



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

**La Universidad Católica de Loja**

## **TITULACIÓN INGENIERÍA CIVIL**

**“Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en la  
Cuenca El Limón, en el Río Zamora”**

Trabajo de titulación.

**AUTORA:** Sarango Calva Cinthya Stefannya

**DIRECTOR:** Oñate Valdivieso Fernando Rodrigo, Ph.D.

**LOJA – ECUADOR**

**2013**

# CERTIFICACIÓN

PhD. Fernando Oñate Valdivieso

**Docente de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja,**

## **CERTIFICA:**

Que el presente trabajo de fin de carrera desarrollado para obtener el título de Ingeniero Civil, titulado: **“CALIBRACIÓN DE UNA ECUACIÓN PARA EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA EL LIMÓN, EN EL RIO ZAMORA**, realizado por la señorita Cinthya Stefannya Sarango Calva, ha sido elaborado bajo mi dirección y minuciosamente supervisado y revisado, por lo que autorizo, su presentación a la Escuela de Ingeniería Civil.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

---

PhD. Fernando Oñate Valdivieso

**DIRECTOR DE TESIS**

## **CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO**

Yo, Cinthya Stefannya Sarango Calva declaro ser el autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textual dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de titulación que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad".

---

Cinthya S. Sarango C.

## DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio y de mi vida.

A mis queridos padres, quienes con su esfuerzo, amor y sacrificio supieron guiarme y apoyarme en todos los momentos de mi vida y además de ser mi ejemplo de principios y valores morales.

A mis queridos hermanos, por ser mi gran compañía desde pequeña, por su cariño y cuidado; donde siempre me decían sigue adelante en tus metas.

A todos mis queridos amigos que siempre han estado a mi lado animándome y a todas las personas que muy cariñosamente me ayudaron a la realización de este trabajo, especialmente a Carlos por su apoyo incondicional.

*Cinthy S. Sarango C.*

## **AGRADECIMIENTO**

Mi eterno agradecimiento es para ti, Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Mis queridos padres Angel y Mercedes, y a mis hermanos gracias por su apoyo y gran amor.

Y muy especialmente al Doctor Fernando Oñate director de este trabajo por su paciencia, conocimiento, ayuda constante y aportes académicos, gracias de todo corazón, Diosito lo bendiga.

***Cinthy S. Sarango C***

# INDICE

<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO</b>	<b>1</b>
1. Introducción.	2
1.1 Justificación.	3
1.2 Alcance.	3
1.3 Objetivos.	4
1.4 Objetivo General.	4
1.5 Objetivo Específico.	4
<b>MATERIALES Y METODOLOGÍA EMPLEADA</b>	<b>6</b>
2.1 Ubicación y relieve.	7
2.2 Cobertura vegetal.	9
2.3 Análisis Morfométrico de la microcuenca en Limón.	9
2.4 Transporte de Sedimentos.	11
2.5 Formas Transporte.	12
2.6 Notación.	14
2.7 Propiedades de los Sedimentos.	15
2.8 Densidad Relativa de las partículas.	17
2.9 Distribución del transporte de sedimentos.	18
2.10 Estimación del Transporte de Sedimentos.	18
2.11 Aforo mediante el Método del Molinete.	21
2.12 Estimación de los Sedimentos en Laboratorio.	23
2.13 Curva de Descarga.	23
2.14 Parámetros de Validación.	26
2.15 Ecuaciones para calcular el Transporte de Fondo.	27

2.16 Regresión Lineal.	39
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>41</b>
3. Curva de Descarga.	42
3.1 Validación de la Curva de Descarga.	43
3.2 Datos Geométricos e Hidráulicos.	46
3.3 Transporte de Fondo en Sitio.	47
3.4 Regresión Simple.	49
3.5 Regresión Múltiple.	56
3.6 Parámetros de Validación.	59
3.7 Comparación entre el Sedimento de campo y calculado en función de la Velocidad y Gasto Líquido.	61
3.8 Transporte de Sedimento de Fondo, determinadas por Ecuaciones de diferentes Autores.	62
<b>CONCLUSIONES Y</b>	<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	
4.1 Conclusiones.	67
4.2 Recomendaciones.	68
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>71</b>

## SIGNIFICADO DE LAS VARIABLES:

$g_B$  : Transporte unitario de sedimentos de fondo, en Kgf/s.m

$g_{BT}$  : Transporte unitario total de sedimentos del fondo, en Kgf/s.m

$b$  : Ancho del río.

$\gamma_s$  : Peso específico de la partícula en Kgf/m<sup>3</sup>

$\tau^*$  : Número adimensional de Shields.

$\gamma$  : Peso específico del agua, en Kgf/m<sup>3</sup>

$D$  : Diámetro de la partícula en m.

$D_{m\acute{a}x}$ : Diámetro máximo de las partículas del fondo, en m.

$D^*$  : Número adimensional de la partículas.

$g$  : Aceleración debida a la gravedad en m/s<sup>2</sup>

$\Delta$  : Densidad relativa de las partículas sumergidas.

$d$  : Profundidad del flujo en m.

$d_m$ : Profundidad media del flujo en m.

$n$  : Coeficiente de rugosidad de Manning.

$n'$  : Coeficiente de rugosidad según Manning asociado a partículas.

$q$ : Gasto unitario líquido, en m<sup>3</sup>/s.m.

$S$ : Pendiente de la pérdida de carga.

$U$ : Velocidad media de la corriente, en m/s

$U_c$ : Velocidad crítica de las partículas, en m/s

$U^*$  : Velocidad de cortante en m/s

$\nu$  : Viscosidad cinemática del agua en m<sup>2</sup>/s

$\sigma_g$  : Desviación estándar geométrica de los tamaños de las partículas.

$D_m$ : Diámetro medio del conjunto de partículas en m.

$D_i$ : Diámetro de las partículas tal que el  $i\%$  de la muestra es menor que en tamaño en m.

$F_1$ : Coeficiente de Rubey que se utiliza en su fórmula para evaluar la velocidad de caída.

$w$  : Velocidad de caída de las partículas en m/s.

$w_m$  : Velocidad de caída de las partículas correspondiente al  $D_m$ , en m/s.

$V_c$  : Velocidad crítica en m/s

$\tau_0$  : Esfuerzo cortante que el flujo ejerce en el fondo en Kgf/m<sup>2</sup>,

$\tau_c$  : Esfuerzo cortante crítico en el fondo, necesario para iniciar el movimiento de las Partículas.

$\tau^*_c$  : Número adimensional de Shields para condición crítica. Se obtiene de la relación propuesta por Maza.



## **RESUMEN**

El presente proyecto de investigación enfoca un estudio para calibrar la ecuación particular en la Cuenca El Limón, en el sector del río Zamora.

Para la presente investigación se consideraron variables importantes como área hidráulica, pendiente, caudal máximo, velocidad, profundidad de la corriente, radio hidráulico, diámetros; aplicando el aforo con Molinete para determinar el caudal, y colocando muestreadores (canastillas metálicas) donde se estudió el material de arrastre mediante ensayos de laboratorio, asimismo se realizó la topografía del lugar para determinar parámetros hidráulicos importante para el estudio del sedimento, y la aplicación de métodos para calcular el transporte de fondo de sedimentos, de diferentes autores.

De las distintas ecuaciones que se utilizan para el cálculo de sedimentos, se aplicó el software Laboratorio Virtual de Hidrología; Hydrovlab, para finalmente efectuar un análisis de correlación entre sedimento capturado y las características del sedimento de la cuenca y de la sección, por medio de regresión simple y regresión múltiple, donde finalmente se determinó la ecuación particular determinada y que cumple con los parámetros de validación para la cuenca El Limón del río Zamora.



## **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO**



## **1. Introducción**

Las grandes estructuras hidráulicas, exigen una evaluación previa de su factibilidad técnica y económica, dadas las grandes sumas de dinero que se debe invertir en ellas, a más del carácter de endeudamiento externo que estas inversiones conllevan.

Con base en esta exigencia, el análisis del TRANSPORTE DE SEDIMENTOS de los ríos y hoyas hidrológicas, ha adquirido una importancia capital, pues determina en gran medida la vida económica de las obras.

Esta complejidad hace que el problema del transporte de sedimentos sea imposible de resolver por la aplicación simple de la teoría de la mecánica de los fluidos.

La presencia de partículas en el flujo altera el comportamiento hidráulico muchas veces motivado por la presencia de elementos artificiales, como son apoyos de puentes o estructuras hidráulicas, que hacen que se rompa el equilibrio del flujo. (Maza, 1996)

El estudio de Transporte de Sedimentos es importante porque permite comprender cualitativamente el complejo mecanismo del fenómeno transporte de sedimentos en cauces aluviales y ríos de montaña, así como su cuantificación y control del volumen de sedimentos transportados por los cauces con la finalidad de dimensionar las estructuras hidráulicas como bocatomas, puentes, presas, etc. (Maza, 1996)

Por ende es importante mencionar que todas las ecuaciones de transporte de sedimentos, han sido realizadas en laboratorio donde ha existido una gran variabilidad al momento de realizar los cálculos, entonces se ve la necesidad de encontrar una calibración de una ecuación particular para el transporte de sedimentos, donde incluya las condiciones y datos encontrados de la zona a estudiar.



## **1.1 Justificación**

Es conocido que el agua es un agente que provoca la erosión del suelo y que transporta estos materiales aguas abajo por los ríos hasta que los deposita ya sea en lagos, estuarios, océanos. Es por esto que el agua es uno de los principales agentes que provoca la erosión y el transporte del material erodado, lo que hace que este proceso sea de gran interés para el Hidrólogo.

Es importante para el Hidrólogo, conocer las tasas de producción de sedimentos que habrá en un cierto tiempo, para que con estos datos se puedan mitigar posibles consecuencias que podría provocar éste arrastre, así como diseñar las obras hidráulicas que se verán afectadas por éste fenómeno.

En nuestro medio no existen estudios detallados o metodologías que permitan determinar el transporte de sedimentos en los ríos, es por esto que se ha considerado necesario realizar una investigación más profunda detallada de métodos que permitan cuantificar éste fenómeno, y a la vez encontrar la ecuación particular para la cuenca El Limón en la que se encuentra ubicada la captación de agua para abastecimiento de Agua Potable para la ciudad de Zamora.

## **1.2 Alcance**

La presente investigación tiene como fin realizar un estudio entre ecuaciones aptas para el cálculo de sedimentos propuestas por varios autores, a continuación se establecerá una jerarquización de las metodologías empleadas y así poder determinar si la ecuación es válida o no para la cuenca El limón en el Río Zamora, y finalmente determinar la ecuación particular para el sitio en estudio.



### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.4 Objetivo general**

- Calibrar una ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca el Limón en el Río Zamora.

#### **1.5 Objetivos específicos**

- Realizar el monitoreo de Transporte de Sedimentos.
- Estudiar el material de arrastre de Transporte de Sedimentos mediante ensayos de laboratorio.
- Establecer las características de la sección, en los tramos del cauce, y encontrar parámetros como el área, pendiente, caudal máximo, la pendiente, topografía, velocidad, profundidad de la corriente, radio hidráulico, diámetros del sedimento.
- Realizar un análisis de correlación entre el sedimento capturado y las características del sedimento de la cuenca y de la sección.
- Definir una ecuación particular para el Transporte de Sedimentos.

En el Capítulo 1, se detalla la introducción; lo importante que es el transporte de sedimentos.

En el Capítulo 2, se describe, materiales y métodos utilizados, área de estudio, conceptos básicos del transporte de sedimentos, tipo de aforo utilizando el “Molinete”, concepto de “Curva de Descarga”, y la aplicación de métodos para calcular el transporte de sedimentos, de diferentes autores. De las distintas ecuaciones que se utilizan para el cálculo de sedimentos, aplicando el software Laboratorio Virtual de Hidrología; Hydrovlab. Al programa se lo comprobó utilizando los datos y resultados obtenidos en los Capítulos 3, por medio de una hoja electrónica en Excel.



## **Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.**

---

En el Capítulo 3, se presentan los análisis y resultados aplicando Regresión Lineal, y Regresión Múltiple, calculándose los parámetros de validación, y finalmente se obtuvo la ecuación particular; para la Cuenca el Limón.

En el Capítulo 4, se describen las conclusiones y recomendaciones, y en el Capítulo 5; la bibliografía.



## **MATERIALES Y METODOLOGÍA EMPLEADA**



## **2. ZONA DE ESTUDIO Y SUS CARACTERÍSTICAS GENERALES.**

### **2.1 Ubicación y Relieve**

La microcuenca hidrográfica El Limón se encuentra ubicada al sureste de la ciudad de Zamora dentro de la jurisdicción regional de la parroquia El Limón, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe (Figura 1).

Sus límites son al norte con la quebrada Chorrillos, al sur, este y oeste con el Parque Nacional Podocarpus. Esta microcuenca es la que provee de agua a la ciudad de Zamora, ubicada en las siguientes coordenadas planas:

E 725157.3570 N 9549886.4130, y su altitud 1113 m.s.n.m.

Debido a la orientación y diferencias altitudinales de la microcuenca, en el área se generan pequeñas variaciones microclimáticas respecto a la ciudad de Zamora. La topografía del área es muy irregular; especialmente el lado que comprende el límite con El Parque Nacional Podocarpus. (Coronel y Jaramillo, 2005).

La microcuenca hidrográfica; El Limón tiene un área total de 1 019 hectáreas, la vegetación incluye bosques de chaparro, bosques naturales, bosques secundarios, matorrales, pastizales. Posee un clima subtropical, templado-húmedo, con una precipitación que oscila entre (1 800 a 2200) mm/año y una temperatura media anual de 20 °C. En la figura siguiente se presenta la ubicación del sitio de estudio: (Coronel y Jaramillo, 2005)





## 2.2 Cobertura Vegetal

En base a la clasificación ecológica de Holdridge (1967) la microcuenca El Limón corresponde a la zona de vida bosque húmedo Premontano (bh-PM); bosque tropical muy húmedo. Es un área con diversa cobertura vegetal la misma que se detalla a continuación en el Tabla 1, además presenta las diferentes categorías de cobertura vegetal y superficie que ocupan dentro de la microcuenca: (Coronel y Jaramillo, 2005).

N°	CATEGORIA DE COBERTURA	SUPERFICIE (ha)	PORCENTAJE
1	Bosque alto maduro	374,944	36,79
2	Bosque alto secundario	323,195	31,71
3	Bosque achaparrado	55,259	5,42
4	Complejo Pastizal-bosque	77,502	7,60
5	Luzara	19,122	1,87
6	Pastizal	156,731	15,38
7	Zona Urbana	12,524	1,22
<b>TOTAL</b>		1019 ha	100

**Tabla 1.** Categorías de cobertura vegetal de la microcuenca El Limón, marzo del 2004  
**Fuente:** (Coronel y Jaramillo, 2005)

En la parte más baja de la microcuenca se encuentra la zona urbana con 12,524 ha que corresponde 1.22 % donde se encuentra el barrio El Limón. (Coronel y Jaramillo, 2005).

## 2.3 Análisis Morfométrico de la Microcuenca el Limón

El área de estudio según el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras citado por Escobar (2001), describe los parámetros e interpretación de la cuenca, como se indica en el Tabla 2. (Coronel y Jaramillo, 2005).



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	INTERPRETACIÓN
<b>MORFOLOGÍA DE LA MICROCUENCA</b>			
Área	km <sup>2</sup>	10,19	Cuenca pequeña
Perímetro	km	15,30	
Longitud axial	km	6,27	
Ancho promedio	km	1,26	
Factor de forma		0,25	Microcuenca alargada, poco peligro de crecidas
Coefficiente de compacidad		1,34	Oval redonda a oval oblonga (ovalada)
Índice simétrico		7,3	Microcuenca asimétrica
<b>FISIOGRAFÍA</b>			
Mediana de altitud	m s.n.m.	1 592	
Altura media	m s.n.m	880	
Altitud media	m s.n.m.	1676,3	
Pendiente media	%	62,4	
Orientación		Este – Oeste	
Coefficiente de masividad	Km/Km <sup>2</sup>	0,086	
Coefficiente orográfico	m	75,68	Relieve accidentado
<b>MORFOLOGÍA DE DRENAJE</b>			
Clasificación de corrientes		Corriente perenne	Transporta agua todo el año y siempre están alimentadas totalmente
Orden de corrientes		Orden 3	
Densidad de drenaje	Km/Km <sup>2</sup>	1,78	Se trata de una microcuenca mal drenada

**Tabla 2.** Análisis Morfométrico de la Microcuenca el Limón  
**Fuente:** (Coronel y Jaramillo, 2005)



## **2.4 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**

Los sedimentos que transporta una corriente de agua son consecuencia natural de la degradación del suelo, puesto que el material procedente de la erosión llega a las corrientes a través de tributarios menores, por la capacidad que tiene la corriente de agua para transportar sólidos; o también por movimientos en masa, es decir, desprendimientos, deslizamientos y otros.

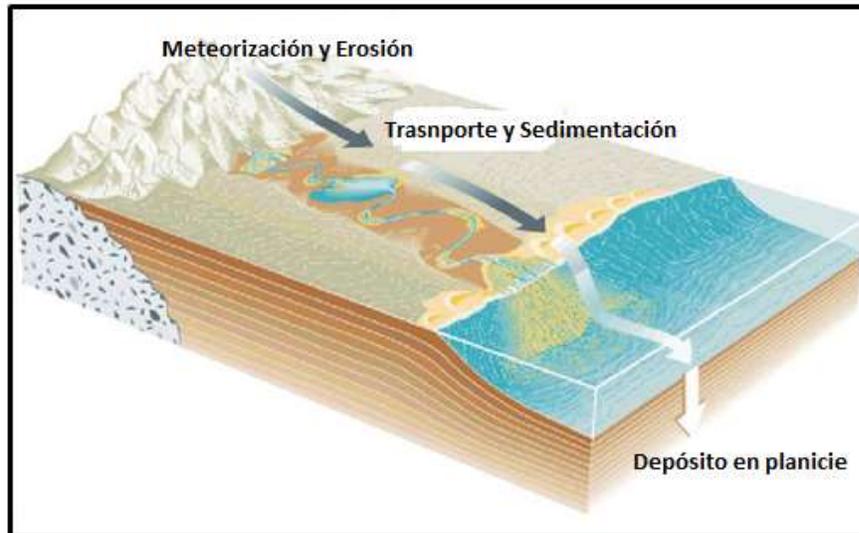
### **Definición**

El transporte de sedimentos es un fenómeno complejo que responde a dos funciones, una que representa las características de la hoya y otra las del río; una de las funciones indica la cantidad, naturaleza y propiedades físicas de los materiales disponibles para el transporte, y la otra, la capacidad del sistema hidráulico para hacerlo. (Posada, 1994)

“Entonces, se puede decir que los sedimentos son todos los materiales originados de la fricción, erosión y destrucción de rocas encontradas en la superficie, para luego ser depositadas a veces en situ o más frecuentemente a ciertas distancias por agentes geológicos externos como el viento, el agua o situaciones antrópicas”. (Posada, 1994).



Este proceso se puede observar en la figura 2:



**Figura 2.** Descripción del transporte de sedimentos, adaptado.  
**Fuente:** Eder Cuellar, 2012.

## **2.5 Formas de Transporte**

La literatura considera las siguientes formas de transporte de sedimentos:

### **a) TRANSPORTE DE FONDO GB**

El transporte de fondo (GB), está comprendido por el material sólido que se mueve en proximidades del lecho de la corriente. Según Einstein, el espesor de la capa de fondo es igual a dos veces el diámetro de las partículas. (Maza, 1996).

