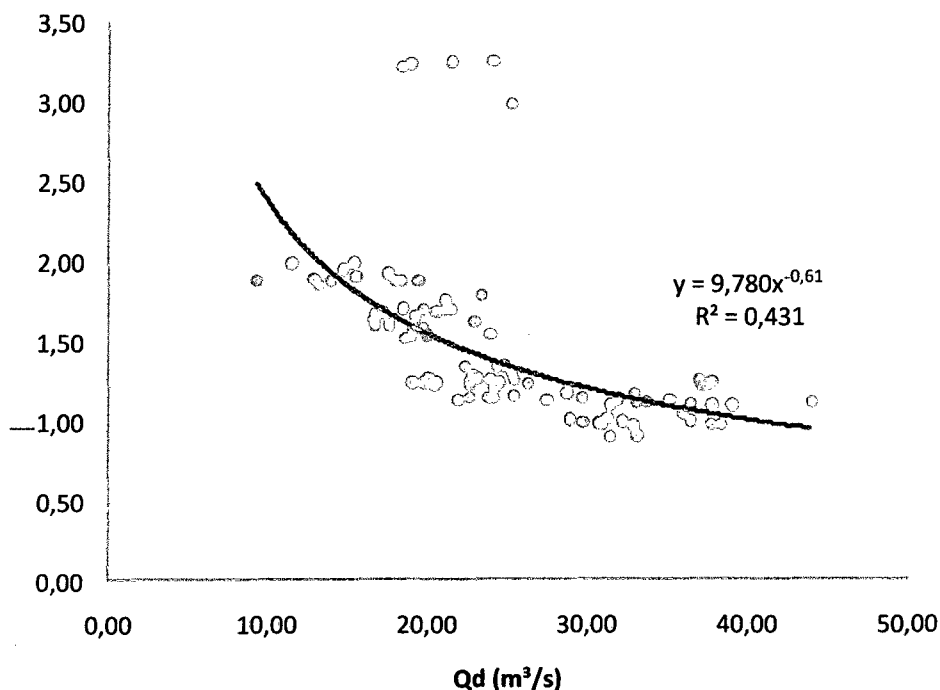


Figura 17. Modelo de régimen de cauce de la velocidad media (m/s) en función del caudal dominante (m³/s), del río Las Pavas.

Evadiendo los valores extremos se tiene:

Valiéndose de un análisis de exonerar valores extremos, ya que estos ocasionarían un cálculo no significativo en los demás tramos, es que en las Figuras 18 y 19 se proponen los modelos en cuanto a la velocidad y pendiente. No obstante dicho modelo debe de usarse sólo en los tramos considerados para el Río Las Pavas. Los valores obtenidos de coeficiente de determinación en los dos modelos propuestos fueron de 0,305 y 0,685 respectivamente calificados como regular y bueno.

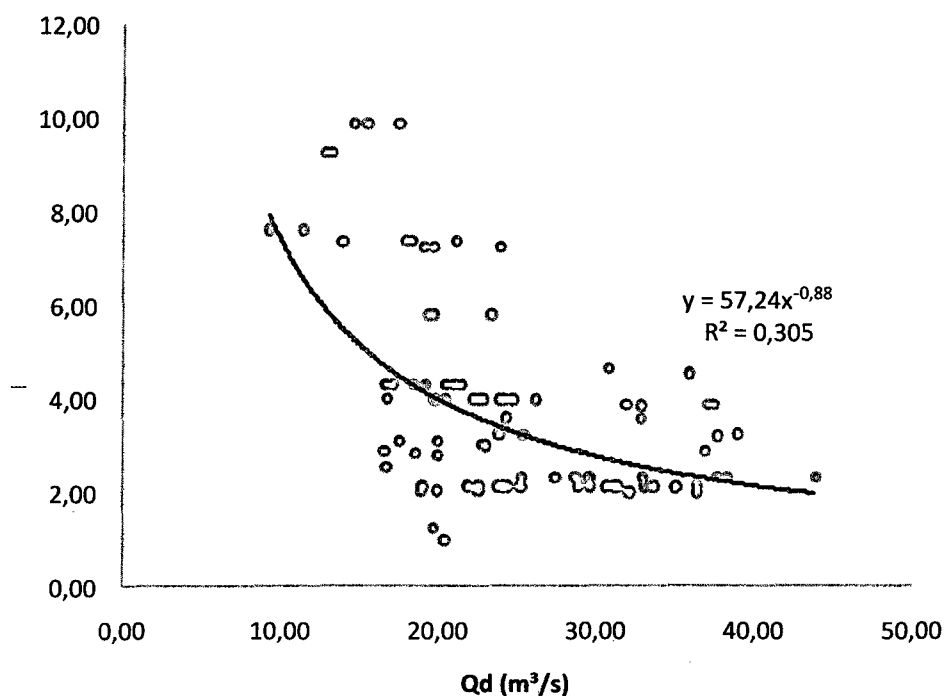


Figura 18. Modelo de régimen de cauce recomendado para la pendiente (%) en función del caudal dominante (m^3/s), del río Las Pavas.

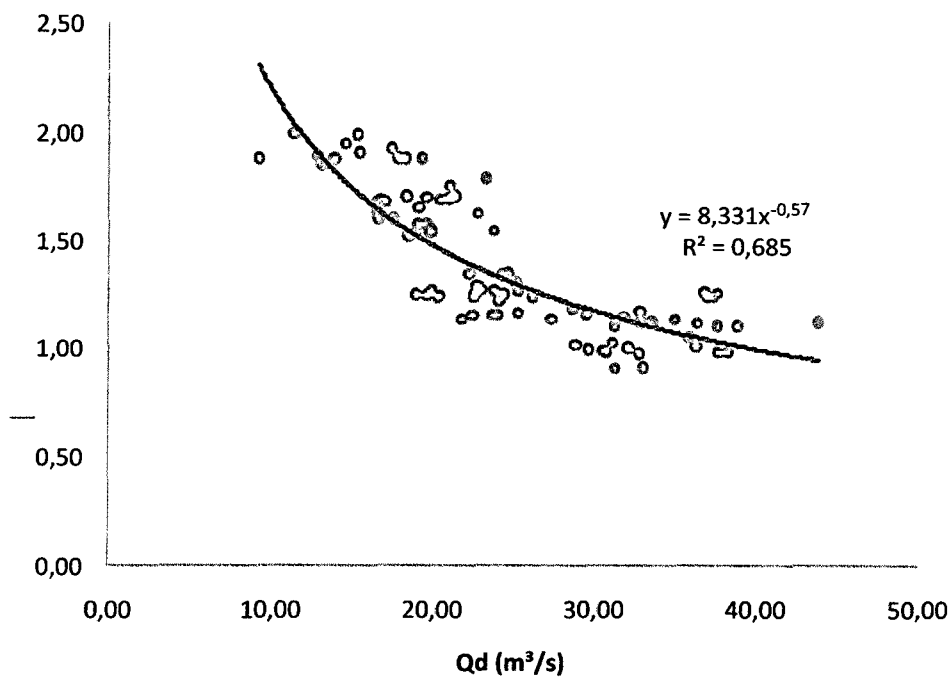


Figura 19. Modelo de régimen de cauce recomendado para la velocidad media (m/s) en función del caudal dominante (m^3/s), del río Las Pavas.