### **b) TRANSPORTE DEL MATERIAL DE LAVADO gL**

El transporte de material del lavado, se denomina así porque proviene del arrastre (laderas del cauce) que traen consigo las escorrentías de las lluvias, este tipo de



material está formado por partículas muy finas que no se encuentran representadas en el material del fondo del cauce y siempre son transportadas en suspensión, además en ocasiones el material de lavado proviene de la erosión del mismo río. Todo el sedimento lavado proviene de aguas arriba y no es representativo del sedimento en el fondo del cauce. (Maza, 1996)

Entonces, “se puede decir que el material de lavado son aquellas partículas que son transportadas en suspensión y cuyo tamaño es menor que 0.062 mm. Una muestra de carga lavada se puede obtener en tramos del río con velocidades muy bajas, y su cuantificación debe hacerse en laboratorio a partir de muestras tomadas en campo”. (Maza, 1996).

### **c) TRANSPORTE EN SUSPENSIÓN DE MATERIAL DE FONDO GBS.**

Este tipo de sedimentos es muy fino y llegan a la corriente por procesos de erosión pluvial de la cuenca, vertiente o por el lavado del material suelto. (Maza, 1996)

### **d) TRANSPORTE EN SUSPENSIÓN GS**

Es el transporte total de las partículas que se mantienen en suspensión ya sea por su poco peso o debido a la turbulencia, este tipo de transporte es igual a la suma del transporte en suspensión del material de fondo más el transporte del material de lavado. (Maza; 1996)



### e) TRANSPORTE TOTAL DEL MATERIAL GBT

El transporte total de sedimentos está considerado por la cantidad total de sedimentos que circula por la corriente y viene dado por la suma del material de fondo más el material de suspensión. Entonces se tiene que:  $g_{BT} = g_B + g_{BS}$ . Como se indica en la Figura 3:

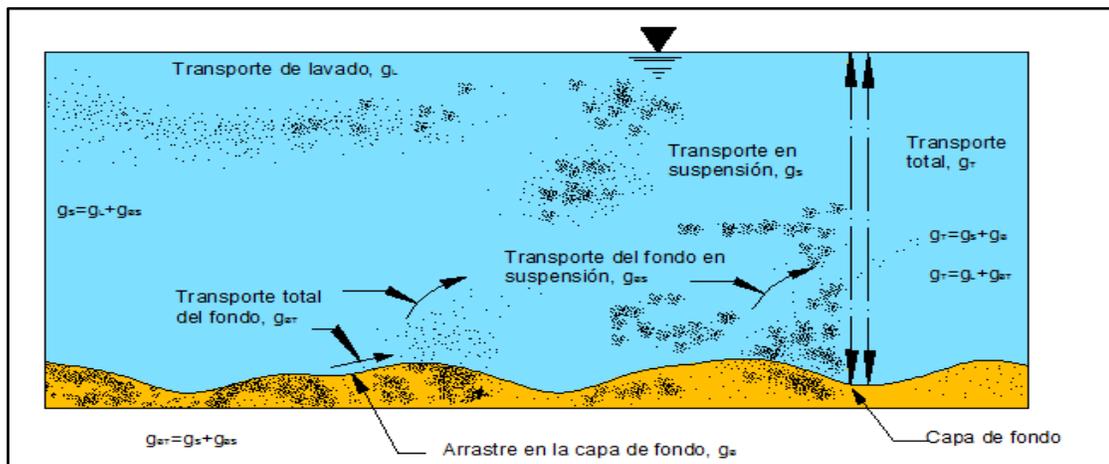


Figura 3. Tipos de Transporte de Sedimentos, Adaptado  
Fuente: (Maza, 1996)

## 2.6 NOTACIÓN

La notación del transporte de sedimentos se define como se indica en el Tabla 3:

FORMA DE TRANSPORTE	NOTACIÓN			
	Kgf/.m	Kgf/s	m <sup>3</sup> /s.m	m <sup>3</sup> /s
		N/s.m	N/s	
1. Arrastre en la capa de fondo	$g_B$	$G_B$	$q_B$	$Q_B$
2. Transporte de fondo en suspensión	$g_{BS}$	$G_{BS}$	$q_{BS}$	$Q_{BS}$
3. Transporte de fondo total	$g_{BT}$	$G_{BT}$	$q_{BT}$	$Q_{BT}$
4. Transporte de lavado	$g_L$	$G_L$	$q_L$	$Q_L$
5. Transporte en suspensión	$g_S$	$G_S$	$q_S$	$Q_S$

Tabla 3. Notación de Transporte de Sedimentos  
Fuente: (Maza, 1996)



## 2.7 PROPIEDADES DE LOS SEDIMENTOS

Para definir las propiedades de los sedimentos, es importante, definir el concepto de Sedimento No Cohesivo, llamado material granular, formado por partículas sueltas, como las arenas y las gravas. (Maza, 1996)

Las propiedades de los sedimentos, se las puede clasificar de acuerdo a la resistencia que se oponen a ser arrastrados y por ende a su comportamiento al ser transportados por la corriente de agua. Dentro de las propiedades que se pudo distinguir en los muestreos, se define las siguientes:

*Las principales propiedades de un sedimento no cohesivo son:*

### a) Tamaño

La propiedad más importante de una partícula de sedimento es su tamaño por lo cual, ha sido la única propiedad que caracteriza los sedimentos. Solamente si la forma, densidad y distribución granulométrica son semejantes en diferentes sistemas hidráulicos, se pudiese considerar que la variación de su tamaño define la variación del comportamiento del sedimento.

Los sedimentos se basan en el tamaño de los granos los cuales manifiestan las condiciones de sedimentación en cada zona de estudio, por lo tanto es importante conocer los siguientes conceptos:

- **Diámetro de sedimentación:** es el diámetro de una esfera con la misma densidad que cae la partícula, que cae con la misma velocidad, en el mismo fluido a la misma temperatura.
- **Diámetro de tamiz (Di):** se define como la apertura mínima de una malla de tamiz a través de la cual pasa la partícula, además que en todos los



métodos para el cálculo de sedimentos utilizan diámetros representativos como son:  $D_m$ ,  $D_{16}$ ,  $D_{35}$ ,  $D_{40}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{84}$ ,  $D_{90}$ . (Posada, 1994).

### **b) Redondez de los Granos**

La forma o redondez de los granos representan la magnitud y el tipo de transporte. Un transporte gravitacional; coluvial corto (sin agua) produce una redondez angular, una vez que está en contacto con el sistema fluvial empieza el desgaste y las partículas pierden su angularidad; pero para determinar la rapidez con la que un grano va a redondearse está en función del tamaño ya que los granos pequeños demoran generalmente más tiempo en tomar una forma redonda antes que los granos grandes.

### **c) Estratificación**

La estratificación se origina del depósito alternado de las rocas de diferentes tamaños de granos, o puede existir también una estratificación gradada, que es el aumento de los granos de arriba hacia abajo que es comúnmente observado en la mayoría de los ríos, como se indica en la Figura 4:



**Figura 4:** Estratificación  
**Fuente:** Griem y Klee 1999,2003.



#### d) Peso Específico

“Se define como la relación peso por unidad de volumen, donde; P: peso de la sustancia sólida, V: volumen de la sustancia sólida. Además la mayor parte de las partículas sólidas inorgánicas varía entre 2.6 y 2.8, entonces es importante mencionar que las partículas de arena compuestas de cuarzo tienen un peso específico de 2.65, y en las arcillas aproximadamente 2.9, menores a 2.6 indican la presencia de materia orgánica en cantidad considerable”. (Maza, 1998).

## 2.8 DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS

“Es la relación adimensional que existe entre el peso específico de las partículas y el peso específico del agua, para el desarrollo del proyecto se considera un valor de  $1000 \text{ kgf/m}^3$  para el agua, mientras que para las partículas se procederá a realizar los ensayos respectivos de densidades”.

Para el cálculo de la densidad relativa de las partículas se utiliza la siguiente fórmula:

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma}$$

Donde:

**S<sub>s</sub>**: Densidad relativa de las partículas, adimensional.

**γ<sub>s</sub>**: Densidad de las partículas, en  $\text{Kgf/m}^3$

**γ**: Densidad del agua, en  $\text{Kgf/m}^3$



## 2.9 DISTRIBUCIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

El transporte de sedimentos desde el punto de vista de la hidráulica fluvial se puede clasificar en dos grandes grupos de acuerdo con su origen: carga de lecho y carga lavada. La principal diferencia entre el uno y el otro es que la carga de lecho depende de las características hidráulicas del flujo y de las características físicas de los materiales, en tanto que la carga lavada depende más de las condiciones de la cuenca hidrográfica. La carga de material de lecho del cauce puede ser transportada sobre el fondo del río o en suspensión en toda la columna de agua; la carga lavada, corresponde al material más fino, usualmente arcillas y limos, con origen en la cuenca, o bien, pueden provenir de la erosión que el mismo río produce en sus márgenes. (Maza, 1987)

## 2.10 ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

La determinación del transporte de sedimentos en un río se puede realizar de dos formas:

- a) Por medición directa
- b) Por medio de ecuaciones propuestas por diferentes investigadores.

Para realizar la medición de transporte de sedimentos, son poco usuales debido a que se producen dificultades de trabajo en los ríos, y los resultados son poco confiables, debido a que las ecuaciones arrojan un alto grado de inseguridad.

### ➤ **Medición directa**

**MUESTREADOR:** Una forma sencilla para determinar el arrastre de sedimentos es colocar canastillas metálicas en el lecho de la corriente como las presentadas en la Figura 1, y cada cierto tiempo, dependiendo del volumen de acumulación, se extraerá y se pesará.



a) Izq. Canastillas Metálica

b) Der. Canastillas Metálicas, colocadas en el lecho de la corriente.

**Fuente:** Elaboración propia.

Las condiciones que deben cumplir el lugar en donde se realizarán los muestreos, debe ser en lo posible cerca de una estación hidrométrica, ya que sin una referencia de nivel y caudal al momento de realizar el muestreo, éste carece de valor, entonces se debe tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- a) La sección transversal en la que se realizarán los muestreos, debe ser en lo posible perpendicular a la dirección de la corriente.
- b) Que aguas arriba de la estación y en las proximidades, no exista alteraciones, bien naturales o artificiales, que influyan en el régimen normal de las aguas.
- c) La estación se sitúe en un lugar que presente facilidades de acceso, vigilancia garantizada.

Para conocer la cantidad de caudal escurrido se usa la hidrometría (aforar). Existen dos métodos para realizar esta medición, los métodos directos que usan aparatos o procedimientos para medir directamente el caudal y los indirectos o continuos que miden el nivel del agua en el cauce y a partir del nivel estiman el caudal.



En este estudio se aplica los dos métodos, para la medición indirecta, por medio del Thalimides, donde mide y almacena los datos en intervalos de un día; la medición directa se la realiza con aforos diarios con uso del molinete, para posteriormente determinar la curva de descarga.

➤ **Estación automática de aforo**

Para la medición diaria y horaria de datos pluviométricos se encuentra instalado, en el punto más bajo de la Microcuenca la estación automática, la cual recolecta datos horarios. El recolector de datos Thalimedes (Figura 5.) por flotador permite medir el nivel de las aguas subterráneas y superficiales.



**Figura 5.** Recolector de Datos Thalimedes

**Fuente:** Elaboración propia.

El funcionamiento, el sistema de cable de flotador con contrapeso trasmite el cambio del nivel del agua a la rueda del flotador del sensor. La rotación resultante se transforma en una señal eléctrica que se trasmite a la unidad recolectora de datos a través del cable del sensor, almacenándose allí como valor medido (Manual de Thalimedes; 2000).

➤ **Medición de caudales (aforo)**

Es indispensable contar con datos de aportes diarios para la elaboración de la curva de descarga, es por eso que diariamente se realizaron aforos por el método del molinete.



## 2.11 AFORO MEDIANTE EL MÉTODO DEL MOLINETE

Este método determina indirectamente la cantidad de caudal en un cauce. Este método consiste en medir la velocidad media de la corriente en el cauce y se debe dividir la sección transversal en franjas, el área de cada franja se asimila a un rectángulo de igual ancho y de altura igual al promedio de las alturas de las verticales que definen la franja. La idea es medir el caudal en cada franja y luego obtener el caudal total por sumatoria. El caudal en una franja es igual a la velocidad media en la franja multiplicada por el área. Se toma como velocidad media en la franja la velocidad media en la vertical. Y esta última se define en función de la velocidad puntual medida con el molinete, según el siguiente argumento, como se indica en la Figura 6.

El molinete registra el número de vueltas que impone el efecto dinámico del agua y se relaciona esta frecuencia de giro con la velocidad (Figura 7). El sensor de inducción magnética basa su funcionamiento en la ley de Faraday que dice que si un medio electroconductor se desplaza en un campo magnético, una tensión inducirá dicho conductor; por lo tanto la tensión es proporcionalmente lineal a la velocidad del conductor, (Oñate, 2007).



**Figura 6:** Desarrollo del método, aforo con Molinete  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 7:** Desarrollo del método, aforo con Molinete

**Fuente:** Elaboración propia.

*Las ecuaciones del molinete usado son las siguientes:*

- **$V = 2.18 \times \text{Número de revoluciones} + 0.006096$  Si Rev.< 40**
- **$V = 2.17 \times \text{Número de revoluciones} + 0.009144$  Si Rev.> 40**

Y para determinar el caudal total se aplica estas expresiones:

$$A = \Sigma \Delta A$$

$$Q = \Sigma \Delta Q$$

$$v = Q$$

**Donde:**

- **A:**            área
- **Q:**            caudal
- **V:**            velocidad
- **$\Delta A$ :**        Área parcial
- **$\Delta Q$ :**        caudal parcial



## 2.12 ESTIMACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EN LABORATORIO

### ➤ TRANSPORTE DE FONDO

El análisis del material se fondo se realizó mediante los ensayos de granulometrías según la Norma ASTM C136-96, en la que se determina mediante la curva granulométrica, los diferentes diámetros necesarios para el uso de las ecuaciones de transporte de sedimentos. Así mismo se ejecutó el ensayo de densidad específica según la Norma ASTM C127, ASTM C128.

## 2.13 CURVA DE DESCARGA

En la curva de descarga se relacionan los datos de caudales y alturas de superficie del agua mediante una ecuación para determinar directamente el caudal teniendo previamente el tirante.

La curva de descarga queda representada por la ecuación de la parábola de orden superior dada por la forma:

$$Q = a \times (h - h_0)^n \quad [\text{Ec. 3-1}]$$

Además es importante decir que la curva de descarga sólida como la relación Figura entre los caudales líquidos y sólidos en una estación hidrométrica obtenidos a través de los aforos, del muestreo de sedimento en suspensión y del material de fondo.

$$Q_s = f(Q_L)$$



**Donde:**

- $Q_s$ : Caudal sólidos en Kg/día
- $Q_L$ : Caudal líquido en  $m^3/s$

*El procedimiento para la elaboración de la curva de descarga sólida:*

- 1.- Se debe revisar todos los aforos de caudal sólidos con su respectivo caudal líquido realizados hasta la fecha.
- 2.- Realizar la Figura, en las abscisas va el caudal sólido y en las ordenadas el caudal líquido.
- 3.- Por medio del método Mínimo Cuadrados, se determina la ecuación de la curva, en donde se debe encontrar valores de K, y de n, los parámetros de validación.

**Donde:**

- Q:** caudal ( $m^3/s$ );
- h<sub>0</sub>:** altura de la escala hidrométrica para la cual  $Q = 0$ .
- h:** altura de escala hidrométrica para el caudal que se quiere conocer;
- n, a:** constantes propias de la expresión analítica.

Aplicando logaritmos a la ecuación anterior:

$$\mathbf{Log(Q) = Log(a) \times n \times Log(h - h_0)} \quad \mathbf{[Ec. 3-2]}$$



Se aplica el criterio de mínimos cuadrados, cuyo concepto se basa en minimizar las distancias cuadráticas de los puntos con la línea. Que tiene la forma de la ecuación de la recta.

$$Y = \alpha + \beta \times X \quad [\text{Ec. 3-3}]$$

**Donde:**

**Y:** Log Q

$\alpha$ : Log a

**B:** n

**X:** Log (h-h<sub>o</sub>)

Los coeficientes  $\alpha$  y  $\beta$  son determinados con las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{[(\Sigma Y) \times (\Sigma X^2)] - [(\Sigma X) \times (\Sigma(X \times Y))]}{[N \times (\Sigma X^2)] - [(\Sigma X)]^2} \quad [\text{Ec. 3-4}]$$

$$\beta = \frac{[N \times (\Sigma X \times Y)] - [(\Sigma X) \times (\Sigma Y)]}{[N \times (\Sigma X^2)] - [(\Sigma X)]^2} \quad [\text{Ec.3-5}]$$

Donde n, es el número de datos.

## 2.14 PARÁMETROS DE VALIDACIÓN

Se usan los parámetros de validación para comprobar que el ajuste de variables es moderada. (Oñate, 2007)

- **Coefficiente de Correlación (R<sup>2</sup>):** es una medida relativa que indica el grado de ajuste a una línea recta entre los datos observados y simulados.



Un valor de  $R^2 = 1$  nos indica una tendencia lineal perfecta entre los datos pero no significa necesariamente que ésta sea de 1: 1. Es adimensional y se calcula mediante la expresión:

$$R^2 = \left( \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_o(i) - \bar{Q}_o)(Q_c(i) - \bar{Q}_c)}{\sigma_o \times \sigma_c} \right)^2 \quad [\text{Ec.3-6}]$$

**Donde:**

$Q_o(i)$ : caudal observado.

$Q_c(i)$ : caudal calculado.

- **Coficiente de eficiencia de Nash & Sutcliffe (EF):** Permite verificar el grado de relación 1:1 de los datos en análisis (Nash y Sutcliffe, 1970). Se pueden obtener valores menores o iguales a 1, valores de 1 indican un ajuste perfecto. Un valor de **EF=0** indica que la predicción es tan precisa como la media del modelo. Un valor de **EF<0** es señal de que la media es un mejor predictor que el modelo. En términos generales, un valor entre 0.1 y 0.7 se puede considerar como estadísticamente adecuado. (Oñate, 2007).

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_o(i) - Q_c(i))^2}{\sum_{i=1}^N (Q_o(i) - \bar{Q}_c)^2} \quad [\text{Ec.3-7}]$$

- **Error cuadrático medio (RMSE):** Permite comparar el ajuste entre los datos observados en campo y los calculados. Las unidades son las mismas de los datos observados. Valores de RMSE iguales a 0 son óptimos ya que los errores no existirían y la relación sería perfecta. Pueden darse cualquier valor positivo. (Oñate, 2007).



$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_o(i) - Q_c(i))^2}{N}} \quad [\text{Ec.3-8}]$$

## 2.15 ECUACIONES PARA CÁLCULAR EL TRANSPORTE DE FONDO

Para el cálculo del transporte de fondo, es necesario recolectar información como son los datos hidráulicos y geométricos, propiedades del agua, propiedades de las partículas, y la Distribución granulométrica de las partículas del fondo como se indica: (Maza, 1996).