En el Cuadro 19, se muestra en resumen los modelos propuestos para relacionar los parámetros de régimen de equilibrio del río Las Pavas y estos son: Ancho, profundidad media, pendiente y velocidad media. A pesar de realizarse un análisis minucioso no se pudo ajustar los datos satisfactoriamente, ya que para los modelos de profundidad media y pendiente los valores del coeficiente de determinación fueron de 0,080 y 0,305 considerados con una bondad de ajuste del calificativo malo.

Cuadro 19. Modelos obtenidos mediante regresión potencial

Modelo	Variable dependiente	Ecuación obtenida	Coefficiente de determinación	Bondad de ajuste
Potencial	Ancho	$W = 0.166 * Q_d^{1.304}$	0.725	Bueno
Potencial	Profundidad media	$Y_m = 1.303 * Q_d^{0.159}$	0.080	Malo
Potencial	Pendiente	$S = 57.24 * Q_d^{-0.88}$	0.305	Malo
Potencial	Velocidad media	$V_m = 8.331 * Q_d^{-0.57}$	0.685	Bueno

Donde:

W: Ancho del río Las Pavas en cualquier punto del orden 3 (m).

Y_m: Profundidad media río Las Pavas en cualquier punto del orden 3 (m).

S: Pendiente del río Las Pavas en cualquier punto del orden 3 (m/m)

V_m: Velocidad media del río Las Pavas en cualquier punto del orden 3 (m/s).

4.7. Comparación de las características hidráulicas estudio vs régimen de cauce

Para poder determinar si el río Las Pavas podría considerarse que ha alcanzado un estado de equilibrio se procedió a realizar un análisis de varianza usando el diseño completo al azar (DCA), realizando el presente análisis y considerando una probabilidad de 0.05 se obtuvo una variación no significativa en cuanto a la comparación del ancho in situ vs el ancho determinado por método de Simons y Henderson (Cuadro 20).

Cuadro 20. Análisis de varianza para el ancho in situ (m) vs ancho de régimen de cauce (Met. Simons y Henderson) para el río Las Pavas.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Entre método	565,91	93	6,09	0,21	NS
Error	2690,43	94	28,62		
Total	3256,34	187			

En cuanto a la comparación del ancho medido in situ vs el ancho de régimen calculado por el método de Altunin y usando una significación de 0.05 de probabilidad, se encontró que existe una variación significativa, pues los valores de ancho generados por el presente modelo son extremos y no deberían considerarse para relacionar mediante el modelo generado en el presente estudio (Cuadro 21).

Cuadro 21. Análisis de varianza para el ancho in situ (m) vs ancho de régimen de cauce (Met. Biench o Altunin) para el río Las Pavas.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Entre método	17706,10	93	190,39	4,22	*
Error	4245,61	94	45,17		
Total	21951,71	187			

* = SIGNIFICATIVO

En cuanto a la comparación del ancho medido in situ vs el ancho de régimen calculado por el método de Lacey y usando una significación de 0.05 de probabilidad, se encontró que existe una variación significativa, pues los valores de ancho generados por el presente modelo son extremos y no deberían considerarse para relacionar mediante el modelo generado en el presente estudio (Cuadro 22).

Cuadro 22. Análisis de varianza para el ancho in situ (m) vs ancho de régimen de cauce (Met. de Lacey) para el río Las Pavas.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Entre método	7187,00	93	77,28	2,13	*
Error	3411,77	94	36,30		
Total	10598,78	187			

* = SIGNIFICATIVO

En cuanto a la comparación de la profundidad media medida en situ vs la profundidad media de régimen calculado por el método de Biench y Altunin, y usando una significación de 0,05 de probabilidad, se encontró que no existe una variación significativa, pues los valores de profundidad media generados por el presente modelo, podrían considerarse de que existe una similitud (Cuadro 23).

Cuadro 23. Análisis de varianza para la profundidad media in situ (m) vs profundidad media de régimen de cauce (Met. Biench o Altunin) para el río Las Pavas.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Entre método	44,99	93	0,48	3,09	NS
Error	14,71	94	0,16		
Total	59,70	187			

En cuanto a la comparación de la profundidad media medida en situ vs la profundidad media de régimen, calculado por el método de Lacey, y usando una significación de 0,05 de probabilidad, se encontró que existe una variación significativa, pues los valores de profundidad media generados por el presente modelo son extremos (Cuadro 24).

Cuadro 24. Análisis de varianza para la profundidad media in situ (m) vs profundidad media de régimen de cauce (Met. De Lacey) para el río Las Pavas.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Entre método	138,22	93	1,49	10,34	*
Error	13,51	94	0,14		
Total	151,74	187			

* = SIGNIFICATIVO

En cuanto a la comparación de la pendiente medida in situ vs la pendiente de régimen, calculado por el método de Altunin y usando una significación de 0,05 de probabilidad, se encontró que no existe una variación significativa, pues los valores de pendiente generados por el presente modelo, tienen una similitud con los valores determinados in situ (Cuadro 25).

Cuadro 25. Análisis de varianza para la pendiente (m/m) in situ (m) vs profundidad media de régimen de cauce (Met. Biench o Altunin) para el río Las Pavas.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Entre método	4120,27	93	44,30	0,34	NS
Error	12385,62	94	131,76		
Total	16505,89	187			

En cuanto a la comparación de la pendiente medida en situ vs la pendiente de régimen, calculado por el método de Lacey y usando una significación de 0,05 de probabilidad, se encontró que no existe una variación significativa, pues los valores de pendiente generados por el presente modelo tienen una similitud con los valores determinados in situ (Cuadro 26).

Cuadro 26. Análisis de varianza para la pendiente (m/m) in situ (m) vs profundidad media de régimen de cauce (Met. De Lacey) para el río Las Pavas.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Entre método	27,57	93	0,30	0,55	NS
Error	50,61	94	0,54		
Total	78,18	187			

Después de realizar el análisis respectivo se pudo llegar a establecer los valores de los parámetros hidráulico estables para el río Las Pavas el cual se muestra en el Cuadro 27.

Cuadro 27. Valores de los parámetros hidráulico estables para el río Las Pavas.

Tramo Nº	Anch.(m)	Y (m)	S (%)
1	23,11	2,29	2,52
2	21,69	2,25	2,82
3	18,31	2,13	3,79
4	18,92	2,15	3,58
5	18,03	2,12	3,89
6	17,06	2,08	4,30
7	16,04	2,04	4,79
8	17,09	2,08	4,28
9	17,47	2,10	4,12
10	18,05	2,12	3,89
11	15,98	2,04	4,80
12	15,69	2,03	4,97
13	14,38	1,97	5,78
14	12,55	1,89	7,33

Fuente: elaboración propia 2007

4.8. Comprobación de hipótesis

Comprobación de Hipótesis para la comparación de promedios

Ho: No existe igualdad de promedios de las características hidráulicas en estudio frente a las características de régimen de cauce.

Comprobación de Hipótesis para el análisis de regresión

Ho: No existe regresión lineal entre las variables hidráulicas ancho, pendiente, profundidad y velocidad vs el caudal dominante.