### a) Hidráulicos y Geométricos

Gasto líquido	$Q = \text{m}^3/\text{s}$
Área Hidráulica	$A = \text{m}^2$
Perímetro mojado	$P = \text{m}$
Radio Hidráulico, $R = A/P$	$R = \text{m}$
Profundidad o tirante	$d, y = \text{m}$
Ancho medio, $B_m = A/d$	$B = \text{m}$
Velocidad media, $U = Q/A$	$U = \text{m}/\text{s}$
Gasto líquido unitario, $q = Q/B$	$q = \text{m}^2/\text{s}$
Pendiente hidráulica	$S = \%$

### b) Propiedades del agua

Temperatura	$t = \text{°C}$
Peso específico, se considera	$\gamma = \text{kgf}/\text{m}^3 = \text{N}/\text{m}^3$
Densidad	$\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$
Viscosidad cinemática	$\nu = \text{m}^2/\text{s}$

### c) Propiedades de las partículas

Peso específico	$\gamma_s = 2231 \text{ kgf}/\text{m}^3$
-----------------	--



Densidad

$$\rho_s = 2704 \text{ kg/m}^3$$

**d) Distribución granulométrica de las partículas del fondo**

$$D_m = \text{mm}$$

$$D_{16} = \text{mm}$$

$$D_{35} = \text{mm}$$

$$D_{40} = \text{mm}$$

$$D_{50} = \text{mm}$$

$$D_{65} = \text{mm}$$

$$D_{84} = \text{mm}$$

$$D_{90} = \text{mm}$$

$$D_{\text{máx}} = 25 \text{ mm}$$

Existen varios autores, para determinar el transporte de sedimentos de Fondo, a continuación se detalla cada uno de ellos.

➤ **FÓRMULA DE DUBOYS Y STRAUB**

En la ecuación propuesta por Duboys y Straub incluye parámetros de esfuerzo cortante que el flujo ejerce en el fondo  $\tau_0$ , el esfuerzo cortante crítico en el fondo  $\tau_c$  y se la define de la siguiente manera:

$$g_B = \frac{0.01003}{D^{3/4}} \tau_0 (\tau_0 - \tau_c) \quad [\text{Ec.3-9}]$$



La presente ecuación  $g_B$  esta expresada en  $kgf/s.m$ ,  $\tau_c$  y  $\tau_0$  en  $kgf/m^2$  y  $D$  en  $m$ .

$$\tau_c = 41.8D^{0.82} - 0.017Ln(454D) \quad [Ec.3-10]$$

Sobre el diámetro representativo se recomienda, que cuando el material no es uniforme se utilice  $D=D_{50}$ . Straub fija como límite de aplicación que  $0.0001 \leq D_{84} \leq 0.004 m$ .

### ➤ FÓRMULA DE SCHOKLITSCH

Basado en experimentos realizados en canales de laboratorio y en mediciones en ríos, Con relación al diámetro representativo se recomienda que, cuando el tamaño de las partículas no es uniforme se utilice  $D = D_{40}$

Schoklitsch propuso la siguiente ecuación:

$$g_B = 2500.S^{\frac{1}{3}} \cdot \left( q.S^{\frac{7}{6}} - 2.351.10^{-5}.\Delta^{\frac{5}{3}}.D^{\frac{7}{18}} \right) \quad [Ec.3-11]$$
$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$$

### ➤ FÓRMULA DE SHIELDS

Shields presentó parámetros como el esfuerzo cortante, viscosidad cinemática del agua, esfuerzo tangencial  $\tau_0$ .

La ecuación final a utilizarse para el transporte de fondo es:

$$g_B = \frac{10 \cdot U \cdot \gamma}{D \cdot \Delta^2} \tau_0 (\tau_0 - \tau_c) \quad [Ec.3-12]$$



Donde:

$$D_* = D \left[ \frac{g \cdot \Delta}{v^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [\text{Ec.3-13}]$$

En la que el esfuerzo cortante crítico en el fondo  $\tau_c$ , está en función al número adimensional de la partícula:

1) Si  $D_* \leq 2.15$ , entonces

$$\tau_c = (\gamma_s - \gamma) D \cdot \tau_{*c} \quad [\text{Ec.3-14}]$$

2) Si  $2.15 \leq D_* \leq 333$ , entonces

$$\tau_c = (\gamma_s - \gamma) D \left[ \frac{0.2196}{D_*} + 0.077 \exp \left\{ - \left( \frac{30.35}{D_*} \right)^{0.563} \right\} \right] \quad [\text{Ec.3-15}]$$

3) Si  $D_* \geq 333$

$$\tau_c = 0.06 (\gamma_s - \gamma) D \quad [\text{Ec.3-16}]$$

Con relación al diámetro representativo si  $\tau_* \leq 0.3$ , entonces se tendrá que  $D = D_{50}$ .

### ➤ FÓRMULA DE MEYER-PETER Y MÜLLER

La fórmula propuesta por estos autores fue realizada con un material granular de las siguientes características:

1. Partículas de diámetro uniforme con peso específico de  $2231 \text{ kgf/m}^3$ .



2. Partículas de diámetro uniforme, pero usando en cada prueba, uno de tres materiales con peso específico diferente.
3. Partículas de diferentes tamaños; es decir, granulometrías más o menos graduadas, con peso específico de  $2231 \text{ kgf/m}^3$ .

La cuarta serie de ensayos la llevaron a cabo con mezclas de partículas de diferentes diámetros y para diferentes pesos específicos. La expresión general propuesta es:

Donde:

$$g_B = 8 \cdot \gamma_s \cdot D_m^{\frac{3}{2}} \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot \Delta^{\frac{1}{2}} \left[ \left( \frac{n'}{n} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{R \cdot S}{\Delta \cdot D_m} - 0.047 \right]^{\frac{3}{2}} \quad [\text{Ec.3-17}]$$

$$n' = \frac{(D_{90})^{\frac{1}{6}}}{26}$$

La presente ecuación conviene utilizarla para cauces con arena de diámetro mayor de  $0.0002\text{m}$ , hasta grava gruesa con diámetro  $\leq$  de  $0.030\text{m}$ .

### ➤ FÓRMULA DE LEVI

En base a las velocidades media y crítica de la corriente, Levi propuso su fórmula para obtener el gasto sólido del material del fondo y se expresar en  $\text{kgf/s}\cdot\text{m}$ :

$$g_B = \frac{0.002 \cdot \gamma_s \cdot U^3 (U - U_c)}{g^{1.5} (d \cdot D)^{0.25}} \quad [\text{Ec.3-18}]$$

Para valuar  $U_c$ , se propone utilizar dos ecuaciones, las que están en función de la rugosidad relativa  $\frac{d}{D_m}$ ; dichas ecuaciones son:



a) Si  $10 \leq \frac{d}{D_m} \leq 60$

$$U_c = 1.4\sqrt{g \cdot D_m} \left( \frac{D_{m\acute{a}x}}{D_m} \right)^{\frac{1}{7}} \left[ 1 + \text{Ln} \sqrt{\frac{d}{7D_m}} \right]$$

b) Si  $\frac{d}{D_m} \geq 60$

$$U_c = 1.4\sqrt{g \cdot D_m} \left( \frac{D_{m\acute{a}x}}{D_m} \right)^{\frac{1}{7}} \text{Ln} \left( \frac{d}{7D_m} \right)$$

Si el material es uniforme, en ambas fórmulas se considera  $D_{m\acute{a}x} = D_m = D$ .

### ➤ FÓRMULA DE EINSTEIN-BROWN

Las ecuación para el cálculo de sedimentos de fondo depende básicamente del parámetro  $\psi$  intensidad del flujo, que es igual al recíproco del parámetro de Shields,  $\tau_*$

a) Intensidad de flujo

$$\psi = \frac{1}{\tau_*} = \frac{(\gamma_s - \gamma)D_{50}}{\gamma \cdot R \cdot S} = \frac{(\gamma_s - \gamma)D_{50}}{\tau_0} = \frac{\Delta \cdot D_{50}}{R \cdot S}$$

De la fórmula de Einstein,

1) Si  $0.045 \leq \tau_* \leq 0.19$  o  $22 \geq \psi \geq 5.263$

$$g_B = 2.151 F_1 \cdot \gamma_s \sqrt{g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3} \cdot e^{\frac{-0.391}{\tau_*}} \quad [\text{Ec.3-19}]$$

2) Si  $1 \geq \tau_* \geq 0.19$

$$g_B = 40 F_1 \cdot \gamma_s \cdot \tau_*^3 (g \cdot \Delta \cdot D^3)^{0.5} \quad [\text{Ec.3-20}]$$



Donde:

$$F_1 = \sqrt{\left(\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3}\right)} - \sqrt{\left(\frac{36v^2}{g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3}\right)}$$

$$\tau_* = \frac{1}{\psi}$$

Sirve para partículas con diámetros entre (0.0003 a 0.03)m y con pesos específicos entre (1.250 a 4.200)  $kgf/m^3$ .

➤ **FÓRMULA DE SATO, KIKKAWA Y ASHIDA**

La expresión está en función del coeficiente de rugosidad de Manning y tenemos que:

a) Para  $n \geq 0.025$

$$g_B = U_* (\tau_0 - \tau_c) \quad [\text{Ec.3-21}]$$

b) Para  $0.010 \leq n \leq 0.025$ , se cumple la relación

$$g_B = U_* (\tau_0 - \tau_c) \left(\frac{1}{40n}\right)^{3.5} \quad [\text{Ec.3-22}]$$

El coeficiente de Manning se obtiene de la ecuación de ese autor, que expresa

$$n = \frac{R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{U}$$



➤ **FÓRMULA DE ROTTNER**

Rottner consideró que el transporte de sedimentos está en función de:

$$g_B = f(q, d, D, \rho_s, \rho, g, \nu)$$

Y concluyó que en el fenómeno pueden intervenir finalmente los siguientes parámetros adimensionales:

$$\frac{g_B}{\gamma_s \sqrt{g \cdot \Delta \cdot d^3}}, \frac{q}{\sqrt{g \cdot \Delta \cdot d^3}}, \frac{U}{\sqrt{g \cdot \Delta \cdot d}}, \frac{d}{D}$$

La ecuación propuesta por los autores para el transporte de fondo es:

$$g_B = \frac{\gamma_s \cdot U^3}{37037 g \cdot \Delta} \quad [\text{Ec.3-23}]$$

Y es válida si  $d \geq 1000 D_m$  y por tanto puede aplicarse a ríos y canales.

➤ **FÓRMULA DE FRIJLINK**

El arrastre de sedimentos de fondo se encuentra en función de la fórmula de Chezy,  $\mu$  se obtiene de la siguiente expresión:

$$\mu = \left( \frac{C}{C'} \right)^{\frac{3}{2}} = \left( \frac{C}{C_{90}} \right)^{\frac{3}{2}}$$



Donde:

$$C = \frac{U}{\sqrt{R \cdot S}}$$

Y:

$$C' = 18 \log \frac{12R}{D_{90}}$$

Finalmente la ecuación para el transporte de sedimentos de fondo queda expresada de la siguiente manera:

$$g_B = 5\gamma_s \cdot D_{50} (\mu \cdot g \cdot R \cdot S)^{\frac{1}{2}} e^{\frac{-0.27}{\mu \cdot \tau_*}} \quad [\text{Ec.3-24}]$$

Para este método es necesario que el parámetro  $\frac{1}{\mu \tau_*} \leq 18$ ; y  $g_B$  se mide en  $\text{kgf/s} \cdot \text{m}$ ,  $D_i$  y  $R$  en  $\text{m}$ , y  $\gamma_s$  en  $\text{kgf/m}^3$ .

### ➤ FÓRMULA DE YALIN

Yalin desarrollo la expresión para el arrastre de sedimentos en la que queda definida como:

$$g_B = 0.635 s_y \cdot D \cdot U_* \cdot (\gamma_s - \gamma) \left[ 1 - \left( \frac{1}{a_y \cdot S_y} \right) \text{Ln}(1 + a_y S_y) \right] \quad [\text{Ec.3-25}]$$

Donde:

$$S_y = \frac{\tau_* - \tau_{*c}}{\tau_{*c}}$$



$$a_y = 2.5\tau_{*c} \left( \frac{\gamma}{\gamma_s} \right)^{0.4}$$

Se debe tener en cuenta la relación que existe entre el número adimensional de la partícula y el número adimensional de Shields para condiciones críticas; en la que se define:

1) Para  $2.15 \leq D^* \leq 333$

$$\tau_{*c} = \frac{0.2196}{D^*} + 0.077 \exp \left[ - \left( \frac{30.35}{D^*} \right)^{0.563} \right]$$

2) Para  $D^* > 333$

$$\tau_{*c} = 0.06$$

### ➤ FÓRMULA DE PERNECKER Y VOLLMERS

Pernecker y Vollmers consideraron relaciones entre parámetros como el número adimensional de Shields y además recomienda utilizar como diámetro representativo de una muestra al diámetro medio  $D=D_m$ .

$$g_B = 25\gamma_s (g.\Delta.D^3)^{0.5} \tau_*^{1.5} (\tau_* - 0.04) \quad [\text{Ec.3-26}]$$

Esta fórmula es aplicable cuando  $\tau_* \leq 0.5$ ; y si  $\tau_* \leq 0.04$  entonces se llegara a la conclusión de que no existe transporte de sedimentos.



➤ **FÓRMULA DE INGLIS Y LACEY**

Lacey, realizó los resultados obtenidos experimentalmente en modelos hidráulicos, Inglis propuso la siguiente expresión:

$$g_B = \frac{0.562\gamma \cdot U^5 \cdot \nu^{1/3}}{w_m \cdot d \cdot g^{5/3}} \quad [\text{Ec.3-27}]$$

$W_m$  es la velocidad de caída del diámetro medio, en  $m/s$ ; y su expresión es la siguiente:

$$W_m = F_1(g \cdot \Delta \cdot D)^{0.5}$$

Con respecto al diámetro representativo se recomienda utilizar como al diámetro medio  $D=D_m$ .

➤ **FÓRMULA DE BOGARDI**

Bogardi utilizó partículas de diámetro uniforme. En su fórmula intervienen elementos como:

$$g_B, g, \gamma_s, \nu, D, S, d, B$$

Por tanto la expresión viene dada de la siguiente manera:

$$g_B = 21.99\gamma_s (g \cdot \Delta \cdot D^3)^{0.5} \tau_*^{4.121} \quad [\text{Ec.3-28}]$$

Con respecto al diámetro representativo se recomienda utilizar como al diámetro medio  $D=D_m$ . Esta fórmula es aplicable cuando  $\tau_* \leq 0.8$ .



➤ **FÓRMULA DE VAN RIJN**

La ecuación de Van Rijn; analizada utilizando sedimentos uniformes con diámetros de partículas comprendidos entre (0.2 y 2) mm.

Con respecto a la condición de transporte existen dos alternativas para el cálculo de arrastre de fondo.

**1) cuando  $T < 3$**

$$g_B = 0.053\gamma_s \left[ g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3 \right]^{0.4} T^{2.1} \cdot \nu^{0.2} \quad [\text{Ec.3-29}]$$

**2) cuando  $T \geq 3$**

$$g_B = 0.1\gamma_s \left( g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3 \right)^{0.5} T^{1.5} \cdot D_*^{-0.3} \quad [\text{Ec.3-30}]$$

**Donde:**

$$T = \frac{\tau_0 - \tau_c}{\tau_c} \quad [\text{Ec.3-31}]$$

$$\tau'_0 = \gamma \left( \frac{U}{C'} \right) ; C' = 7.82 \cdot \text{Ln} \frac{12d}{3D_{90}} \quad [\text{Ec.3-32}]$$

Las ecuaciones de transporte unitario de sedimentos de fondo mencionadas anteriormente serán válidas si  $(0.0002 \leq D_{50} \leq 0.002) m$ .



## 2.16 REGRESIÓN LINEAL

El modelo de regresión lineal simple, es donde se analiza la influencia de una variable explicativa  $X$  en los valores que toma otra variable denominada dependiente ( $Y$ ).

En la regresión lineal múltiple se utilizó más de una variable explicativa; esto nos va a ofrecer la ventaja de utilizar más información en la construcción del modelo y, consecuentemente, realizar estimaciones más precisas. (Rojo, 2007)

➤ **Modelo de regresión simple:**

$$y = b_0 + b_1 \cdot x + u \quad [\text{Ec.3-33}]$$

En el presente estudio, el cálculo de la regresión simple, donde se analizó la influencia de una variable explicativa  $X$  (cada uno de los parámetros) en los valores que toma otra variable denominada dependiente  $Y$  (cantidad de sedimento), utilizando el Tabla 7, para posteriormente realizar las Figuras de cada uno de los parámetros hidráulicos y geométricos, para determinar la ecuación y su coeficiente de correlación  $R^2$ .

Para encontrar la ecuación particular del sitio en estudio, se analizará con los parámetros geométricos e hidráulicos, y así mismo aplicando por medio de tanteos elevados a un exponente, para finalmente determinar cuál será la ecuación final.

## 2.17 REGRESIÓN MÚLTIPLE

El Análisis de Regresión Lineal Múltiple nos permite establecer la relación que se produce entre una variable dependiente  $Y$ , y un conjunto de variables



independientes ( $X_1, X_2, \dots, X_k$ ). El modelo de regresión lineal múltiple es idéntico al modelo de regresión lineal simple, con la única diferencia de que aparecen más variables explicativas: (Rojo, 2007)

➤ **Modelo de regresión múltiple:**

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \dots + b_k \cdot x_k + u \quad [\text{Ec.3-34}]$$

A continuación exponemos los principales elementos a considerar en el análisis de regresión múltiple, en el presente estudio. Aquí enfatizamos aquellos aspectos que debemos considerar cuando éstos son aplicados en el análisis de regresión múltiple, donde se determina los siguientes parámetros:

- Coeficiente de Correlación Múltiple (Múltiple R).
- Coeficiente de Correlación Múltiple al Cuadrado o Coeficiente de Determinación (R Square "R<sup>2</sup>").
- Coeficiente de Determinación Ajustado (Adjusted R Square).
- Error Típico de Predicción (ETB).

Luego de realizar la regresión simple, se aplicará la regresión múltiple, con los parámetros hidráulicos y geométricos, para finalmente definir la ecuación particular para la cuenca el Limón, revisando minuciosamente los parámetros de validación, así mismo se realizará un análisis con las ecuaciones universales, con respecto al sedimento de campo, para establecer cuál sería el método que mejor se ajuste con respecto al coeficiente de correlación.



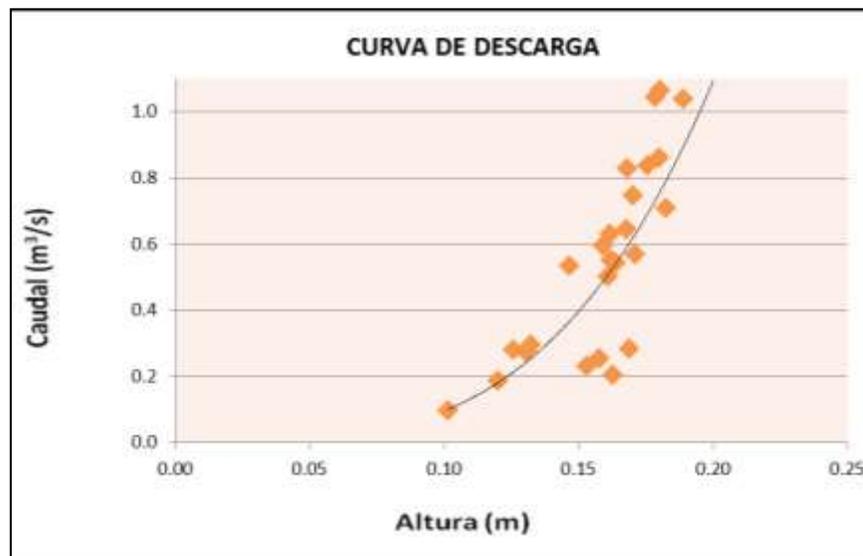
## **ANÁLISIS Y RESULTADOS**



### 3. CURVA DE DESCARGA

Para determinar la curva de descarga se hace uso de todos los datos que se obtienen de la medición de los niveles del espejo de agua de la sección de estudio del río y caudales correspondientes de los aforos realizados, encontrando los valores de  $a$  y  $n$  aplicando logaritmos. Para determinar el coeficiente de correlación ( $r$ ), se estima un valor de  $H_0$  mediante tanteos en un rango de valores que permitan que el valor  $r$  se acerque a  $1$  (en este estudio se determinó que el rango de variación estaba dentro de  $(0.0$  y  $0.1)$ ), lo cual representa un ajuste óptimo para la ecuación de descarga.

Del resultado de los aforos diarios con molinete se obtiene una ecuación que relaciona pares de datos (caudal, altura) a la que se denomina curva de descarga, como se puede observar en la Figura 8.



**Figura 8.** Curva de descarga  
**Fuente:** Elaboración Propia



En el Anexo 1, se observa la tabla de valores obtenida de la relación de los aforos diarios con su respectiva altura. Quedando la ecuación que relaciona el caudal con la altura de la siguiente manera:

$$Q = 313.0151 \times h^{3.5148} \quad [\text{Ec. 3-35}]$$

**Donde:**

**Q:** Caudal (m<sup>3</sup>/s).

**h:** altura del Thalimedes (m).

### **3.1 Validación de la Curva de Descarga.**

Obtenidos los valores de caudales calculados con las ecuaciones de curva de descarga, utilizamos los siguiente indicadores para validar dicha curva, que son: el coeficiente de correlación ( $R^2$ ), coeficiente de Eficiencia de Nash&Sucliffe (EF), coeficiente de determinación (CD), error cuadrático medio (RMSE). Para todos estos indicadores se debe considerar que cada uno tiene sus propios parámetros que dan la pauta de una correcta validación de la curva de descarga. De la consideración de todos estos valores se determina si la curva obtenida es eficiente para su utilización, como se indica en el Tabla 4.



<b><u>COEFICIENTES DE VALIDACIÓN</u></b>	
Error cuadrático medio es	<b>0.161</b>
Eficiencia de Nash & Sutcliffe es	<b>0.734</b>
Coefficiente de correlación es	<b>0.748</b>

**Tabla 4.** Datos obtenidos de las ecuaciones curva de descarga y cálculo de los coeficientes de validación.

**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a la curva obtenida y a los indicadores de validación se observa que el coeficiente de correlación  $R^2$  es de **0.841** que indica que aunque no tiene una tendencia lineal perfecta por no ser igual a 1, al ser cercana a 1 sugiere un coeficiente aceptable para el estudio.

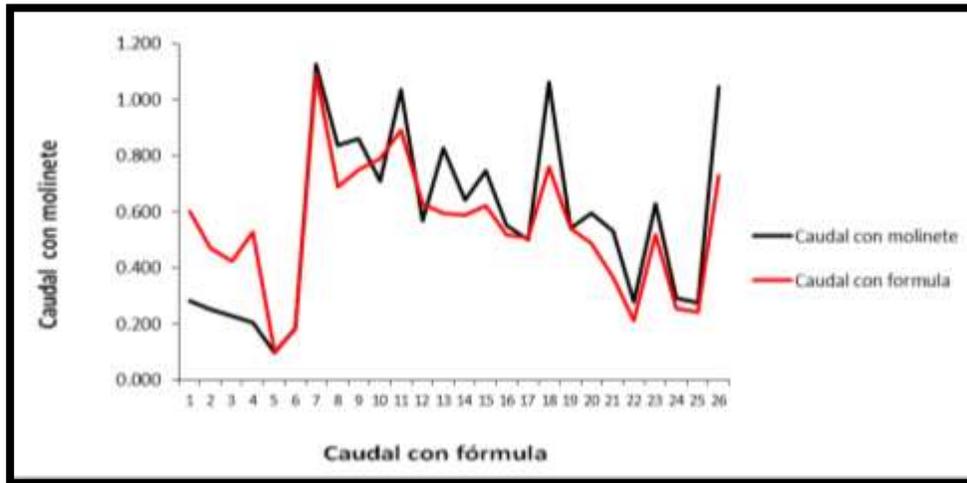
El coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe (**EF**) que permite verificar el grado de relación **1:1** de los datos analizados es igual a **0.734**, que al igual que el coeficiente anterior el valor de **1** muestra un ajuste perfecto, sin embargo si el valor es mayor que 0.7 se lo considera estadísticamente adecuado.

Se realizó una comparación entre los datos obtenidos en campo y los datos calculados con la ecuación encontrada representada en la siguiente Figura 9.



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

---



**Figura 9:** Comparación de Caudales  
**Fuente:** Elaboración Propia.



### 3.2 Datos Geométricos e Hidráulicos.

Como se observa en el Tabla 5, se definen todas las características geométricas e hidráulicas están en función del tirante.

FECHA DE ENSAYOS	TIRANTE (cm)	TIRANTE (m)	AREA HIDRAULICA (m <sup>2</sup> )	PERIMETRO MOJADO (m)	RADIO HIDRÁULICO R=A/P	ANCHO MEDIO (m) BM=A/d	GASTO LÍQUIDO (m <sup>3</sup> /s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s) U=Q/A	GASTO LIQUIDO UNITARIO, q=Q/B	PENDIENTE HIDRAULICA (%)
19/07/2012	20.00	0.20	0.57	5.21	0.109	2.85	1.093	1.918	0.384	3.53
23/07/2012	17.92	0.18	0.47	4.90	0.096	2.623	0.743	1.581	0.283	3.53
27/07/2012	18.00	0.18	0.47	4.90	0.096	2.611	0.755	1.606	0.289	3.53
29/07/2012	19.56	0.20	0.57	5.21	0.109	2.915	1.010	1.772	0.346	3.53
31/07/2012	19.90	0.20	0.57	5.21	0.109	2.865	1.074	1.884	0.375	3.53
02/08/2012	17.70	0.18	0.47	4.90	0.096	2.655	0.712	1.515	0.268	3.53
06/08/2012	17.52	0.18	0.47	4.90	0.096	2.683	0.687	1.462	0.256	3.53
10/08/2012	16.69	0.17	0.42	4.73	0.089	2.516	0.579	1.379	0.23	3.53
12/08/2012	16.09	0.16	0.38	4.57	0.083	2.362	0.509	1.339	0.215	3.53
24/08/2012	16.44	0.16	0.38	4.57	0.083	2.311	0.550	1.447	0.238	3.53
31/08/2012	16.37	0.16	0.38	4.57	0.083	2.322	0.541	1.424	0.233	3.53
10/09/2012	17.36	0.17	0.42	4.73	0.089	2.419	0.665	1.583	0.275	3.53
14/09/2012	16.45	0.16	0.38	4.57	0.083	2.31	0.550	1.447	0.238	3.53
17/09/2012	14.49	0.14	0.29	4.14	0.07	2.001	0.353	1.217	0.176	3.53
01/10/2012	14.21	0.14	0.29	4.14	0.07	2.041	0.329	1.134	0.161	3.53
29/10/2012	10.76	0.11	0.18	3.25	0.055	1.672	0.124	0.689	0.074	3.53
05/11/2012	17.01	0.17	0.42	4.73	0.089	2.47	0.619	1.474	0.251	3.53

Tabla 5. Datos geométricos e hidráulicos.

Fuente: Elaboración propia.



En el Anexo 2, se presenta el perfil transversal del punto de muestreo el cual varía en función del tirante, donde se pudo determinar los parámetros, área hidráulica y perímetro mojado.

De acuerdo a los datos obtenidos en el Tabla 5, se observa que el tirante fluctúa entre: **(0.11 a 0.20)** m; el radio hidráulico varía entre: **(0.055 a 0.109)** m. El ancho medio fluctúa entre los valores: **(1.67 a 2.91)** m; y su promedio será **2.45m**; el gasto líquido oscila entre: **(0.124 a 1.093)** m<sup>3</sup>/s, y la pendiente hidráulica determinada por medio de la topografía, es igual a **3.53%**.

### **3.3 TRANSPORTE DE FONDO EN SITIO.**

Seguidamente se determinó la cantidad de sedimento en el sitio, datos que se obtuvieron con las canastillas (muestreadores) colocadas en un punto estratégico del cauce, como se indica en el Tabla 6, donde se observa la fecha de cada muestreo, el peso del material en Kg, el área en (m<sup>2</sup>), el caudal (m<sup>3</sup>/s), para finalmente determinar la cantidad de sedimentos total en campo (kg/s\*m). En Anexo 3. Se indica las granulometrías en cada fecha de muestreo y su resumen de diámetros. Es importante indicar en la fecha del 15 de julio del 2012, se realizó la instalación de las canastillas, para posteriormente empezar a determinar la cantidad de sedimento.



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

---

Nº	FECHA	Peso material	AREA	CAUDAL	Cantidad de sedimentos total de campo
		(Kg)	(m2)	(m3/s)	(Kg/s*m)
Instalación	15/07/2012	-	-	-	-
1	19/07/2012	13.89	0.57	1.093	26.635
2	23/07/2012	8.91	0.47	0.743	14.078
3	27/07/2012	8.91	0.47	0.755	14.305
4	29/07/2012	8.75	0.57	1.01	15.500
5	31/07/2012	16.28	0.57	1.074	30.670
6	02/08/2012	4.08	0.47	0.712	6.175
7	06/08/2012	3.83	0.47	0.687	5.605
8	10/08/2012	6.88	0.42	0.579	9.478
9	12/08/2012	5.04	0.38	0.509	6.746
10	24/08/2012	5.05	0.38	0.55	7.305
11	31/08/2012	5.60	0.38	0.541	7.978
12	10/09/2012	8.30	0.42	0.665	13.140
13	14/09/2012	7.34	0.38	0.55	10.617
14	17/09/2012	3.62	0.29	0.353	4.411
15	01/10/2012	3.77	0.29	0.329	4.273
16	29/10/2012	3.24	0.18	0.124	2.231
17	05/11/2012	9.63	0.42	0.619	14.197

**Tabla 6.** Cantidad de sedimento en campo (Kg/s\*m).

**Fuente:** Elaboración propia.



### 3.4 REGRESIÓN SIMPLE

Como se observa en el Tabla 7, el resumen de los parámetros geométricos e hidráulicos, para la aplicación de la regresión simple.

FECHA DE ENSAYOS	TIRANTE (cm)	TIRANTE (m)	AREA HIDRAULICA (m <sup>2</sup> )	PERIMETRO MOJADO (m)	RADIO HIDRÁULICO R=A/P	ANCHO MEDIO (m) BM=A/d	GASTO LÍQUIDO (m <sup>3</sup> /s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s) U=Q/A	GASTO LIQUIDO UNITARIO, q=Q/B	gB (Kg/s <sup>2</sup> m)	Dm (m)	D16 (m)	D35 (m)	D40 (m)	D50 (m)	D84 (m)	D90 (m)	Dmax (m)
										Y								
19/07/2012	20.00	0.20	0.57	5.21	0.109	2.85	1.093	1.918	0.384	26.635	0.0104	0.0016	0.0044	0.0054	0.0079	0.018	0.022	0.038
23/07/2012	17.92	0.18	0.47	4.90	0.096	2.623	0.743	1.581	0.283	14.078	0.0071	0.0012	0.0025	0.0032	0.0045	0.014	0.017	0.038
27/07/2012	18.00	0.18	0.47	4.90	0.096	2.611	0.755	1.606	0.289	14.305	0.0071	0.0012	0.0025	0.0032	0.0045	0.014	0.017	0.038
29/07/2012	19.56	0.20	0.57	5.21	0.109	2.915	1.010	1.772	0.346	15.500	0.0064	0.0011	0.002	0.0026	0.0039	0.012	0.016	0.038
31/07/2012	19.90	0.20	0.57	5.21	0.109	2.865	1.074	1.884	0.375	30.670	0.0079	0.0011	0.002	0.0028	0.0043	0.016	0.019	0.038
02/08/2012	17.70	0.18	0.47	4.90	0.096	2.655	0.712	1.515	0.268	6.175	0.0085	0.0014	0.0036	0.0044	0.0065	0.016	0.019	0.038
06/08/2012	17.52	0.18	0.47	4.90	0.096	2.683	0.687	1.462	0.256	5.605	0.0068	0.0014	0.0033	0.004	0.0077	0.013	0.015	0.025
10/08/2012	16.69	0.17	0.42	4.73	0.089	2.516	0.579	1.379	0.23	9.478	0.0047	0.009	0.0014	0.0016	0.0019	0.01	0.013	0.025
12/08/2012	16.09	0.16	0.38	4.57	0.083	2.362	0.509	1.339	0.215	6.746	0.0063	0.0011	0.002	0.0025	0.0037	0.012	0.015	0.038
24/08/2012	16.44	0.16	0.38	4.57	0.083	2.311	0.550	1.447	0.238	7.305	0.00127	0.0016	0.0056	0.0073	0.0106	0.024	0.029	0.038
31/08/2012	16.37	0.16	0.38	4.57	0.083	2.322	0.541	1.424	0.233	7.978	0.0095	0.0012	0.0027	0.0036	0.0059	0.02	0.024	0.038
10/09/2012	17.36	0.17	0.42	4.73	0.089	2.419	0.665	1.583	0.275	13.140	0.0067	0.001	0.0018	0.002	0.0032	0.014	0.018	0.038
14/09/2012	16.45	0.16	0.38	4.57	0.083	2.31	0.550	1.447	0.238	10.617	0.0111	0.0016	0.0046	0.0061	0.0092	0.021	0.024	0.038
17/09/2012	14.49	0.14	0.29	4.14	0.07	2.001	0.353	1.217	0.176	4.411	0.0092	0.0014	0.0037	0.0045	0.0069	0.018	0.021	0.038
01/10/2012	14.21	0.14	0.29	4.14	0.07	2.041	0.329	1.134	0.161	4.273	0.0016	0.0025	0.0074	0.0087	0.0111	0.025	0.043	0.076
29/10/2012	10.76	0.11	0.18	3.25	0.055	1.672	0.124	0.689	0.074	2.231	0.0078	0.0013	0.0029	0.0036	0.0051	0.016	0.018	0.038
05/11/2012	17.01	0.17	0.42	4.73	0.089	2.47	0.619	1.474	0.251	14.197	0.0061	0.0011	0.0019	0.0022	0.0037	0.012	0.015	0.38

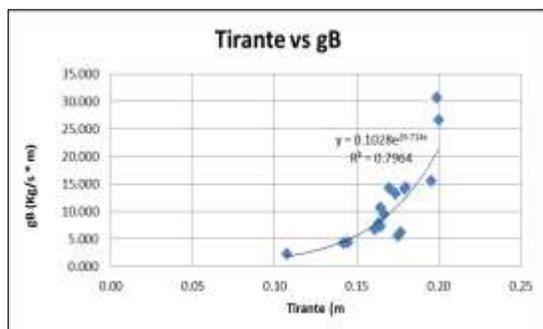
Tabla 7. Datos utilizados para la aplicación de la Regresión Simple.

Fuente: Elaboración propia

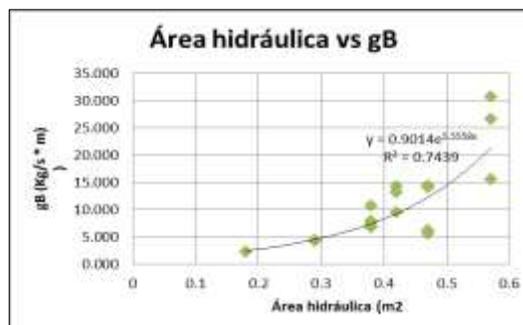


## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

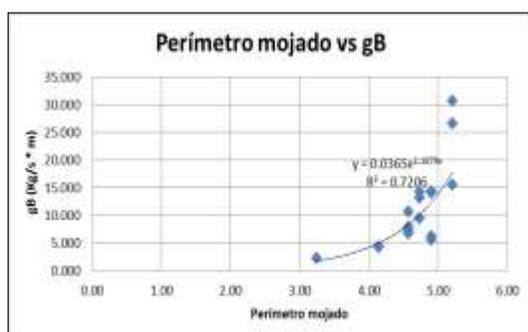
Después de realizar varios tanteos, con regresión potencial, exponencial, y lineal, la regresión que mejor se ajusta y que obtiene un coeficiente de correlación cercano 1; es la regresión Exponencial. Las siguientes Figuras (Fig. 10), muestran el comportamiento que relaciona la cantidad de sedimento ( $g_B$ ) con respecto a cada uno de los parámetros hidráulicos y geométricos:



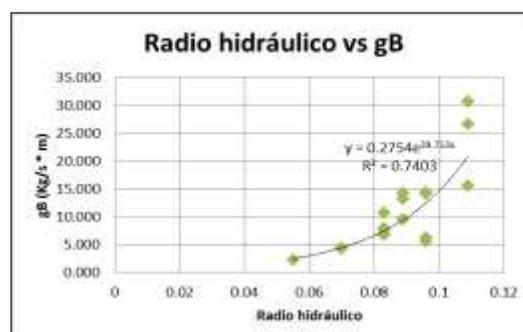
a) Correlación Tirante vs  $G_b$



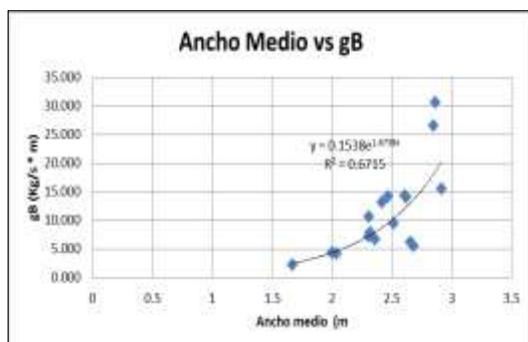
b) Correlación Área Hidráulica vs  $G_b$



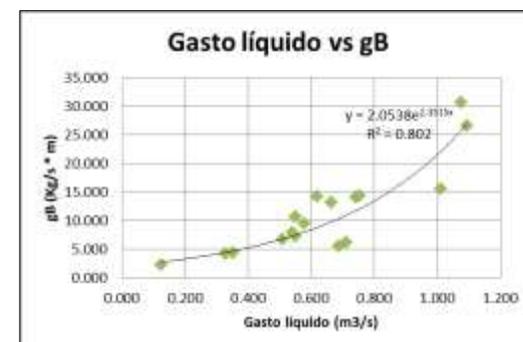
c) Correlación PM vs  $G_b$



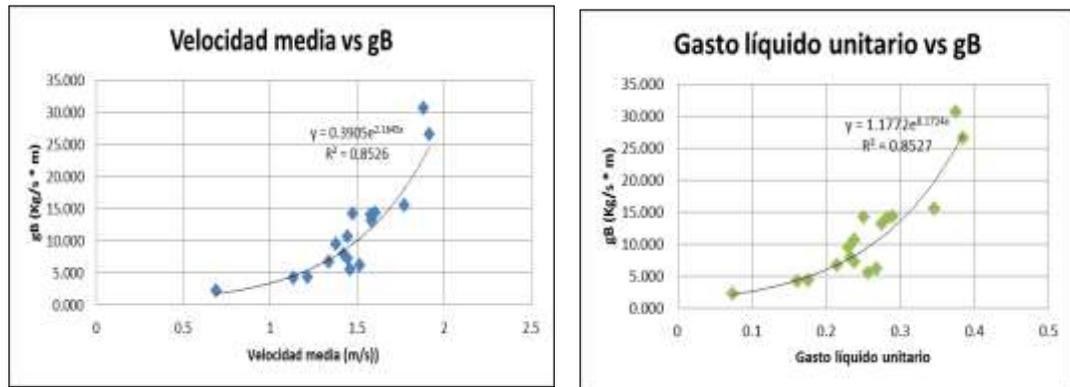
d) Correlación RH. vs  $G_b$



d) Correlación AM. vs  $G_b$



e) Correlación GL. vs  $G_b$



f) Correlación Velocidad Media vs Gb

g) Correlación Gasto Líquido Unitario. vs Gb

Figura 10: Regresión Simple (Correlación y  $R^2$ )

Fuente: Elaboración propia.