Planteo de Hipótesis para Diseño Completo al Azar (DCA)

Para las características hidráulicas:

Ha: Existen diferencias significativas entre las características hidráulicas del río Las Pavas de ancho en situ vs ancho de régimen por el método de Altunin y Biench-Lacey, más no frente al método de Simons y Henderson.

Ho: No existe diferencias significativas entre las características hidráulicas del río Las Pavas de profundidad media, tomadas en situ vs las calculadas para el régimen de su cauce mediante el método de Altunin, más si existe frente al método de Lacey.

Ho: No existe diferencias significativas entre las características hidráulicas del Río Las Pavas de pendiente, tomadas en situ vs las calculadas para el régimen de su cauce mediante el método de Altunin y Lacey.

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó las características morfológicas de la subcuenca río Las Pavas con un área de 63223,48 has. considerada como una subcuenca, un perímetro de 36,16 Km., una longitud de cauce principal de 10,35 Km., un alcance hasta el orden 3, un índice de forma de 0,676 indicando una tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa, el índice de compacidad indica una tendencia a concentrar grandes volúmenes de escurrimiento, también se obtuvo la densidad de drenaje 0,719 indicando una eficiencia de drenar el agua y por último se pudo determinar el tiempo de concentración con valor promedio de 1,33 horas calificado en el estudio como moderado.
2. Las características hidráulicas del río Las Pavas presentaron los siguientes valores de pendientes que van de 2,00 a 18,63 %, un ancho de cause con valores que van de 24,00 a 3,71 m, un perímetro mojado que va de 3,90 a 23.86 m, un área transversal de 4,12 a 31,20 m², un radio hidráulico con valores que van de 1,03 a 1,50 m, una velocidad media con valores que van 0,98 a los 3,24 m/s, una profundidad media que va de 1,50 a 3,22 m y un caudal dominante con valores que van desde los 9,25 a 43,86 m³/s.

3. Se obtuvo los modelos de relación de las variables de ancho, profundidad media, pendiente y velocidad, frente al caudal dominante el cual fue calculado mediante método directo; dichos modelos fueron los siguientes: $W = 0.166 * Q_d^{1.304}$, $Y_m = 1.303 * Q_d^{1.159}$, $S = 57.24 * Q_d^{-0.88}$ y $V_m = 8.331 * Q_d^{-0.57}$, respectivamente. Se entiende de que dichos modelos solo deben de ser usados para caracterizar al río Las Pavas, pues con ello servirá para la recuperación de los procesos fluviales.

VI. RECOMENDACIONES

1. En la determinación del caudal dominante debe de tomarse en cuenta la estación de invierno ya que para la determinación de dicha variable debe de analizarse en un periodo de retorno mínimo de 1.5 años, pues dicho valor es muy importante en las relaciones hidráulicas estudiadas.
2. Se recomienda realizar un análisis granulométrico más detallado, pues esta variable puede tomarse como el reflejo del deterioro de una cuenca.
3. Se debe realizar un estudio y análisis morfométrico de las demás microcuencas existentes en la provincia, ya que dichos estudios conllevan a su caracterización y así poder establecer las condiciones para la recuperación de los procesos fluviales así como ayudaría a la toma de decisiones en la priorización del manejo de cada una de las cuencas.

VII. ABSTRACT

They were carried out studies of characterization morfológica and hydraulics of the River The Pavas, in the district Mariano Damaso Beraúm, of the County of Leoncio Grassland, fundamentally with the purpose of determining the characteristic morphological and hydraulic and to find the conditions for the régime of bed.

The period of investigation you beginning in the month of June 2006 and I culminate in January 2007. Presently study was determined the hydraulic relationship that exists among its section, the width, its gradient and the flow that it drives; describing this way the conditions to achieve the Régime of Bed. Inside the following study one had to be worth of cartographic information digitized by means of the tool GIS, as well as the acquisition of the image satellite Lansat 2001, being proceeded to the unfolding of the digitized letters 19l, 20l, 19k and 20k of the region Huánuco. In the obtaining of the dominant flow you could not end up using a period of 1,5 year-old return in the series of annual maximum flows, therefore I take two approaches the first one of being the one that occupies the whole traverse section and the second defined for the one which the relationship width / depth is minimum. You could be able to outline three models developed in the study, that of Simons and Henderson, that of Altunin - Biench and that of Lacey.

The hydraulic characteristics of the River The Pavas presented the following values of slopes that go from 2.00 to 18,63%, a width of it cauces with values that they go from 24,00 to 3,71 m, a wet perimeter that you/they go from 3,90 to 23,86 m, a traverse area of 4,12 to 31,20 m², a hydraulic radius with values that they go from 1,03 to 1,50 m, a half speed with values that 0,98 go to the 3,24 m/s, a half depth that you/they go from 1,50 to 3,22 m and a dominant flow with values that they go from the 9,25 to 43,86 m³/s.

It was obtained the models of relationship of the variables of wide, half depth, slope and speed, in front of the dominant flow which was calculated by means of direct method; this models were the following ones:

$$W = 0,166 * Q_d^{1,304}, \quad Y_m = 1,303 * Q_d^{1,159},$$

$$S = 57,24 * Q_d^{-0,88} \quad y \quad V_m = 8,331 * Q_d^{-0,57}$$

Understands each other that alone this models should be used to characterize to the River the Pavas, because with it will be good it for the recovery of the processes fluviales respectivamente. He/she understands each other that alone this models should be used to characterize to the River The Pavas, because with it will be good it for the recovery of the fluvial processes.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELS M. F. 2005. Análisis de la Estabilidad del Cauce del Río Llobregat tras la Construcción de la Autovia del Baix Llobregat. [*En línea*] : Biblioteca, (http://biblioteca.universia.net/irARecurso.do?page=http%3A%2F%2Fbiblioteca.upc.es%2Fpfc%2Fmostrar_dades_PFC.asp%3Fid%3D41238&id=3906656, citado 22 nov. de 2006).
- CHAVEZ, R. 1994. Hidrología Para Ingenieros, 1ª edic. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 396 p.
- CHOW, V. 1994. Hidrología de Canales Abiertos, 2ª Edición. Editorial Nomos S.A. Bogotá, Colombia. 667p
- CHOW, V., MAIDMENT, D., MAYS, L. 1994. Manual de Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 584 p.
- FUENTES, J. J. 2004. Análisis Morfométrico de Cuencas. Caso de Estudio del Parque Nacional Pico de Tacitaro. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas – Instituto Nacional de Ecología. México [*En línea*] : INE, (http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/download/morfometria_pico_tancitaro.pdf. Citado 12 Ago. 2006).

- FARIAS, H. D. 2005. Geometría Hidráulica de Ríos de Llanura Enfoques Analíticos Considerando la Influencia de las Margenes. Segundo Simposio Regional Sobre Hidráulica de Ríos, Neuquen – Argentina 2 – 4 de Noviembre 2005. [En línea] : (http://southcone.iwrn.net/activity_vista.php?acttype=Proyectos&id=187 Citado el 12 Ago. de 2006).
- HOLDRIGE, L. R 1994. Guía explicativa del mapa ecológico del Perú. Cap. 1, Clasificación de las zonas de vida del mundo. Lima, Perú. 14 p.
- KESSLER, M. 2005, Apuntes de métodos estadísticos de la ingeniería, segundo de la ingeniería industrial. Departamento de Matemática Aplicada y Estadística. Universidad Politécnica de Cartagena [En Línea]: (<http://filemon.upct.es/~mathieu/metodos.html>. 15 Oct. 2006).
- LOPÉZ, 1992. Morfología Fluvial. Miliarium, Ingeniería civil y Medio Ambiente. [En línea] : (http://www.miliarium.com/Proyectos/RestauracionAmbiental/RestauracionRiberas/Geologia/Morfologia_fluvial.asp. Citado 12 nov. 2006).
- MANRIQUE DE LARA, L. 1996. Influencia de los tipos de Suelos en el Desarrollo de la Vegetación Nativa y Cultivada den la Cuenca del Río Las Pavas. Tesis para Optar el Grado de Magíster Escuela Postgrado de Cajamarca. Cajamarca, Perú. 115p.
- MANRIQUE DE LARA, L. 1999. Estudio de Suelos de la Microcuenca del Río Supte. Trabajo de investigación. Ediciones UNAS. Tingo María, Perú.
- PRIETO, B. C. 2002. El Agua. Sus Formas, Efectos, Abastecimiento, Usos, Daños, Control y Conservación. Primera Edición. Bogotá, Colombia. 474p.

ROCHA, A. 1998. Hidráulica Fluvial UNI.FIC. Lima, Perú.

SCHRODER, W. 1994. Regularización y Control de Ríos. Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria. Universidad de Piura. Piura, Perú.

SANCHEZ, A. 2003. Diagnostico Hidrológico de Suelos de la Cuenca del Río Supte. Tesis para Optar el Grado de Magíster Escuela Postgrado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria, Perú. 115p.

TÉMEZ, J. 1978. Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111p.

VASQUEZ, A. 2001. Manejo de Cuencas Alto andinas". Tomo II 2ª Edición. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 670p.

VARGAS, C. Y. 1997. Evaluaciones de Impactos Ambientales en Ecosistemas del Trópico Húmedo – Cuenca del Río Tulumayo – Zona Tingo Maria, Tesis para obtener el grado de Magíster en la Universidad de Huancayo, Perú. 117p.

VILLON, B. M. 2002. Hidrología. 2ª Edición. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Editorial Villon. Facultad de Ingeniería Agrícola. Lima, Perú.

IX. ANEXO

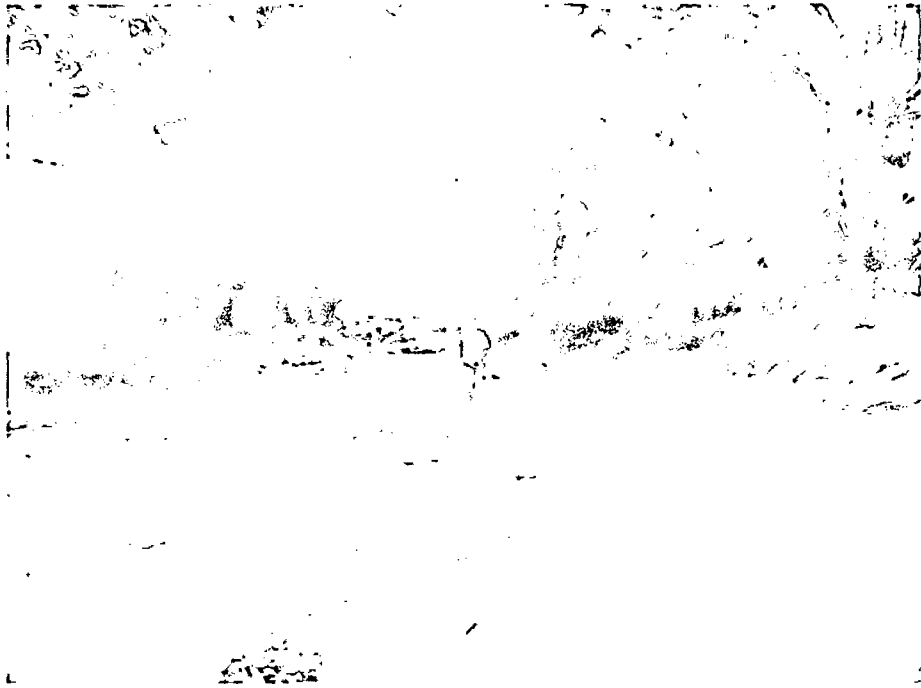
ANEXO A. Fotos

Figura 20. Método de seccionamiento del Río Las Pavas

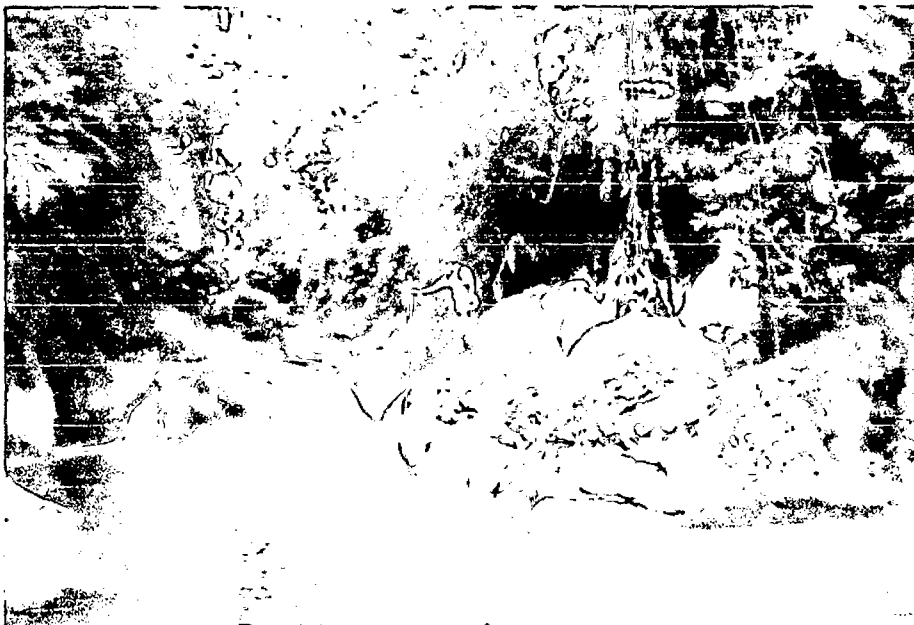


Figura 21. Tramo estrecho de alta pendiente entre las cotas 800.00 – 840.00 m.s.n.m.