### RESUMEN DE REGRESIÓN SIMPLE EXPONENCIAL

PARÁMETRO	Tirante
ECUACIÓN	$y = 0.1028e^{26.714x}$
$R^2$	$R^2 = 0.7964$
PARÁMETRO	Área hidráulica
ECUACIÓN	$y = 0.9014e^{5.5558x}$
$R^2$	$R^2 = 0.7439$
PARÁMETRO	Perímetro Mojado
ECUACIÓN	$y = 0.0365e^{1.1879x}$
$R^2$	$R^2 = 0.7206$
PARÁMETRO	Radio Hidráulico
ECUACIÓN	$y = 0.2754e^{39.713x}$
$R^2$	$R^2 = 0.7403$
PARÁMETRO	Ancho Medio
ECUACIÓN	$y = 0.1538e^{1.6738x}$
$R^2$	$R^2 = 0.6715$
PARÁMETRO	Gasto líquido
ECUACIÓN	$y = 2.0538e^{2.3515x}$
$R^2$	$R^2 = 0.802$
PARÁMETRO	Velocidad media
ECUACIÓN	$y = 0.3905e^{2.1645x}$
$R^2$	$R^2 = 0.8526$
PARÁMETRO	Gasto líquido Unitario
ECUACIÓN	$y = 1.1772e^{8.1724x}$
$R^2$	$R^2 = 0.8527$

Tabla 8. Resumen de la Regresión Simple Exponencial.

Fuente: Elaboración propia

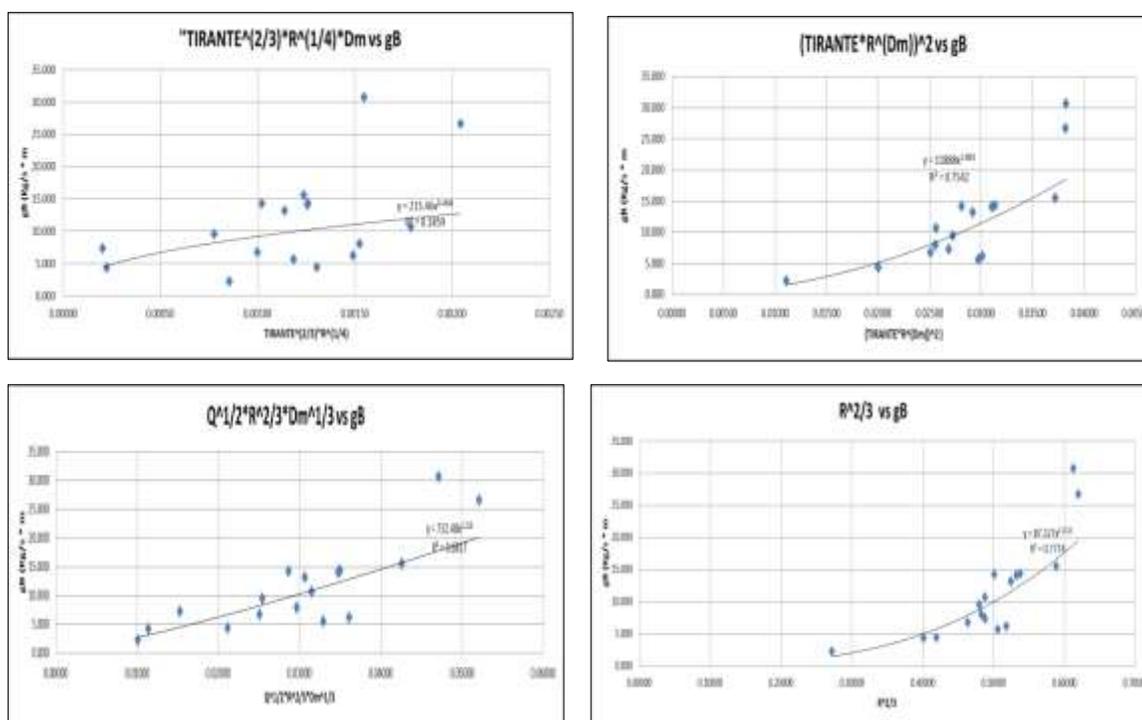


## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

En el Tabla 8, se puede observar el resumen de los parámetros hidráulicos, aplicando la regresión simple, donde se puede ver claramente, que los datos que mejor se ajustan son: la Velocidad media con un  $R^2 = 0.8526$  y el gasto líquido unitario con un  $R^2 = 0.8527$ ; datos que se utilizarán para aplicar la regresión múltiple.

Además se realizó la regresión simple potencial, realizando tanteos de variables, con cada uno de los parámetros hidráulicos y geométricos, elevados a un exponente como se indica en las Figuras siguientes:

### ➤ REGRESIÓN SIMPLE POTENCIAL, POR MEDIO DE TANTEO.

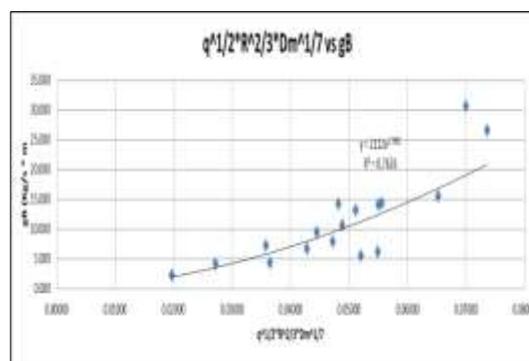
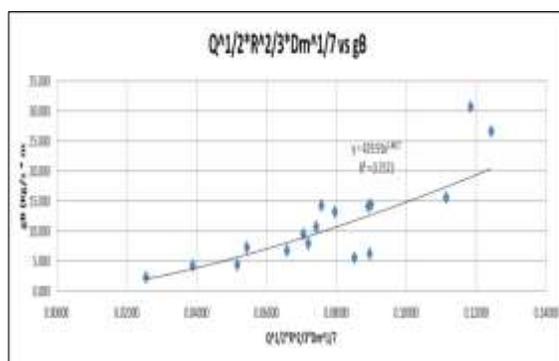
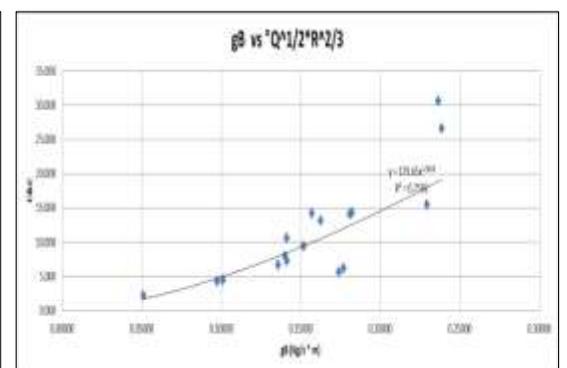
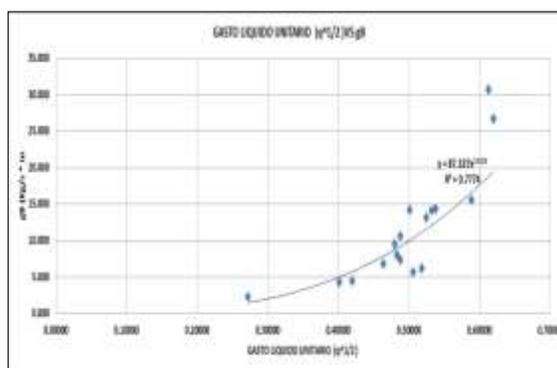
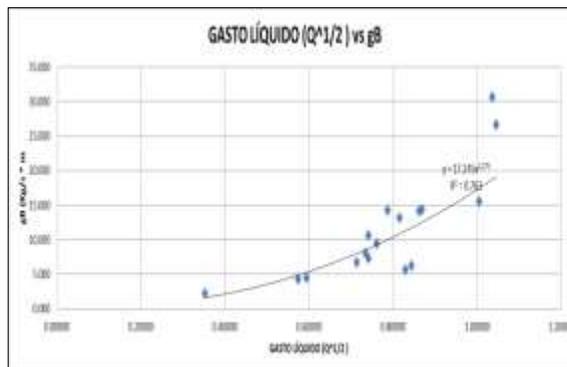
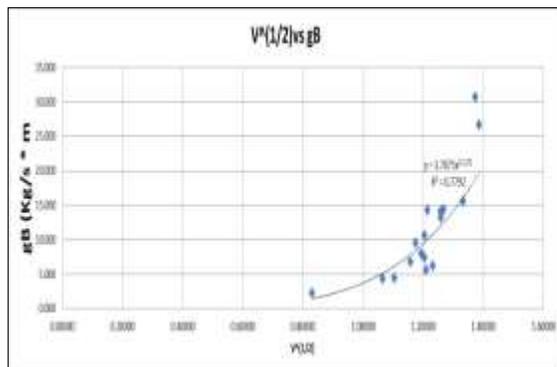


...Sigue.



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

...Continúa.

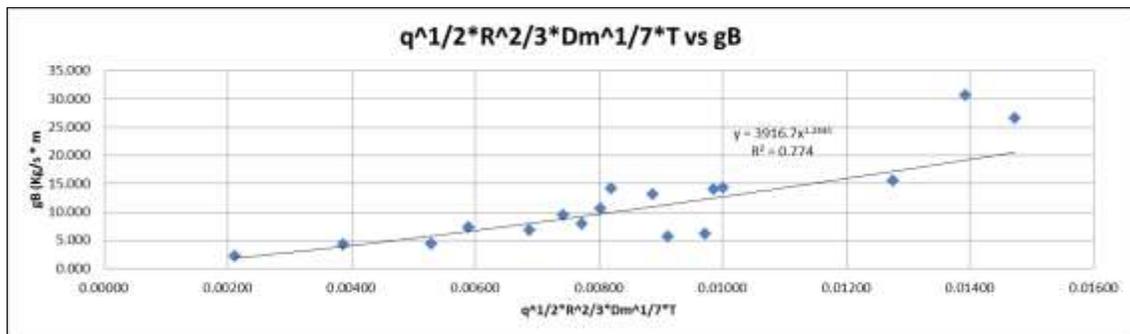


...Sigue.



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

...Continúa.



En el Tabla 9. Se presenta el resumen de las regresiones simple potencial aplicando tanteos elevados a un exponente, que por medio del coeficiente de correlación se establece cual es el más indicado, como resultado; la ecuación encontrada abarca la mayoría de los parámetros entonces la ecuación que se ajusta es:

$$q^{1/2} \times R^{2/3} \times Dm^{1/7} \times \text{TIRANTE}$$

$$y = 3916.7x^{1.2445}$$

$$R^2 = 0.774$$

A este resultado se aplicará regresión múltiple, para definir la ecuación particular.



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

### RESUMEN DE REGRESIÓN SIMPLE POTENCIAL: TANTEOS ELEVADOS A UN EXPONENTE.

PARÁMETRO_TANTEO	TIRANTE <sup>(2/3)</sup> *R <sup>(1/4)</sup> *Dm
ECUACIÓN	$y = 215.46x^{0.4568}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.1859
PARÁMETRO_TANTEO	(TIRANTE*R <sup>(Dm)</sup> ) <sup>2</sup>
ECUACIÓN	$y = 11888x^{1.9801}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7542
PARÁMETRO_TANTEO	Q <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/3</sup>
ECUACIÓN	$y = 732.48x^{1.216}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.6817
PARÁMETRO_TANTEO	"Q <sup>(1.7/1.986)</sup> *R*Dm <sup>(1.53/1.985)</sup>
ECUACIÓN	$y = 682.08x^{0.6298}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.6125
PARÁMETRO_TANTEO	R <sup>2/3</sup>
ECUACIÓN	$y = 25693x^{4.8765}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7357
PARÁMETRO_TANTEO	V <sup>1/2</sup>
ECUACIÓN	$y = 3.7075x^{5.1172}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7792
PARÁMETRO_TANTEO	GASTO LÍQUIDO (Q <sup>1/2</sup> )
ECUACIÓN	$y = 17.245x^{2.275}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.763
PARÁMETRO_TANTEO	GASTO LÍQUIDO UNITARIO (Q <sup>1/2</sup> )
ECUACIÓN	$y = 87.327x^{3.1313}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7774
PARÁMETRO_TANTEO	Q <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup>
ECUACIÓN	$y = 179.65x^{1.5614}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7592
PARÁMETRO_TANTEO	"Q <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/7</sup>
ECUACIÓN	$y = 430.59x^{1.4622}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.757
PARÁMETRO_TANTEO	q <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/7</sup> *TIRANTE
ECUACIÓN	$y = 3916.7x^{1.2445}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.774
PARÁMETRO_TANTEO	"Q_lu <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/7</sup>
ECUACIÓN	$y = 2112x^{1.7692}$
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7626

**Tabla 9.** Resumen de la Regresión Simple Potencial\_Tanteos elevados a un exponente.  
**Fuente:** Elaboración propia



### **3.5 REGRESIÓN MÚLTIPLE.**

Luego de realizar la regresión simple, se aplica la regresión múltiple para establecer las estadísticas de regresión, donde se utiliza más de una variable explicativa (varias variables  $q$ ,  $R$ ,  $D_m$ ); como se indica en el Tabla 10:

La regresión múltiple se aplicará con los dos parámetros que se indican a continuación, por ser los que más se ajustan:

➤ **VELOCIDAD MEDIA**

$$y = 0.3905e^{2.1645x}$$

$$R^2 = 0.8526$$

➤ **GASTO LIQUIDO UNITARIO,  $q=Q/B$**

$$y = 1.1772e^{8.1724x}$$

$$R^2 = 0.8527$$



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

FECHA DE ENSAYOS	VELOCIDAD MEDIA (m/s) $U=Q/A$	GASTO LIQUIDO UNITARIO, $q=Q/B$	gB (Kg/s*m) CAMPO
	X1 $y = 0.3905e^{2.1645x}$	X2 $y = 1.1772e^{8.1724x}$	
19/07/2012	24.808	27.149	26.635
23/07/2012	11.962	11.893	14.078
27/07/2012	12.627	12.490	14.305
29/07/2012	18.087	19.901	15.500
31/07/2012	23.048	25.224	30.670
02/08/2012	10.370	10.521	6.175
06/08/2012	9.246	9.538	5.605
10/08/2012	7.725	7.712	9.478
12/08/2012	7.085	6.822	6.746
24/08/2012	8.950	8.233	7.305
31/08/2012	8.516	7.904	7.978
10/09/2012	12.014	11.140	13.140
14/09/2012	8.950	8.233	10.617
17/09/2012	5.440	4.960	4.411
01/10/2012	4.546	4.388	4.273
29/10/2012	1.735	2.155	2.231
05/11/2012	9.489	9.156	14.197

**Tabla 10.** Datos utilizados para la Regresión Múltiple Exponencial.

**Fuente:** Elaboración propia

Por lo tanto las Estadísticas de regresión exponencial, se detalla a continuación:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
<b>Coeficiente de correlación múltiple</b>	0.8833851
<b>Coeficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0.7803692
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>0.7489933</b>
<b>Error típico</b>	3.8518393
<b>Observaciones</b>	17

**Tabla 11.** Estadísticas de regresión exponencial.

**Fuente:** Elaboración propia.



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

De acuerdo a la Tabla 11, los resultados son: coeficiente de correlación  $R^2 = 0.7489$ , donde se ajusta perfectamente, y por lo tanto la ecuación será:

$$gB = -1.93147 + 1.62822 X_1 - 0.39691 X_2$$

$$gB = -1.93147 + 1.62822(0.3905e^{2.1645V}) - 0.39691(1.1772e^{8.1724q})$$

$$gB = -1.93147 + 0.6358e^{2.1645V} - 0.4672e^{8.1724q} \quad [\text{Ec.3-36}]$$

La regresión múltiple por tanteo elevado a un exponente, se indica en el Tabla 12:

FECHA DE ENSAYOS	$X = q^{1/2} * R^{2/3} * D_m^{1/7} * \text{TIRANTE}$	gB (Kg/s*m) CAMPO
	$y = 3916.7x^{1.2445}$	
19/07/2012	24.808	26.635
23/07/2012	11.962	14.078
27/07/2012	12.627	14.305
29/07/2012	18.087	15.500
31/07/2012	23.048	30.670
02/08/2012	10.370	6.175
06/08/2012	9.246	5.605
10/08/2012	7.725	9.478
12/08/2012	7.085	6.746
24/08/2012	8.950	7.305
31/08/2012	8.516	7.978
10/09/2012	12.014	13.140
14/09/2012	8.950	10.617
17/09/2012	5.440	4.411
01/10/2012	4.546	4.273
29/10/2012	1.735	2.231
05/11/2012	9.489	14.197

**Tabla 12.** Datos utilizados para la Regresión Múltiple Potencial\_Tanteos  
Fuente: Elaboración propia



Por lo tanto las Estadísticas de regresión múltiple por tanteos, se detalla a continuación:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
<b>Coeficiente de correlación múltiple</b>	0.8763
<b>Coeficiente de determinación R<sup>2</sup></b>	0.7680
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>0.7525</b>
<b>Error típico</b>	3.8240
<b>Observaciones</b>	17

**Tabla 13.** Estadísticas de regresión múltiple por tanteos.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Por lo tanto la ecuación encontrada es:**

$$gB = -2.86269 + 1.34257 X1$$

$$gB = -2.86269 + 1.34257 * 2112 * \left( q^{\frac{1}{2}} * R^{\frac{2}{3}} * D_m^{\frac{1}{7}} * T \right)^{1.7692}$$

$$gB = -2.86269 + 2835.5078 * \left( q^{\frac{1}{2}} * R^{\frac{2}{3}} * D_m^{\frac{1}{7}} * T \right)^{1.7692} \quad \text{[Ec.3-37]}$$

### **3.6 PARÁMETROS DE VALIDACIÓN.**

1. Se determina los parámetros de validación, con los dos parámetros hidráulicos; velocidad media y gasto líquido unitario:



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

---

Por lo tanto los coeficientes de validación son:

<b><i>R</i></b>	0.9815	
<b><i>R<sup>2</sup></i></b>	0.9633	Coeficiente de Correlación
<b><i>EF</i></b>	0.9633	Coeficiente de Eficiencia de Nash
<b><i>RMSE</i></b>	2.6021	Error Cuadrático Medio

**Tabla 14.** Coeficientes de Validación, con parámetros hidráulicos.

**Fuente:** Elaboración propia.

2. Se determina los parámetros de validación, por tanteo elevado a un exponente:

Por lo tanto los coeficientes de validación tanteos son:

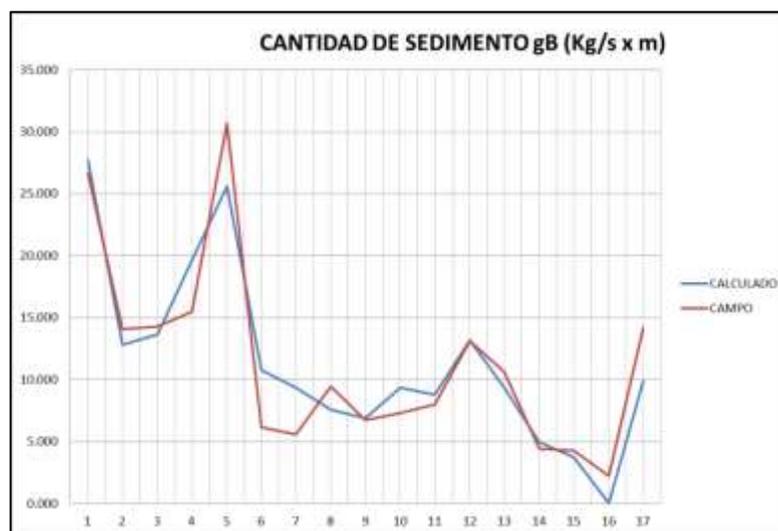
<b><i>R</i></b>	0.964807041	
<b><i>R<sup>2</sup></i></b>	0.930852626	Coeficiente de Correlación
<b><i>EF</i></b>	0.930852511	Coeficiente de Eficiencia de Nash
<b><i>RMSE</i></b>	3.576450672	Error Cuadrático Medio

**Tabla 15.** Coeficientes de Validación, por tanteo.

**Fuente:** Elaboración propia.

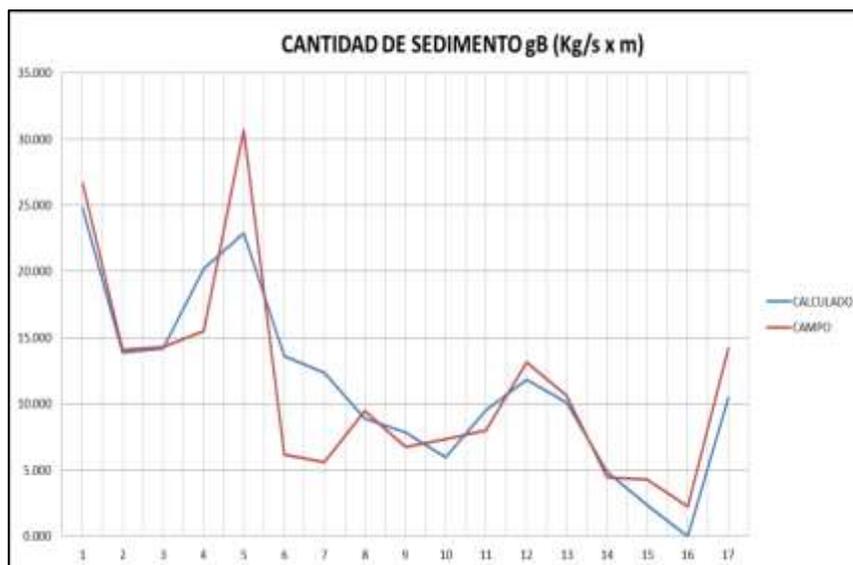


### 3.7 COMPARACIÓN ENTRE SEDIMENTO DE CAMPO Y CALCULADO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD Y GASTO LÍQUIDO.