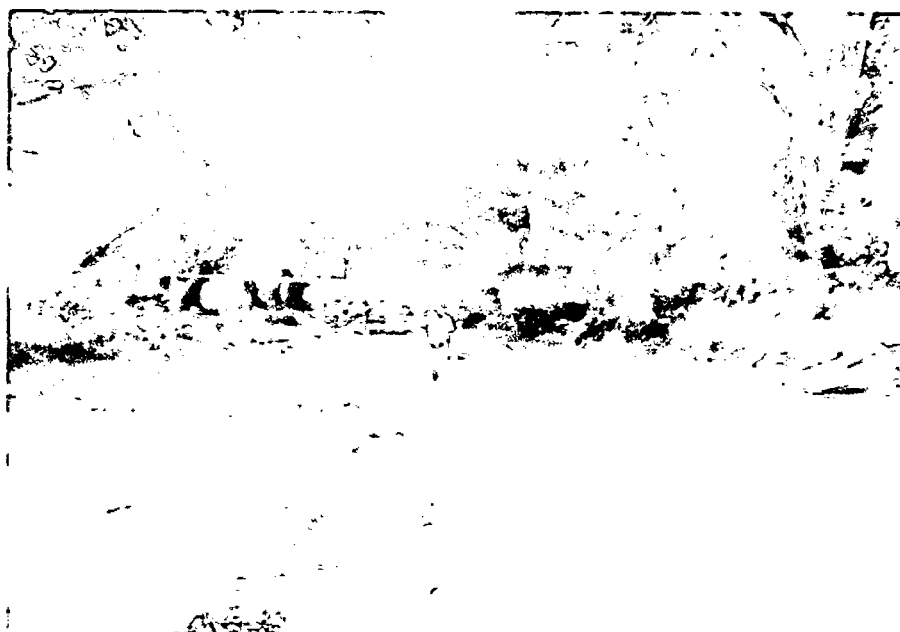


Figura 22. Seccionamiento del cauce entre las cotas 1000.00 – 1040.00 m.s.n.m.



Figura 23. Tramo estrecho de alta pendiente entre las cotas 1000.00 – 1040.00 m.s.n.m.



Figura 24. Tramo 2 entre las cotas 1000.00 – 1040.00 m.s.n.m.



Figura 25. Tramo 1 entre las cotas 1000.00 – 1040.00 m.s.n.m.

Anexo B. Cuadros

Cuadro 28. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 1 entre las cotas 665 – 720 m.s.n.m.

Nº Sec.	Anch. (m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc.	
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.			Media (m/s)	Y (m)
1	23,30	22,73	30,12	1,33	0,030	0,060	0,030	0,040	2,33	1,69	2,40
2	23,50	22,34	31,20	1,40	0,045	0,060	0,045	0,050	2,33	1,75	2,50
3	24,00	23,86	29,59	1,24	0,045	0,060	0,045	0,050	3,25	1,91	2,70
4	15,03	15,67	22,68	1,45	0,045	0,055	0,045	0,048	3,87	2,31	2,00
5	13,54	14,59	21,35	1,46	0,050	0,055	0,050	0,052	4,54	2,52	2,00
6	17,47	19,47	21,28	1,09	0,045	0,060	0,045	0,050	4,65	2,10	1,20
7	14,78	16,30	21,79	1,34	0,050	0,060	0,045	0,052	3,87	2,19	1,80
8	23,30	21,78	27,51	1,26	0,045	0,055	0,045	0,048	3,21	1,92	2,47
9	19,23	17,13	24,78	1,45	0,030	0,060	0,030	0,040	2,33	1,79	2,00
10	19,24	16,31	21,71	1,33	0,030	0,055	0,030	0,038	2,89	1,89	2,10
11	18,54	15,38	23,52	1,53	0,030	0,060	0,030	0,040	2,33	1,86	2,52
12	17,50	13,36	18,42	1,38	0,030	0,055	0,030	0,038	3,87	2,24	2,36
13	14,11	14,22	17,14	1,21	0,030	0,050	0,030	0,037	3,85	2,04	1,70
14	12,32	18,20	21,35	1,17	0,030	0,060	0,030	0,040	2,33	1,56	1,81
15	17,20	18,15	22,59	1,24	0,030	0,055	0,030	0,038	2,33	1,62	2,65
16	16,36	15,65	20,48	1,31	0,030	0,060	0,030	0,040	2,33	1,67	1,73
17	16,39	12,54	16,64	1,33	0,030	0,055	0,030	0,038	2,33	1,69	2,12
18	15,50	14,65	21,38	1,46	0,030	0,055	0,030	0,038	2,00	1,67	3,13
Promed.	17,85	17,35	22,97	1,33	0,04	0,06	0,04	0,04	3,04	1,91	2,18
Desvest.	3,63	3,41	4,21	0,12	0,01	0,00	0,01	0,01	0,87	0,27	0,46
CV	20,36	19,64	18,34	8,64	22,99	5,38	22,05	13,12	28,57	14,07	21,00

Cuadro 29. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 2 entre las cotas 720 – 760 m.s.n.m.

Nº Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R radio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc.	
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.			Media (m/s)	Y (m)
19	15,01	15,95	18,70	1,17	0,030	0,050	0,030	0,037	2,33	1,56	2,59

20	16,91	18,25	20,37	1,12	0,030	0,060	0,030	0,040	3,57	1,87	3,23
21	12,89	16,16	21,35	1,32	0,030	0,060	0,030	0,040	2,13	1,61	3,04
22	15,21	15,30	20,76	1,36	0,030	0,055	0,030	0,038	2,13	1,64	2,49
23	14,80	16,23	22,03	1,36	0,030	0,060	0,030	0,040	2,13	1,64	2,01
24	13,50	14,85	23,75	1,60	0,030	0,060	0,030	0,040	2,00	1,77	2,17
25	14,02	17,02	22,54	1,32	0,030	0,060	0,030	0,040	2,13	1,61	2,25
26	13,54	15,57	23,79	1,53	0,030	0,060	0,030	0,040	2,13	1,77	2,50
27	12,61	16,11	22,03	1,37	0,030	0,060	0,030	0,040	2,13	1,65	2,85
28	14,52	13,71	19,68	1,43	0,030	0,060	0,030	0,040	2,13	1,70	2,87
29	14,41	21,44	24,87	1,16	0,030	0,055	0,030	0,038	2,13	1,48	2,46
30	14,85	19,73	23,67	1,20	0,030	0,050	0,030	0,037	2,13	1,51	1,99
31	13,93	14,08	21,21	1,51	0,030	0,050	0,030	0,037	2,13	1,76	2,18
32	13,35	12,32	16,50	1,34	0,030	0,050	0,030	0,037	2,13	1,62	1,95
33	13,23	11,99	16,30	1,36	0,030	0,055	0,030	0,038	2,13	1,64	1,85
34	13,23	12,30	15,90	1,29	0,030	0,050	0,030	0,037	2,13	1,59	2,12
Promed.	14,13	15,69	20,84	1,34	0,03	0,06	0,03	0,04	2,22	1,65	2,41
Desvest.	1,09	2,61	2,80	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,10	0,42
CV	7,71	16,65	13,44	10,08	0,00	8,14	0,00	3,93	16,47	6,21	17,33

Cuadro 30. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 3 entre las cotas 760 – 800 m.s.n.m.

N° Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc.	
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.			Media (m/s)	Y (m)
35	13,23	10,60	15,30	1,44	0,030	0,060	0,030	0,040	2,13	1,71	2,57
36	13,60	13,50	16,55	1,23	0,030	0,060	0,030	0,040	2,13	1,53	2,15
37	13,60	12,54	16,30	1,30	0,030	0,050	0,030	0,037	2,13	1,59	2,78
38	12,59	11,00	13,34	1,21	0,030	0,050	0,030	0,037	3,02	1,81	1,70
39	13,58	11,23	13,40	1,19	0,030	0,050	0,030	0,037	2,13	1,50	2,48
40	14,58	15,24	19,81	1,30	0,030	0,050	0,030	0,037	1,00	1,09	2,70
41	14,21	14,52	17,78	1,22	0,030	0,050	0,030	0,037	1,25	1,18	2,12
42	14,56	15,23	17,03	1,12	0,030	0,050	0,030	0,037	2,03	1,36	2,23
43	12,60	11,98	12,57	1,05	0,030	0,060	0,030	0,040	3,97	1,82	2,24
44	10,89	10,52	11,68	1,11	0,030	0,060	0,030	0,040	3,97	1,89	1,85
45	10,35	10,52	12,68	1,21	0,030	0,060	0,030	0,040	3,97	2,00	2,54
46	10,45	12,20	15,24	1,25	0,030	0,060	0,030	0,040	2,04	1,47	2,21
47	11,36	12,34	14,04	1,14	0,030	0,060	0,030	0,040	3,97	1,92	2,10
48	11,56	12,58	14,87	1,18	0,030	0,060	0,030	0,040	3,97	1,97	2,21

Promed.	12,65	12,43	15,04	1,21	0,03	0,06	0,03	0,04	2,69	1,63	2,28
Desvest.	1,49	1,66	2,28	0,10	0,00	0,01	0,00	0,00	1,09	0,29	0,31
CV	11,78	13,33	15,18	8,04	0,00	9,22	0,00	4,44	40,36	17,87	13,48

Cuadro 31. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 4 entre las cotas 800 – 840 m.s.n.m.

N° Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc.	
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.			Media (m/s)	Y (m)
49	10,57	13,78	14,23	1,03	0,030	0,055	0,030	0,038	3,97	1,80	2,25
50	10,50	11,23	13,59	1,21	0,030	0,050	0,030	0,037	2,99	1,74	2,59
51	10,40	11,59	13,26	1,14	0,030	0,060	0,030	0,040	3,97	1,93	1,87
52	11,59	13,26	15,24	1,15	0,030	0,060	0,030	0,040	3,25	1,75	1,89
53	12,58	13,25	15,02	1,13	0,030	0,050	0,030	0,037	3,24	1,73	1,84
54	11,98	10,54	12,70	1,21	0,030	0,050	0,030	0,037	3,97	2,00	2,17
55	10,58	11,52	12,36	1,07	0,030	0,050	0,030	0,037	3,97	1,85	2,14
56	9,48	10,58	12,98	1,23	0,030	0,050	0,030	0,037	3,59	1,92	2,48
57	6,32	7,89	9,25	1,17	0,030	0,050	0,030	0,037	7,22	2,65	2,12
58	5,98	6,57	7,51	1,14	0,030	0,050	0,030	0,037	7,22	2,60	2,15
Promed.	10,00	11,02	12,61	1,15	0,03	0,05	0,03	0,04	4,34	2,00	2,15
Desvest.	2,21	2,32	2,45	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56	0,34	0,25
CV	22,15	21,01	19,45	5,28	0,00	8,09	0,00	3,78	36,00	17,15	11,53

Cuadro 32. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 5 entre las cotas 840 – 880 m.s.n.m.

N° Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc.	
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.			Media (m/s)	Y (m)
59	7,12	6,41	7,58	1,18	0,030	0,050	0,030	0,037	7,22	2,66	2,90
60	6,36	7,02	7,12	1,01	0,030	0,050	0,030	0,037	16,54	3,64	2,55
61	5,35	4,58	4,78	1,04	0,030	0,050	0,030	0,037	18,63	3,93	2,55
62	5,37	4,65	5,02	1,08	0,030	0,055	0,030	0,038	18,63	4,03	2,59

63	5,34	5,08	5,76	1,13	0,030	0,060	0,030	0,040	18,63	4,16	1,89
64	6,12	6,54	6,83	1,04	0,030	0,060	0,030	0,040	18,63	3,93	1,87
Promed.	5,94	5,71	6,18	1,08	0,03	0,05	0,03	0,04	16,38	3,72	2,39
Desvest.	0,73	1,07	1,16	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	4,57	0,55	0,42
CV	12,21	18,70	18,80	5,90	0,00	9,08	0,00	4,31	27,87	14,72	17,41

Cuadro 33. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 6 entre las cotas 880 – 920 m.s.n.m.

Nº Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc.	
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.			Media (m/s)	Y (m)
65	9,23	10,48	12,62	1,20	0,030	0,060	0,030	0,040	3,11	1,77	1,55
66	9,10	11,24	13,61	1,21	0,030	0,050	0,030	0,037	2,01	1,43	2,21
67	10,23	12,58	13,35	1,06	0,030	0,060	0,030	0,040	2,85	1,55	1,84
68	8,59	10,23	12,26	1,20	0,030	0,050	0,030	0,037	2,78	1,67	1,78
69	7,89	7,54	10,25	1,36	0,030	0,060	0,030	0,040	3,11	1,92	2,13
Promed.	9,01	10,41	12,42	1,21	0,03	0,06	0,03	0,04	2,77	1,67	1,90
Desvest.	0,86	1,85	1,33	0,11	0,00	0,01	0,00	0,00	0,45	0,19	0,27
CV	9,58	17,75	10,69	8,75	0,00	9,78	0,00	4,72	16,24	11,33	14,20

Cuadro 34. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 7 entre las cotas 920 – 960 m.s.n.m.

Nº Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc.	
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.			Media (m/s)	Y (m)
70	8,60	9,42	11,55	1,23	0,030	0,060	0,030	0,040	2,54	1,62	2,19
71	8,00	7,98	10,37	1,30	0,030	0,060	0,030	0,040	2,87	1,79	2,10
72	8,78	9,21	10,02	1,09	0,030	0,060	0,030	0,040	4,01	1,88	1,87
73	8,17	9,98	10,24	1,03	0,030	0,060	0,030	0,040	4,31	1,87	1,89
Promed.	8,39	9,15	10,55	1,16	0,03	0,06	0,03	0,04	3,43	1,79	2,01
Desvest.	0,36	0,84	0,68	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,12	0,16
CV	4,32	9,21	6,48	10,78	0,00	0,00	0,00	0,00	25,01	6,77	7,78

Cuadro 35. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 8 entre las cotas 960 – 1000 m.s.n.m.

N° Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	S (%)	Veloc. Media (m/s)	Y (m)
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.					
74	7,12	9,06	10,54	1,16	0,030	0,060	0,030	0,040	4,31	2,03	1,90	
75	7,04	8,54	8,98	1,05	0,030	0,050	0,030	0,037	4,31	1,90	1,66	
76	9,24	11,28	12,00	1,06	0,030	0,055	0,030	0,038	4,31	1,92	2,00	
Promed.	7,80	9,63	10,51	1,09	0,03	0,06	0,03	0,04	4,31	1,95	1,85	
Desvest.	1,25	1,45	1,51	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,17	
CV	16,03	15,10	14,38	5,65	0,00	9,09	0,00	4,35	0,00	3,75	9,43	

Cuadro 36. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 9 entre las cotas 1000 – 1040 m.s.n.m.

N° Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	S (%)	Veloc. Media (m/s)	Y (m)
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.					
77	8,20	10,20	10,52	1,03	0,030	0,055	0,030	0,038	4,31	1,88	1,66	
78	8,05	11,07	11,59	1,05	0,030	0,055	0,030	0,038	4,31	1,90	2,44	
79	7,02	11,34	11,89	1,05	0,030	0,055	0,030	0,038	4,31	1,90	2,42	
80	7,00	8,87	9,23	1,04	0,030	0,050	0,030	0,037	5,78	2,19	2,24	
Promed.	7,57	10,37	10,81	1,04	0,03	0,05	0,03	0,04	4,68	1,96	2,19	
Desvest.	0,65	1,11	1,21	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	0,15	0,37	
CV	8,54	10,72	11,15	0,77	0,00	4,65	0,00	2,20	15,70	7,57	16,74	

Cuadro 46. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 10 entre las cotas 1040 – 1080 m.s.n.m.

N° Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	S (%)	Veloc. Media (m/s)	Y (m)
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.					
81	7,44	10,34	10,87	1,05	0,030	0,050	0,030	0,037	5,78	2,20	2,73	

82	6,12	8,28	8,90	1,07	0,030	0,050	0,030	0,037	5,78	2,23	2,00
83	6,69	9,00	9,00	1,00	0,030	0,050	0,030	0,037	7,36	2,40	2,00
Promed.	6,75	9,21	9,59	1,04	0,03	0,05	0,03	0,04	6,31	2,28	2,24
Desvest.	0,66	1,05	1,11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,11	0,42
CV	9,81	11,37	11,58	3,62	0,00	0,00	0,00	0,00	14,46	4,77	18,86

Cuadro 38. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 11 entre las cotas 1080 – 1120 m.s.n.m.

Nº Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R radio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc. Media (m/s)	Y (m)
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.				
84	5,40	7,19	7,56	1,05	0,030	0,050	0,030	0,037	7,36	2,48	2,00
85	5,10	6,90	7,54	1,09	0,030	0,055	0,030	0,038	7,36	2,55	2,20
86	4,20	5,30	5,98	1,13	0,030	0,060	0,030	0,040	7,36	2,60	2,23
Promed.	4,90	6,46	7,03	1,09	0,03	0,06	0,03	0,04	7,36	2,55	2,14
Desvest.	0,62	1,02	0,91	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,13
CV	12,72	15,75	12,92	3,51	0,00	9,09	0,00	4,35	0,00	2,34	5,83

Cuadro 39. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 12 entre las cotas 1120 – 1160 m.s.n.m.

Nº Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R radio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc. Media (m/s)	Y (m)
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.				
87	4,70	5,10	5,87	1,15	0,030	0,050	0,030	0,037	9,84	3,05	1,59
88	5,00	5,30	5,81	1,10	0,030	0,060	0,030	0,040	9,84	2,95	1,58
89	4,60	5,20	5,80	1,12	0,030	0,060	0,030	0,040	9,84	2,99	1,67
Promed.	4,77	5,20	5,83	1,12	0,03	0,06	0,03	0,04	9,84	3,00	1,61
Desvest.	0,21	0,10	0,04	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05
CV	4,37	1,92	0,69	2,51	0,00	10,19	0,00	4,95	0,00	1,67	3,06

Cuadro 40. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 13 entre las cotas 1160 – 1200 m.s.n.m.

N° Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc. Media (m/s)	Y (m)
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.				
90	3,85	4,46	5,00	1,12	0,030	0,050	0,030	0,037	9,84	3,00	1,87
91	3,95	4,49	4,98	1,11	0,030	0,060	0,030	0,040	9,24	2,88	1,92
92	3,66	4,32	4,98	1,15	0,030	0,060	0,030	0,040	9,24	2,96	2,10
Promed.	3,82	4,42	4,99	1,13	0,03	0,06	0,03	0,04	9,44	2,95	1,96
Desvest.	0,15	0,09	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,35	0,06	0,12
CV	3,89	2,05	0,23	1,99	0,00	10,19	0,00	4,95	3,66	1,99	6,16

Cuadro 41. Características hidráulicas del río Las Pavas tramo 14 entre las cotas 1200 – 1240 m.s.n.m.

N° Sec.	Anch.(m)	Perim. Mojado (m)	Área (m ²)	R adio H.	Rugos. Maning.			Rug. Manning	S (%)	Veloc. Media (m/s)	Y (m)
					Orilla 1.	Fondo	Orilla 2.				
93	3,56	3,90	4,42	1,13	0,030	0,050	0,030	0,037	7,59	2,65	2,10
94	3,71	3,94	4,12	1,05	0,030	0,060	0,030	0,040	7,59	2,51	1,98
Promed.	3,63	3,92	4,27	1,09	0,03	0,06	0,03	0,04	7,59	2,58	2,04
Desvest.	0,11	0,03	0,21	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,10	0,08
CV	3,06	0,76	4,93	5,69	0,00	12,86	0,00	6,15	0,00	3,79	4,16

Valores aproximados de Fs (Factor de orilla)

Tipo de Orilla	Valor de Fs
Orilla de barro y arena	0.1
Orilla de barro - arcilla - fangosa	0.2
Orilla de material muy cohesivo	0.3

Fuente: Vasquez A. (2000).

Valores para K1 (Ec., Simons y Henderson)

Condiciones de fondo de Río	K1
Fondo y orillas de arena	5.7
Fondo de arena y orillas y material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orillas de grava	2.9
Fondo de arena y orillas de material cohesivo	2.8

Fuente: Vasquez A. (2000)

Valores para Ks (Ec., Manning S.)

Descripción	Ks
Lechos naturales de río con fondo sólido sin irregularidades	40
Lechos naturales de río con acarreo irregular	33 - 35
Lechos naturales de río con vegetación	30 - 35
Lechos naturales de río con derrubio e irregularidades	30
Lechos naturales de río con fuerte transporte de acarreo	28
Torrentes con derrubios gruesos (piedra de tamaño de una cabeza) con acarreo inmóvil	25 - 28
Torrente con derrubio grueso, con acarreo móvil	19 - 22

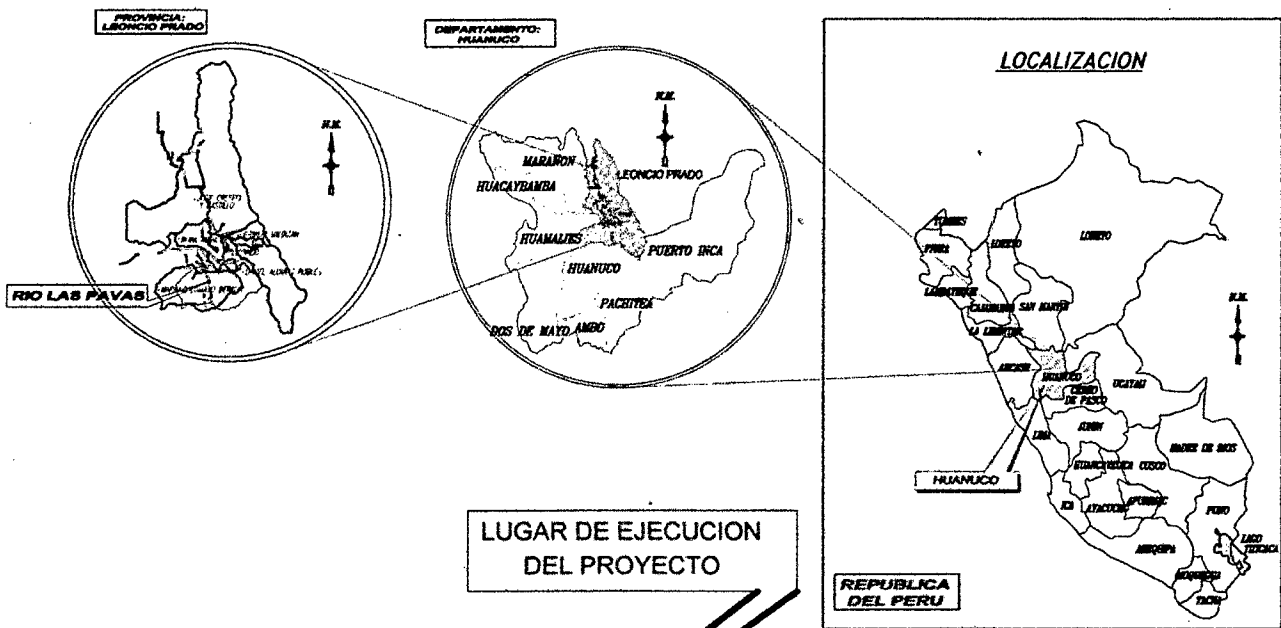
Fuente: Vasquez A. (2000)