**Figura 11.** Comparación Cantidad de sedimento y calculado Con Velocidad y Gasto líquido Unitario.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 12.** Comparación Cantidad de sedimento y calculado por medio de tanteos.

**Fuente:** Elaboración propia



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

---

Luego de haber realizado el análisis con los parámetros hidráulicos y geométricos, y por medio de tanteo elevado a un exponente, la ecuación que mejor se ajusta; es aplicando la regresión exponencial con la velocidad media y gasto líquido unitario, **Ec. [3-36]**.

Por lo tanto la ecuación particular de la cuenca el Limón en la ciudad de Zamora, de acuerdo a los parámetros de validación; donde se ha comprobado que el ajuste de variables es moderada.

Los resultados son los siguientes: un coeficiente de correlación **R<sup>2</sup>:0.96**, un Coeficiente de Eficiencia de Nash: **0.963**; y un error cuadrático medio de: **2.602**, para finalmente determinar la ecuación final será:

$$gB = -1.93147 + 0.6358e^{2.1643V} - 0.4672e^{8.1724q} \quad \text{[Ec.3-36]}$$

### 3.8 TRANSPORTE DE SEDIMENTO DE FONDO, DETERMINADAS POR ECUACIONES DE DIFERENTES AUTORES.

Los resultados se obtuvieron empleando el laboratorio virtual de hidrología de la Universidad Técnica Particular de Loja (HYDROVLAB), como se observa en el Tabla 16.



## TRANSPORTE DE FONDO (gB)

FECHA	Dubois y Straub	Schoklitsch	Shields	Meyer-Peter y Müller	Levi	Einstein	Einstein Brown	Sato, kikkawa y Ashida (1)	Sato, kikkawa y Ashida (2)	Rottner	Frijlink	Yalin	Pernecker y Vallmer	Inglis y Lacey	Bogardi	Van Rijn
	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m
19/07/2012	4.5235	6.306		6.524	5.316		11.0988		0.9548		8.1603	1.1795	8.912	57.7855	1.2952	
23/07/2012	5.6695	4.6962		3.8687	2.4565		17.3256	0.5324	0.5324		4.3883	1.3878	9.7132	29.373	2.0483	
27/07/2012	5.6695	4.7708		4.0374	2.6544		17.3256	0.5324	0.6142		4.5016	1.3878	9.7132	31.7699	2.0483	
29/07/2012	8.5117	5.8613		5.2481	4.1911		31.8085		0.775		4.7047	2.1618	15.3334	49.2791	4.6237	
31/07/2012	7.8294	6.2305		6.3073	5.2736		27.5039		0.8693		5.7282	1.6961	12.1634	60.6966	2.6626	
02/08/2012	4.0525	4.4809		3.3867	1.8821		10.0105	0.5126			4.7208	1.1014	7.9292	21.8543	1.278	
06/08/2012	4.5808	4.3296		2.9864	1.7877		12.177	0.5372			3.8443	1.476	10.191	20.6485	2.2936	
10/08/2012	9.9721	3.8812		2.6801	1.5491			0.5001			2.0711	1.8592		19.3601	4.3939	2.0071
12/08/2012	4.9459	3.5385		2.4002	1.1724		15.097	0.43			2.983	1.1323	7.6386	15.4273	1.5553	
24/08/2012	1.7445	3.7348	5.7987	2.9437	1.4491		3.1387	0.3429	0.3429		5.5164	0.3784	3.3343	15.9661	0.2476	
31/08/2012	3.2232	3.7502		3.0081	1.432		7.5351	0.3875	0.3875		4.7392	0.6359	4.7615	17.2	0.53	
10/09/2012	6.4601	4.4531		4.0543	2.5931		22.8079		0.5463		3.8073	1.2299	8.4682	32.2297	1.7349	
14/09/2012	2.0468	3.7639	7.0253	2.9002	1.4945		3.8799	0.3652	0.3652		4.977	0.4873	3.9451	17.0843	0.3524	
17/09/2012	1.8499	2.7826	5.828	1.745	0.6936		3.5662	0.2871			3.2354	0.4061	3.1118	9.0312	0.2844	
01/10/2012	1.0567	2.4904	2.8204	1.1698	0.9534	1.8315		0.2011			4.0968	0.1173	1.4927	4.8444	0.0667	
29/10/2012	1.4571	1.2289		0.1622	0.0093		2.7676	0.199			0.6107	0.27	2.0072	0.7266	0.1665	
05/11/2012	5.6991	4.144		3.1682	1.8712		18.3891	0.4817	0.4817		3.4685	1.3809	9.3991	23.6581	2.2186	

Tabla 16. Resumen de datos, de transporte de sedimentos por medio de Autores, aplicando Hidrovlab.

Fuente: Elaboración propia.



### ➤ ANÁLISIS DE ECUACIONES UTILIZADAS DE VARIOS AUTORES

Como se indica en Tabla 17. El análisis de ecuaciones utilizadas de varios autores, y las que mejor se ajustan son: Schoklitsch, Sato, Kikkawa, Inglis, Meyer-Peter, de acuerdo a sus parámetros de correlación.

N°	gB DE CAMPO (Kg/s*m)	REGRESIÓN EXPONENCIAL			
		Schoklitsch	Sato, kikkawa	Inglis	Meyer-Peter (Kg/s*m)
1	<b>26.635</b>	19.333	26.453	18.021	16.773
2	<b>14.078</b>	12.301	13.412	12.222	11.773
3	<b>14.305</b>	12.602	15.837	12.784	12.118
4	<b>15.500</b>	17.282	20.755	16.447	14.474
5	<b>30.670</b>	18.980	23.719	18.537	16.394
6	<b>6.175</b>	11.447		10.314	10.758
7	<b>5.605</b>	10.859		9.984	9.879
8	<b>9.478</b>	9.183		9.621	9.181
9	<b>6.746</b>	7.968		8.446	8.520
10	<b>7.305</b>	8.657	8.041	8.614	9.783
11	<b>7.978</b>	8.711	9.270	8.990	9.928
12	<b>13.140</b>	11.338	13.820	12.890	12.153
13	<b>10.617</b>	8.760	8.653	8.955	9.685
14	<b>4.411</b>	5.512		6.211	6.865
15	<b>4.273</b>	4.649		4.344	5.236
16	<b>2.231</b>	1.573		1.462	1.373
17	<b>14.197</b>	10.153	11.939	10.794	10.283
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0.798</b>	<b>0.746</b>	<b>0.822</b>	<b>0.766</b>
<b>COEFICIENTES DE VALIDACIÓN</b>	<b>EF</b>	0.722	0.669	0.718	0.619
	<b>RMS</b>	4.083	4.459	4.118	4.787

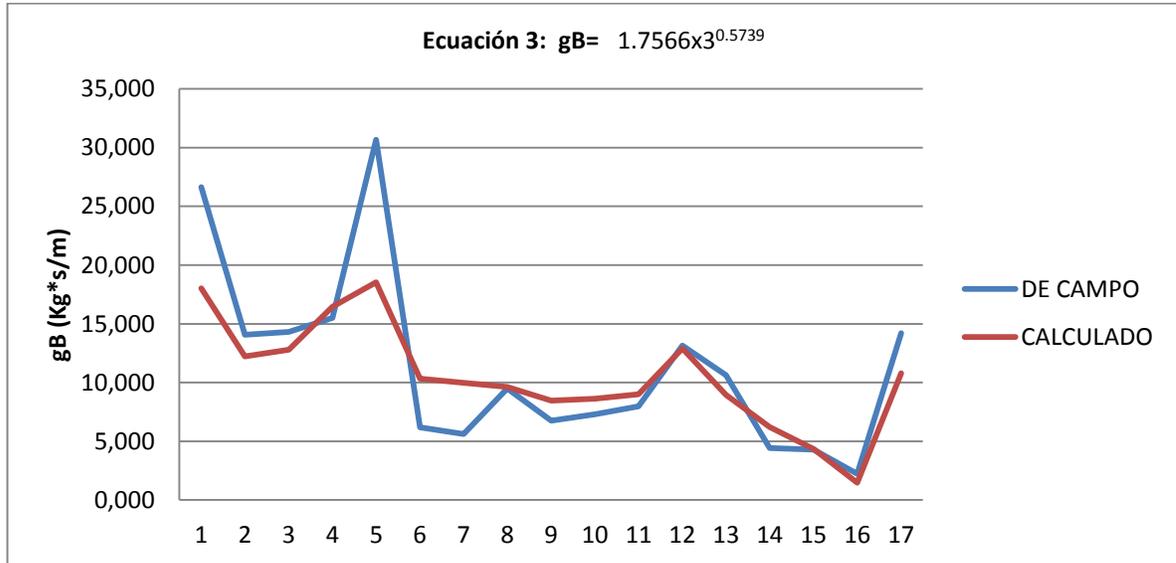
**Tabla 17.** Análisis de ecuaciones utilizadas de varios autores.

**Fuente:** Elaboración propia.

Luego de analizar, con cada uno de los métodos universales, el método que se acepta de acuerdo a sus coeficientes de validación, es el Método de Inglis, con un coeficiente de correlación de **0.822**, **EF= 0.718**, y un error de **4.118**, resultados óptimos, para concluir que el método es moderado y aceptado.



➤ **COMPARACIÓN DE CANTIDAD DE SEDIMENTO DE CAMPO CON EL CALCULADO DE DIFERENTES AUTORES**



**Figura 13:** Comparación de cantidad de sedimento de campo con el calculado de diferentes autores.

**Fuente:** Elaboración propia.



## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



#### 4. CONCLUSIONES

- La ecuación particular determinada y que cumple con los parámetros de validación para la cuenca el Limón del río Zamora, en el campo es la [Ec.3-36]:

$$gB = -1.93147 + 0.6358e^{2.1645V} - 0.4672e^{8.1724q}$$

Dando un coeficiente de correlación  $R^2 = 0.96$ , un Coeficiente de Eficiencia de Nash = 0.963; y un error cuadrático medio de = 2.602.

- El método aceptado, para el cálculo de transporte de fondo, de las ecuaciones Universales; es el Método de Inglis, ya que se ajusta perfectamente, dando un coeficiente de correlación  $R^2 = 0.82$ , un coeficiente de eficiencia de Nash de 0.718, y un error cuadrático medio de 4.118.
- Las dos ecuaciones encontradas para el cálculo de sedimento brindan buenos resultados ya que cumplen con los rangos establecidos por los parámetros de validación.
- La ecuación obtenida de la Curva de Descarga, que relaciona el caudal con la altura del Thalimedes es la siguiente, [Ec. 3-35]:

$$Q = 313.0151 \times h^{3.5148}$$

- De los valores obtenidos de la regresión múltiple se observa y se afirma que las variables  $X_1$  (Velocidad) y,  $X_2$  (Gasto líquido unitario) se encuentran asociadas directamente con la variable dependiente.



- El tamaño de las partículas en la zona de estudio, no permiten emplear todas las ecuaciones existentes para la determinación de fondo.
- Los métodos empíricos utilizados para el cálculo del transporte de sedimentos, no contemplan parámetros de la zona de estudio, es decir la cobertura vegetal, clasificación del material, temperatura, que permitan obtener una aproximación real.
- Todos los métodos para calcular el transporte de sedimentos se basan en ecuaciones empíricas que fueron desarrolladas experimentalmente para realidades específicas, si se utiliza cualquiera de ellos en un modelo, se debe tener presente que los resultados obtenidos no pueden ser utilizados para otra cuenca, que no sea la Cuenca el Limón del río Zamora.

#### **4.1 Recomendaciones**

- Para obtener una ecuación de descarga confiable, se recomienda que el período de investigación, sea más extenso, para así poder determinar una correlación confiable y representativa.
- Realizar el muestreo, en época invernal, ya que en este período el transporte de sedimentos aumenta en función de las crecidas.
- Colocar las canastillas en un sitio adecuado, en el cual nos garantice la estabilidad de las mismas, y que la muestra obtenida, no se vea afectada.



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

---

- Es recomendable realizar el levantamiento topográfico de la zona de estudio, aguas arriba, para obtener un dato representativo y uniforme de la pendiente.
- Que el muestreo sea realizado en zonas donde no se vea afectados, por la comunidad, ya que esto influye en alteración de los datos.



## **BIBLIOGRAFÍA**



- RENÉ CORONEL CASTRO ANGEL JARAMILLO ORDOÑEZ, Valoración Económica del Servicio Ambiental Hídrico de la Microcuenca Hidrográfica el Limón"-Zamora Chinchipe, Ecuador. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, UNL. Marzo 2005
- POSADA GARCÍA LILIAN. Transporte de sedimentos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín; 1994. Moreno Bustamante Álvaro Ignacio. Transporte de sedimentos en corrientes Naturales, Universidad de Medellín. Medellín; 1982.
- GERMAN MONSALVE SAENZ, Hidrología en la Ingeniería. 2 ed. Colombia, Editorial Escuela Colombia de Ingeniería, 2002.
- FERNANDO OÑATE VALDIVIESO, Apuntes de Hidrología. 2003.
- FERNANDO OÑATE VALDIVIESO, Extracción de Modelos digital a partir de Imágenes Áster para determinación Características Morfométricas de cuencas hidroFiguras, Trabajo de investigación tutelado, Universidad de Alcalá, 2007, y disponible en: [http://sig.utpl.edu.ec/sigutpl/staftpro/hidrologia/inv\\_tutelado\\_imagenes\\_aster.pdf](http://sig.utpl.edu.ec/sigutpl/staftpro/hidrologia/inv_tutelado_imagenes_aster.pdf).
- MAZA, José; GARCÍA, Manuel. 1996. Transporte de Sedimentos. Instituto de ingeniería UNAM, México. 531 p.
- MAZA, José; GARCÍA, Manuel. 1998. Origen y propiedades de los sedimentos. Instituto de ingeniería UNAM, México. 111 p.
- MAZA, José; GARCÍA, Manuel. 1997. Inicio de movimiento y acorazamiento. Instituto de ingeniería UNAM, México. 131 p.



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

---

- W.GRIEM Y GRIEM-KLEE (1999, 2003) Apuntes de Geología General-Auxiliar Geología General: Rocas Sedimentarias, propiedades de los clastos.
- HYDROVLAB, LABORATORIO VIRTUAL DE HIDROLOGÍA\_Programa SEDIMENT V1.0, disponible en: <http://www.hydrovlab.utpl.edu.ec/>
- EXTRACCIÓN DE MODELOS DIGITALES, OÑATE VALDIVIESO FERNANDO).
- ESTUDIO, ANÁLISIS Y AUTOMATIZACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CAMPANA, Alexander R. García, Michael W. Espinoza, Fernando Oñate V, 2005. <http://sig.utpl.edu.ec/sigutpl/staftpro/hidrologia/sedimentos.pdf>.
- MANUEL GARCÍA FLORES, JOSÉ ANTONIO MAZA ÁLVAREZ, 2004).
- TORRES ORTIZ VALENTE CUÉLLAR ALCÁNTAR EDER VILLAVICENCIO CRUZ DAVID 2012; Descripción del transporte de sedimento, disponible en: [http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012\\_05\\_01\\_archive.html](http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012_05_01_archive.html)
- DEPOSITO DE DOCUMENTOS DE LA FAO, Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. (Boletín de suelos de la FAO - 68) <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s07.htm> 1997.
- MANUAL THALIMIDES, 2000 disponible en: [http://www.aseagro.com.ar/v2/archivos/Manual\\_Thalimedes.pdf](http://www.aseagro.com.ar/v2/archivos/Manual_Thalimedes.pdf)
- CHOW, V. T., HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS. PRIMERA EDICIÓN, EDITORIAL DIANA. MÉXICO. 1982.
- MAZA, J. A., "INTRODUCTION TO RIVER ENGINEERING", División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería UNAM., PARTE II. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. 1987
- LINSLEY, KOHLER, PAULUS, MCGRAW-HILL, Hidrología Para Ingenieros, , 1993



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

---

- ASTM C 127 Densidad para Agregado Grueso.
- ASTM C 128 Densidad para Agregado Fino.
- ASTM C136-96, granulometrías.
- J. M. Rojo Abuín Instituto de Economía y Geografía, Madrid, II-2007. PDF.
- F. JAVIER SÁNCHEZ SAN RAMÓN, DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA - TIPOS DE AFORO, DISPONIBLE EN: <HTTP://WEB.USAL.ES/JAVISAN/HIDRO>.
- HYDROINFORMATICS AND MANAGEMENT SYSTEMS". Ó Universidad de Newcastle: EPIC FORCE. Medición del transporte de sedimentos y curvas de descarga de sedimentos. 2000.