Cuadro42. Resumen del significado de los parámetros morfométricos.

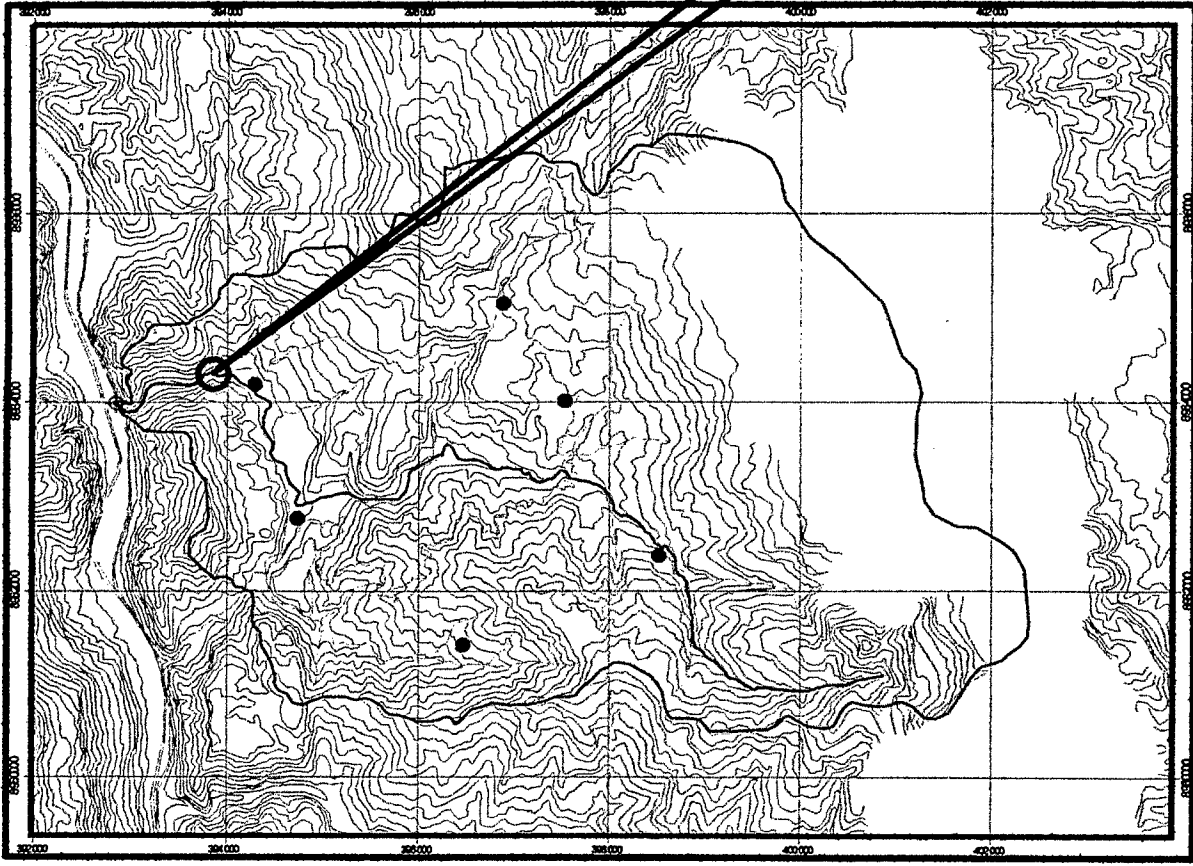
Morfometría	Significado Morfométrico
Longitud del cauce principal (km):	A mayor longitud, mayor T_c . Está influido por la pendiente.
Elevación media (msnm):	Distribución espacial del escurrimiento y distribución térmica.
Área (km ²):	Tamaño relativo, a menor tamaño, menor capacidad de coleccionar agua y menor volumen de ésta. Se correlaciona directamente con su longitud e inversamente con la densidad de drenaje.
Desnivel (m):	Variación altitudinal, si es mayor hay más variedad climática y ecológica.
Coef. de forma (Kf):	Grado de achatamiento. Valores altos indican tendencia a la concentración de aguas (formación de crecidas).
Coef. de compacidad (Kc):	Grado de circularidad. Valores cercanos a 1 indican tendencia a concentrar mayor volumen de escurrimiento.
Coef. de alargamiento (Li):	Valores cercanos a 1 corresponde a ríos cortos y por tanto, con mejor respuesta a las lluvias.
Coef. de masividad (Km):	Una cuenca montañosa implica mayor energía y mayor precipitación en general.
Orden:	Es el valor de la red de drenaje. Indica el grado de estructura que tiene. Un mayor orden indica mayor energía y mayor control estructural y en general, mayor erosión.
Densidad de drenaje (km/km ²):	Valores altos indican mayor eficiencia de transporte y mayor velocidad de transporte.
Número de escurrimientos:	A mayor número mayor capacidad de coleccionar agua y mayor erosión.
Pendiente del cauce principal:	A mayor pendiente mayor velocidad de desplazamiento del agua, menor tiempo de concentración y menor infiltración.
Tiempo de concentración (T_c):	A mayor tiempo, mayor volumen de agua. También puede indicar un mayor escurrimiento.
Población:	A mayor cantidad menor disponibilidad de agua y mayor presión sobre el recurso.
Disponibilidad de agua:	Cantidad de agua disponible por cuenca en base a la población.

Fuente: FUENTES (2004)

Anexo C. planos



LUGAR DE EJECUCION DEL PROYECTO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA			
Tingo María			
Proyecto: CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E HIDRÁULICAS DEL RÍO LAS PAVAS			
Plano: UBICACION Y LOCALIZACION			Lámina N°: U - 01
Ubicación: Departamento : HUANUCO Provincia : LEONCIO PRADO Distrito : MARIANO DAMASO V			
REVISADO POR: CHAVEZ ACEXSIO R.	ALUMNO: CARRANZA JARA, DAVID.	Escala: 1:100 000	Fecha: MAYO - 2005