### PAGINAS DE INTERNET:

- [http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012\\_05\\_01\\_archive.html](http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012_05_01_archive.html)
- Visita Ecuador.com
- [http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012\\_05\\_01\\_archive.html](http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012_05_01_archive.html)
- Transportes de Sedimentos,
- [http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012\\_05\\_01\\_archive.html](http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012_05_01_archive.html).
- **Descripción del transporte de sedimentos:**  
[http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012\\_05\\_01\\_archive.html](http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012_05_01_archive.html)
- Tipos de Transporte de Sedimentos:  
[http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012\\_05\\_01\\_archive.html](http://vattendragochkuster.blogspot.com/2012_05_01_archive.html)
- Redondez de los granos:  
<http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/ggcap05b-2.htm>
- <http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/ggcap05b-2.htm>
- Vargas, 1992, Figuraiinterpretación. disponible en:  
<http://research.ncl.ac.uk/epicforce/assets/EPIC%20FORCE%20Capacity%20Building%20Sediment.pdf>

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, ECUACIONES:  
<http://es.scribd.com/doc/53109375/sedimentos-ye-cuaciones-de-arrat্রে>



# ANEXO 1

**CURVA DE DESCARGA**



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

### CURVA DE DESCARGA ALTURA VS CAUDAL

$\alpha$	2.496	$a =$	313.015
$\beta$	3.515	$n =$	3.515
$h_0$	0.000	$h_0 =$	0.000
$r$	0.841	$r =$	0.841

$$Q = 313.0151 \times h^{3.5148}$$

N	h(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	h-h <sub>0</sub>	Log (h-h <sub>0</sub> )	Log Q	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X.Y
1	0.169	0.284	0.169	-0.773	-0.547	0.597	0.300	0.423
2	0.158	0.254	0.158	-0.803	-0.594	0.644	0.353	0.477
3	0.153	0.229	0.153	-0.816	-0.640	0.665	0.409	0.522
4	0.163	0.205	0.163	-0.789	-0.689	0.623	0.475	0.544
5	0.101	0.097	0.101	-0.994	-1.015	0.988	1.029	1.008
6	0.120	0.186	0.120	-0.921	-0.730	0.848	0.533	0.672
7	0.200	1.127	0.200	-0.699	0.052	0.489	0.003	-0.036
8	0.175	0.837	0.175	-0.756	-0.077	0.571	0.006	0.058
9	0.180	0.860	0.180	-0.745	-0.065	0.555	0.004	0.049
10	0.182	0.709	0.182	-0.739	-0.150	0.546	0.022	0.111
11	0.189	1.038	0.189	-0.724	0.016	0.524	0.000	-0.012
12	0.171	0.569	0.171	-0.767	-0.245	0.589	0.060	0.188
13	0.168	0.827	0.168	-0.774	-0.082	0.599	0.007	0.064
14	0.168	0.643	0.168	-0.775	-0.192	0.601	0.037	0.149
15	0.170	0.747	0.170	-0.769	-0.127	0.591	0.016	0.097
16	0.162	0.551	0.162	-0.791	-0.259	0.626	0.067	0.205
17	0.161	0.503	0.161	-0.794	-0.299	0.630	0.089	0.237
18	0.180	1.063	0.180	-0.744	0.027	0.553	0.001	-0.020
19	0.164	0.542	0.164	-0.786	-0.266	0.618	0.071	0.209
20	0.159	0.596	0.159	-0.799	-0.225	0.638	0.051	0.180
21	0.147	0.533	0.147	-0.834	-0.273	0.695	0.075	0.228
22	0.126	0.281	0.126	-0.901	-0.551	0.811	0.304	0.496
23	0.162	0.628	0.162	-0.791	-0.202	0.626	0.041	0.160
24	0.132	0.294	0.132	-0.878	-0.532	0.771	0.283	0.467
25	0.130	0.275	0.130	-0.885	-0.560	0.783	0.314	0.496
26	0.178	1.045	0.178	-0.749	0.019	0.560	0.000	-0.014
				<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>Y<sup>2</sup></b>	<b>X.Y</b>
<b>Sumatoria</b>				-20.795	-8.207	16.744	4.549	6.958



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

COEFICIENTES DE VALIDACIÓN								
s o	0.098	0.313						
s c	0.054	0.233						
s oc	0.063							
R	0.865							
R2	0.748	Coeficiente de Correlacion						
EF	0.734	Coeficiente de Eficiencia de Nash				Mayor que 0.7		
RMS	0.162	Error Cuadrático Medio				Permite valores mayores que cero		
a =	313.015							
n =	3.515							
Nº	Altura thalimedes	Caudal con molinete	Caudal con formula	O-om	C-cm	(o-om)(c-cm)	(0-c)^2	(o-cm)^2
1	0.169	0.284	0.602	0.040	0.014	-0.024	0.101	0.040
2	0.158	0.254	0.472	0.052	0.000	0.003	0.047	0.052
3	0.153	0.229	0.425	0.065	0.003	0.015	0.038	0.065
4	0.163	0.205	0.527	0.078	0.002	-0.012	0.104	0.078
5	0.101	0.097	0.101	0.150	0.147	0.148	0.000	0.150
6	0.120	0.186	0.182	0.088	0.091	0.090	0.000	0.088
7	0.200	1.127	1.093	0.414	0.372	0.392	0.001	0.414
8	0.175	0.837	0.690	0.125	0.043	0.073	0.022	0.125
9	0.180	0.860	0.752	0.142	0.072	0.101	0.012	0.142
10	0.182	0.709	0.789	0.051	0.094	0.069	0.007	0.051
11	0.189	1.038	0.893	0.307	0.168	0.227	0.021	0.307
12	0.171	0.569	0.628	0.007	0.021	0.012	0.004	0.007
13	0.168	0.827	0.595	0.118	0.012	0.038	0.054	0.118
14	0.168	0.643	0.589	0.025	0.011	0.017	0.003	0.025
15	0.170	0.747	0.622	0.070	0.019	0.037	0.016	0.070
16	0.162	0.551	0.519	0.005	0.001	0.002	0.001	0.005
17	0.161	0.503	0.507	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
18	0.180	1.063	0.760	0.336	0.077	0.160	0.092	0.336
19	0.164	0.542	0.541	0.003	0.003	0.003	0.000	0.003
20	0.159	0.596	0.489	0.013	0.000	0.001	0.012	0.013
21	0.147	0.533	0.367	0.002	0.014	-0.006	0.028	0.002
22	0.126	0.281	0.214	0.041	0.073	0.055	0.005	0.041
23	0.162	0.628	0.518	0.021	0.001	0.005	0.012	0.021
24	0.132	0.294	0.256	0.036	0.052	0.043	0.001	0.036
25	0.130	0.275	0.242	0.043	0.058	0.050	0.001	0.043
26	0.178	1.045	0.732	0.315	0.062	0.139	0.098	0.315
26								
Sumatorias		14.922	14.105	2.548	1.410	1.640	0.678	2.548
Medias		0.483	0.483					
		Observados	Calculados					



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

### CÁLCULO DE CAUDALES

$$Q = 313.0151 \times h^{3.5148}$$

	FECHA	ALTURA PROMEDIO (cm)	ALTURA PROMEDIO (m)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
1	19/07/2012	20.000	0.20	1.093
2	23/07/2012	17.917	0.18	0.743
3	27/07/2012	18.000	0.18	0.755
4	29/07/2012	19.556	0.20	1.010
5	31/07/2012	19.896	0.20	1.074
6	02/08/2012	17.701	0.18	0.712
7	06/08/2012	17.521	0.18	0.687
8	10/08/2012	16.694	0.17	0.579
9	12/08/2012	16.090	0.16	0.509
10	24/08/2012	16.444	0.16	0.550
11	31/08/2012	16.368	0.16	0.541
12	10/09/2012	17.361	0.17	0.665
13	14/09/2012	16.451	0.16	0.550
14	17/09/2012	14.493	0.14	0.353
15	01/10/2012	14.208	0.14	0.329
16	29/10/2012	10.764	0.11	0.124
17	05/11/2012	17.007	0.17	0.619



# ANEXO 2

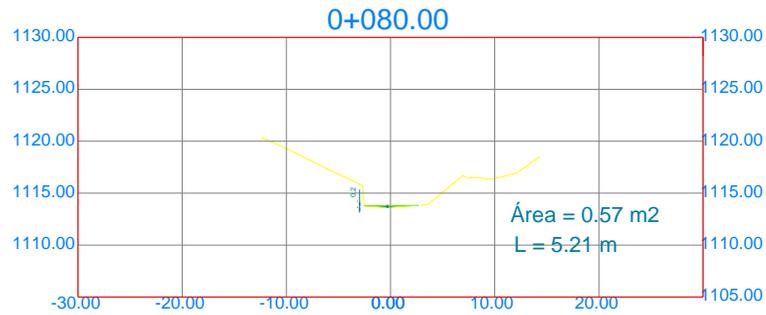
## **DATOS GEOMETRICOS E HIDRAULICOS (AUTOCAD)**

Datos Hidráulicos, se obtuvieron realizando el levantamiento del lugar de estudio, como se indica los perfiles siguientes:

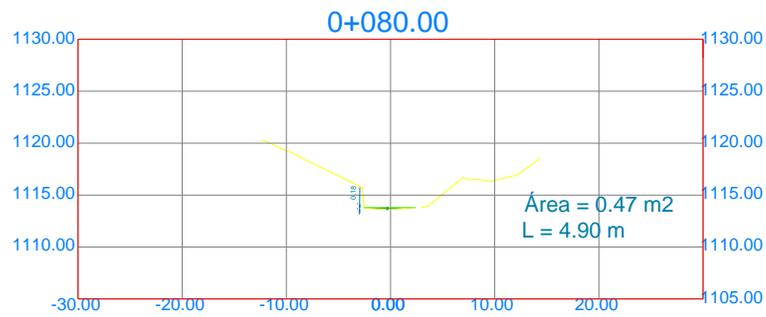


# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

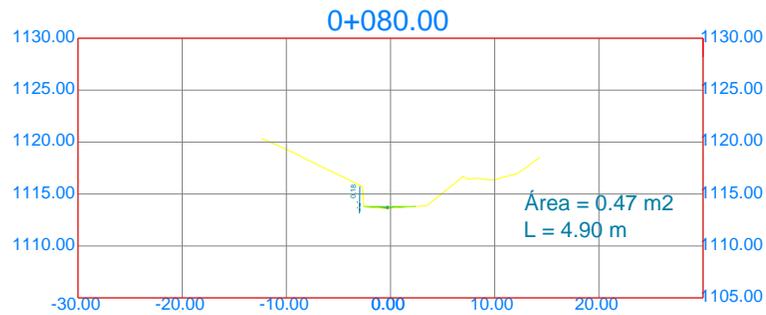
19 - JUL - 2012 H = 20cm



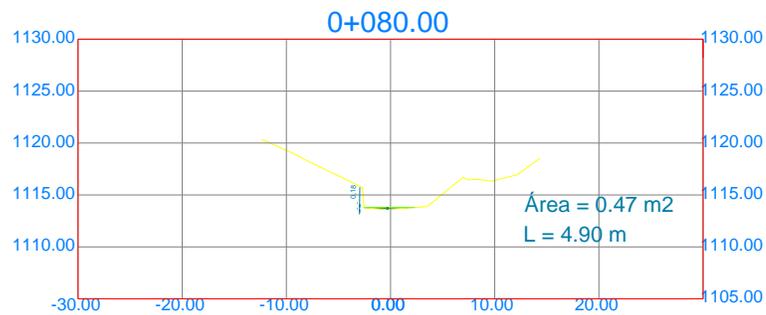
21 - JUL - 2012 H = 18cm



23 - JUL - 2012 H = 18cm



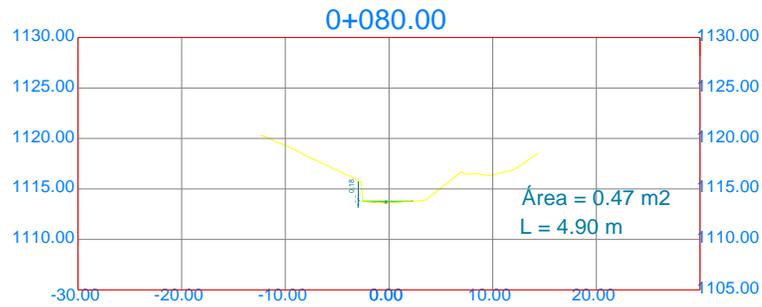
24 - JUL - 2012 H = 18cm



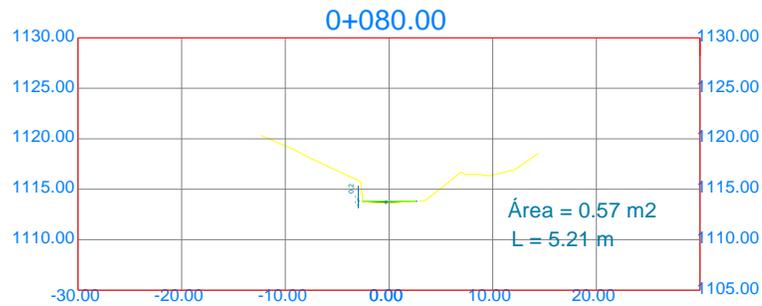


# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

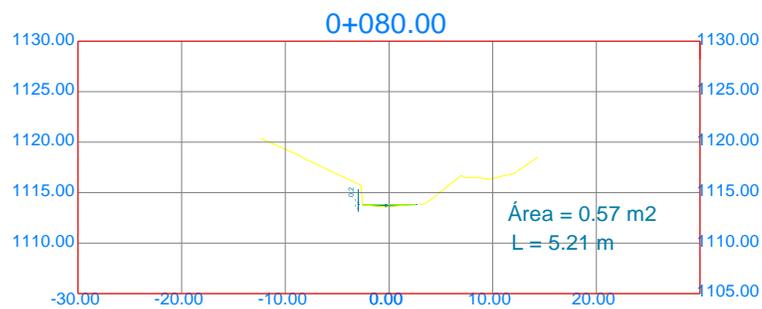
27 - JUL - 2012 H = 18cm



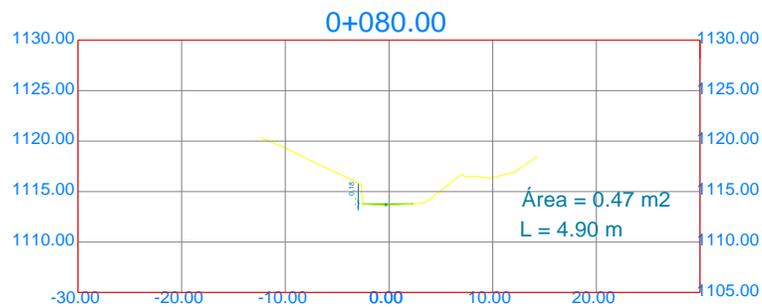
29 - JUL - 2012 H = 20cm



31 - JUL - 2012 H = 20cm



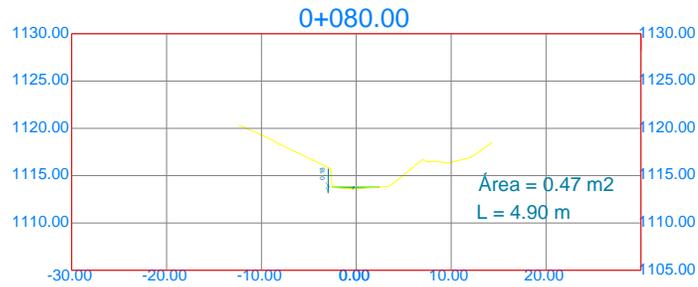
2 - AGOS - 2012 H = 18cm



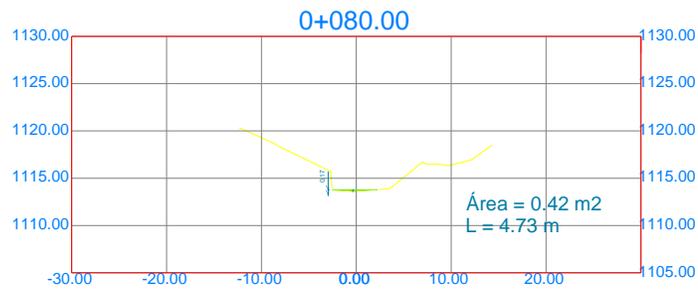


# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

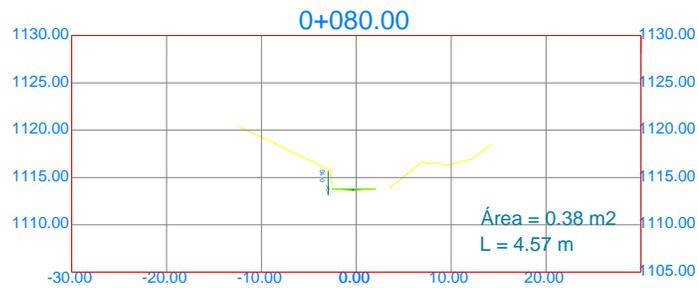
6- AGOS - 2012 H = 18cm



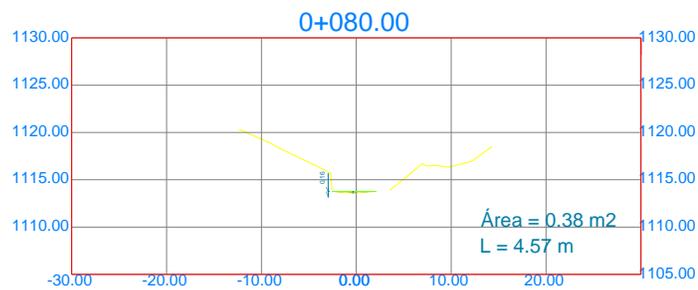
10 - AGOS - 2012 H = 17cm



12 - AGOS - 2012 H = 16cm



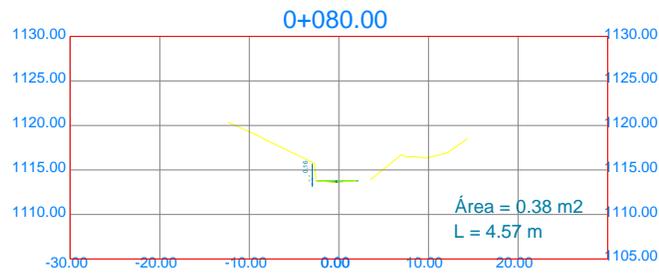
24 - AGOS - 2012 H = 16cm



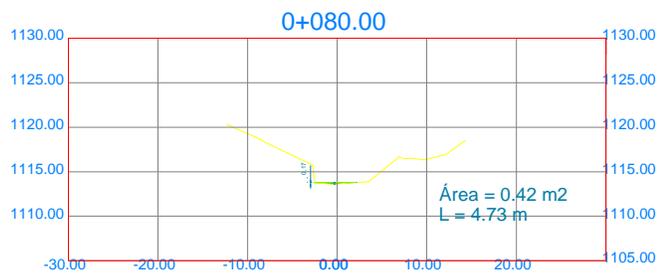


# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

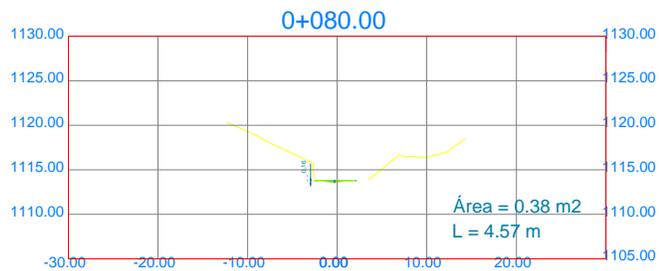
31 - AGOS - 2012 H = 16cm



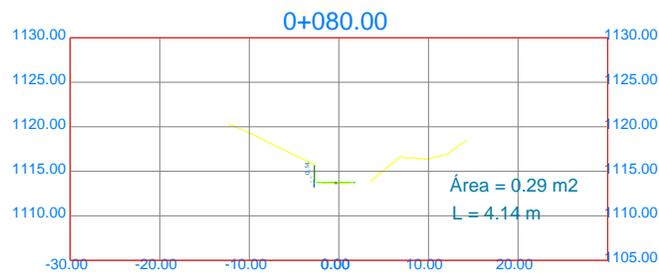
10 - SEPT - 2012 H = 17cm



16 - SEP - 2012 H = 16cm



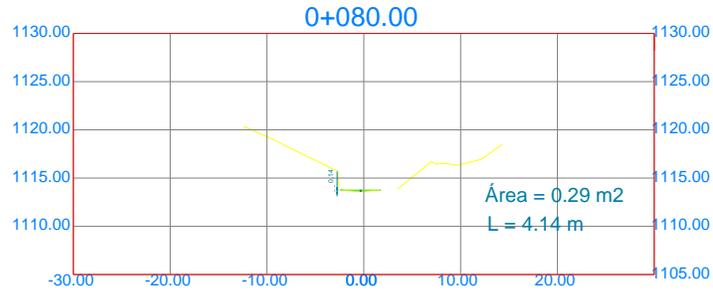
17 - SEPT - 2012 H = 14cm



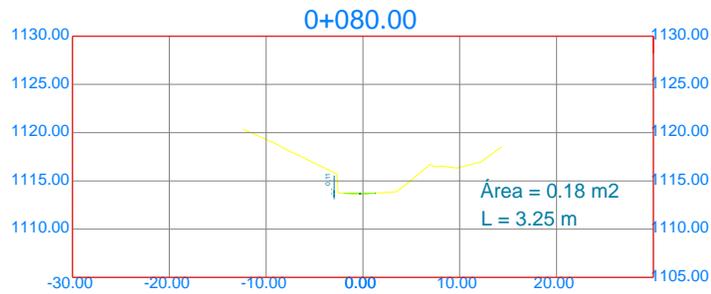


# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

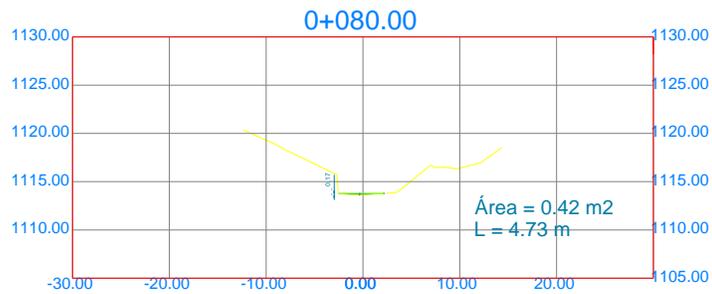
1- OCT- 2012 H = 14cm



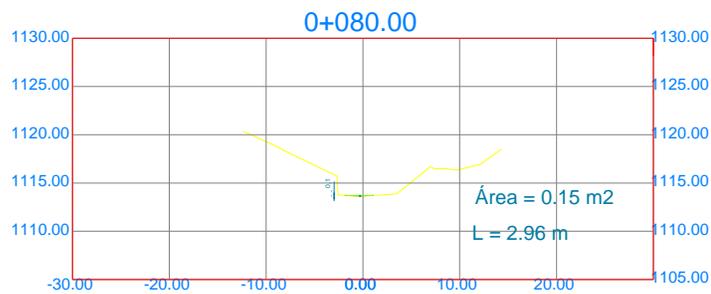
29 - OCT - 2012 H = 11cm



05 - NOV - 2012 H = 17cm



12 - NOV - 2012 H = 10 cm





## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.





# **ANEXO 3**

**GRANULOMETRIAS Y DIÁMETROS.**



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

## DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA

PROYECTO : Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en la cuenca El Limón en el Río Zamora

FECHA : 19 de Julio del 2012

Nº 2

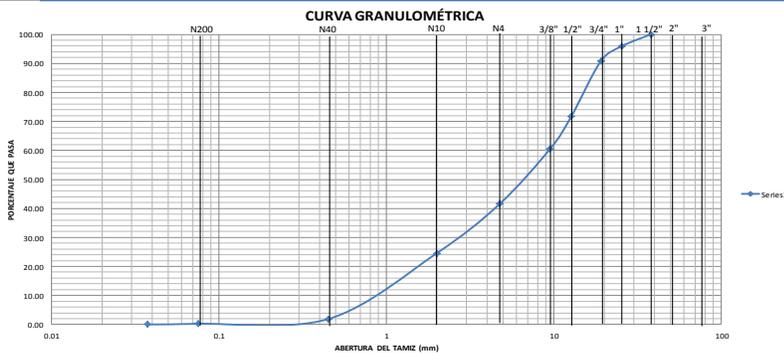
Tamiz	W tamiz	W tamiz/sumatoria	W parcial	W ret. Acum.	% retenido	% pasante
3"	0	0	0	0	0.00	100.00
11/2"	0	0	0	0	0.00	100.00
1"	345.3	1089.6	744.3	744.3	4.10	95.90
3/4"	334.2	1267.2	933	1677.3	9.23	90.77
1/2"	673.8	4151.6	3477.8	2155.1	28.38	71.62
3/8"	374.7	2393.3	2018.6	7173.7	39.29	60.51
Nº4	739.4	4156.6	3466.2	10619.9	58.46	41.54
10	681.6	3767.1	3085.50	13705.4	75.45	24.55
40	687.6	4807.7	4120.10	17825.5	98.13	1.87
200	343.1	6483.1	297.20	18122.7	99.77	0.23
Fondo	356.9	5794.4	42.50	18165.2	100.00	0.00

Tamiz	Diametro	% Pasa	Pi mm	Di mm	Pi x Di
3"					
2"					
11/2"	38.1	100.00			
1"	25.4	95.90	4.10	31.75	130.09
3/4"	19.1	90.77	5.14	22.25	114.28
1/2"	12.7	71.62	19.15	15.90	104.41
3/8"	9.5	60.51	11.11	11.10	124.35
Nº4	4.75	41.54	18.97	7.13	135.27
10	2	24.55	16.99	3.38	57.41
40	0.45	1.87	22.68	1.23	27.90
200	0.075	0.23	1.64	0.26	0.43
FONDO	0.0375	0.00	0.23	0.06	0.01
TOTAL =		100			893.15

Dms = 8.9 mm

DATOS	
Peso total de la muestra	18165.2

Dm	mm
D16	1.4
D35	3.7
D40	4.5
D50	6.9
D84	17
D90	19
Dmax	38



## DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA

PROYECTO : Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en la cuenca El Limón en el Río Zamora

FECHA : 23 de Julio del 2012

Nº 3

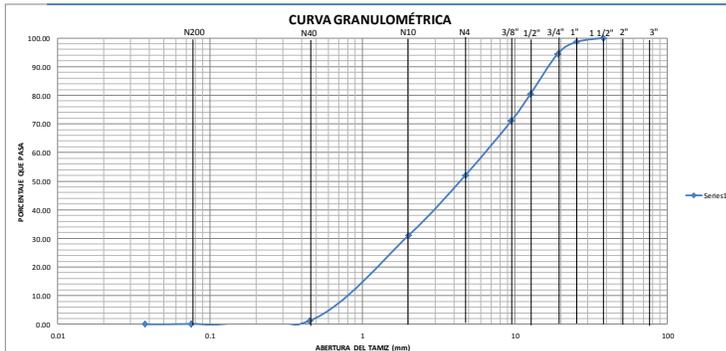
Tamiz	W tamiz	W tamiz/sumatoria	W parcial	W ret. Acum.	% retenido	% pasante
3"	0	0	0	0	0.00	100.00
11/2"	0	0	0	0	0.00	100.00
1"	343.84	468.37	124.53	124.53	1.40	98.60
3/4"	334.21	704.7	370.49	495.02	5.56	94.44
1/2"	386	1577.4	1284.5	1778.52	19.89	80.51
3/8"	374.67	1216.3	841.63	2573.15	28.94	71.06
Nº4	345.2	2033.2	1688	4266.15	47.90	52.10
10	345.11	2238.5	1885.19	6150.34	69.07	30.93
40	334.24	2962.5	2648.26	8798.6	98.80	1.20
200	186.89	4128.6	95.97	8884.57	99.88	0.12
Fondo	314.73	385.2	10.47	8905.04	100.00	0.00

Tamiz	Diametro	% Pasa	Pi mm	Di mm	Pi x Di
3"					
2"					
11/2"	38.1	100.00			
1"	25.4	98.60	1.40	31.75	44.40
3/4"	19.1	94.44	4.16	22.25	92.57
1/2"	12.7	80.51	11.93	15.90	211.49
3/8"	9.5	71.06	9.45	11.10	104.93
Nº4	4.75	52.10	18.96	7.13	135.15
10	2	30.93	21.17	3.38	71.55
40	0.45	1.20	29.74	1.23	36.58
200	0.075	0.12	1.08	0.26	0.28
FONDO	0.0375	0.00	0.12	0.06	0.01
TOTAL =		100			706.94

Dms = 7.1 mm

DATOS	
Peso total de la muestra	8905.04

Dm	mm
D16	1.2
D35	2.5
D40	3.2
D50	4.5
D84	14
D90	17
Dmax	38





# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

## DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA

PROYECTO : Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en la cuenca El Limón en el Río Zamora

FECHA : 27 de Julio del 2012

Nº 6

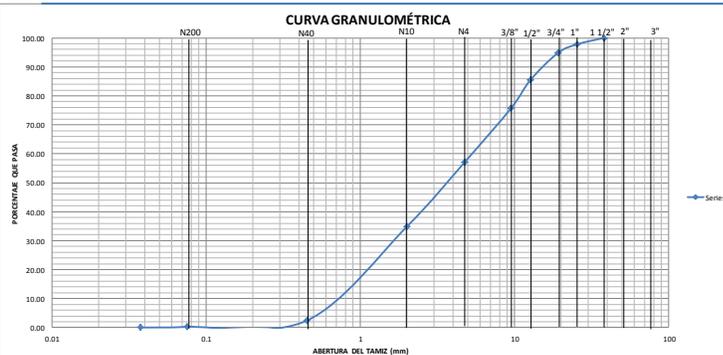
Tamiz	W tamiz	W tamiz (mm)	W pasada	W ret. Acum.	% retenido	% pasado
3"	0	0				
2"	0	0				
1 1/2"	0	0	0	0	0.00	100.00
1"	343.81	538.51	194.7	194.7	2.23	97.77
3/4"	343.18	607.2	264.02	458.72	5.24	94.76
1/2"	299.94	1110.8	810.86	1299.58	14.51	85.49
3/8"	259.27	1225.9	856.1	2125.68	24.30	75.70
N4	340.8	1970.3	1629.5	3755.18	42.50	57.50
10	690.52	2640.9	1950.38	5705.56	65.21	34.77
40	749.4	2582.1	2832.70	6538.26	97.61	2.39
200	356.85	527.27	391.49	6929.75	99.79	0.21
Fondo	334.22	352.82	18.60	6747.35	100.00	0.00

Tamiz	Diametro	% Pasa	Pi mm	Di mm	Pi x Di
3"					
2"					
1 1/2"	38.1	100.00			
1"	25.4	97.77	2.23	31.75	70.67
3/4"	19.1	94.76	3.02	22.25	67.16
1/2"	12.7	85.49	4.27	15.90	147.39
3/8"	9.5	75.70	5.79	11.10	128.64
N4	4.75	57.07	18.63	7.13	132.82
10	2	34.77	22.30	3.38	75.36
40	0.45	2.39	32.38	1.23	39.83
200	0.075	0.21	2.18	0.26	0.57
FONDO	0.0375	0.00	0.21	0.06	0.03
TOTAL =		100			642.45

D<sub>85</sub> = 6.4 mm

DATOS	
Peso total de la muestra	8747.35

D <sub>10</sub>	0.4	mm
D <sub>16</sub>	1.7	mm
D <sub>30</sub>	2.0	mm
D <sub>40</sub>	2.6	mm
D <sub>50</sub>	3.9	mm
D <sub>64</sub>	5	mm
D <sub>90</sub>	16	mm
D <sub>max</sub>	38	mm





# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

## DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA

PROYECTO : Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en la cuenca El Limón en el río Zamora

FECHA : 10 de Agosto del 2012

Nº 10

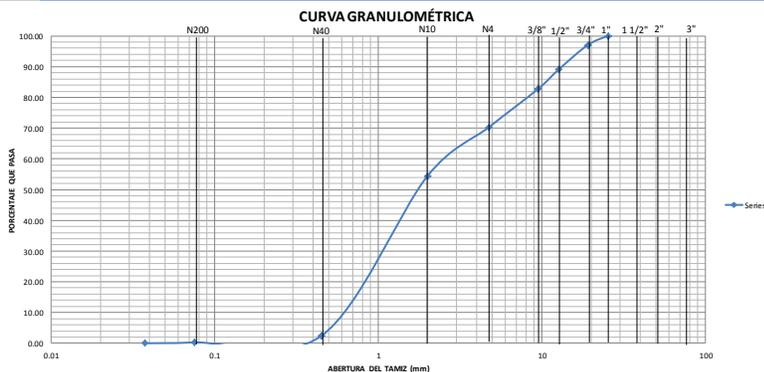
Tamiz	W tamiz	W tamiz/sumas	W percent	W rel. a sum.	% retenido	% pasado
3"	0	0				
2"	0	0				
1(1/2)"	0	0				
1"	0	0	0	0.00	100.00	
3/4"	328.11	531.17	303.66	203.06	2.95	97.05
1/2"	372.9	919.6	546.7	746.76	10.00	89.99
3/8"	346	780.9	434.9	1184.66	17.23	82.77
N#4	343.2	1300.2	857	2041.66	29.70	70.30
10	340.8	1433.53	1002.73	3134.39	45.59	54.41
40	687.6	4260.8	3573.20	6707.59	97.56	2.44
200	336.9	486.2	149.30	6856.89	99.73	0.27
Fondo	312.8	331.2	18.20	6875.39	100.00	0.00

Tamiz	Diámetro	% Pasa	Pi mm	Di mm	Pi x Di
3"					
2"					
1(1/2)"					
1"	25.4	100.00			
3/4"	19.1	97.05	2.95	22.25	65.71
1/2"	12.7	89.99	7.95	15.90	116.43
3/8"	9.5	82.77	6.33	11.10	70.21
N#4	4.75	70.30	12.46	7.13	88.87
10	2	54.41	15.89	3.38	53.72
40	0.45	2.44	51.97	1.23	63.92
200	0.075	0.27	2.17	0.26	0.56
FONDO	0.0375	0.00	0.27	0.06	0.02
TOTAL =		100			469.44

Dm= 4.7 mm

DATOS	
Peso total de la muestra	6875.39

Dm	4.7	mm
D16	0.9	mm
D35	1.4	mm
D60	1.6	mm
D50	1.5	mm
D84	10	mm
D90	13	mm
Dmax	25	mm



## DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA

PROYECTO : Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en la cuenca El Limón en el Río Zamora

FECHA : 10 de Septiembre del 2012

ANEXO 4.1.1

Nº 14

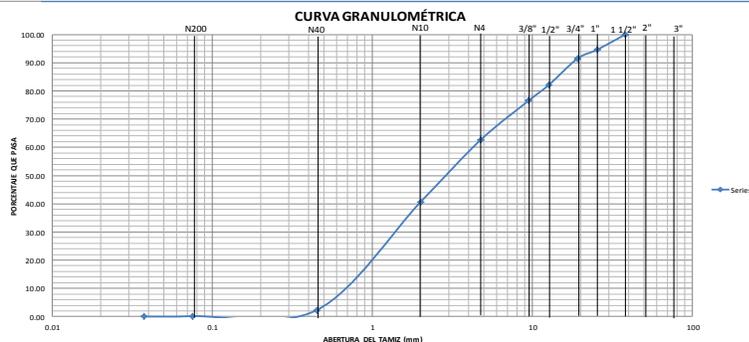
Tamiz	W tamiz	W tamiz/sumas	W percent	W rel. a sum.	% retenido	% pasado
3"	0	0				
2"	0	0				
1(1/2)"	0	0	0	0	0.00	100.00
1"	336.9	787.5	450.6	450.6	5.43	94.57
3/4"	343.8	697.3	263.5	714.1	8.00	91.99
D60	372.9	1140.6	767.7	1481.8	17.85	82.15
3/8"	345.96	806.1	463.14	1944.94	23.44	76.56
N#4	312.8	1471.5	1158.7	3103.64	37.40	62.60
10	369.6	2196.2	1828.60	4932.24	89.43	10.57
40	687.6	3863	3175.40	8107.64	97.69	2.31
200	372.9	552.3	179.40	8287.04	99.85	0.15
Fondo	336.9	349.1	12.20	8299.24	100.00	0.00

Tamiz	Diámetro	% Pasa	Pi mm	Di mm	Pi x Di
3"					
2"					
1(1/2)"	38.1	100.00			
1"	25.4	94.57	5.43	31.75	172.38
3/4"	19.1	91.99	3.17	22.25	70.64
1/2"	12.7	82.15	9.25	15.90	147.08
3/8"	9.5	76.56	5.58	11.10	61.94
N#4	4.75	62.60	13.96	7.13	99.55
10	2	40.57	22.03	3.38	74.47
40	0.45	2.31	38.26	1.23	47.06
200	0.075	0.15	2.16	0.26	0.56
FONDO	0.0375	0.00	0.15	0.06	0.01
TOTAL =		100			673.69

Dm= 6.7 mm

DATOS	
Peso total de la muestra	8299.24

Dm	6.7	mm
D16	1.0	mm
D35	1.8	mm
D60	2.0	mm
D50	3.2	mm
D84	14	mm
D90	18	mm
Dmax	38	mm





**Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.**

**DATOS DE GRANULOMETRIA POR FECHAS**

DIÁMETR OS	FECHAS									
	19 de Julio	21 de Julio	23 de Julio	24 de Julio	27 de Julio	29 de Julio	31 de Julio	2 de Agosto	6 de Agosto	10 de Agosto
<b>Dm</b>	10.4	8.9	7.1	8.8	7.1	6.4	7.9	8.5	6.8	4.7
<b>D16</b>	1.6	1.4	1.2	1.4	1.2	1.1	1.1	1.4	1.4	0.9
<b>D35</b>	4.4	3.7	2.5	3.8	2.5	2.0	2.0	3.6	3.3	1.4
<b>D40</b>	5.4	4.5	3.2	4.6	3.2	2.6	2.8	4.4	4.0	1.6
<b>D50</b>	7.9	6.9	4.5	6.7	4.5	3.9	4.3	6.5	5.7	1.9
<b>D84</b>	18	17	14	17	14	12	16	17	13	10
<b>D90</b>	22	19	17	19	17	16	19	19	15	13
<b>Dmax</b>	38	38	38	38	38	38	38	38	25	25

DIÁMETR OS	FECHAS						
	12 de Agosto	24 de Agosto	31 de Agosto	10 de Septiembre	14 de Septiembre	17 de Septiembre	1 de Octubre
<b>Dm</b>	6.3	12.7	9.5	6.7	11.1	9.2	16.0
<b>D16</b>	1.1	1.6	1.2	1.0	1.6	1.4	2.5
<b>D35</b>	2.0	5.6	2.7	1.8	4.6	3.7	7.4
<b>D40</b>	2.5	7.3	3.6	2.0	6.1	4.5	8.7
<b>D50</b>	3.7	10.6	5.9	3.2	9.2	6.9	11.1
<b>D84</b>	12	24	20	14	21	18	25
<b>D90</b>	15	29	24	18	24	21	43
<b>Dmax</b>	38	38	38	38	38	38	76



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

---

DIÁMETROS	FECHAS			
	29 de Octubre	5 de Noviembre	12 de Noviembre	26 de Noviembre
<b>Dm</b>	7.8	6.1	33.7	13.4
<b>D16</b>	1.3	1.1	21.0	6.8
<b>D35</b>	2.9	1.9	29.0	9.6
<b>D40</b>	3.6	2.2	30.0	10.0
<b>D50</b>	5.1	3.7	34.0	12.0
<b>D84</b>	16	12	47	21
<b>D90</b>	18	15	49	23
<b>Dmax</b>	38	38	76	38



# ANEXO 4

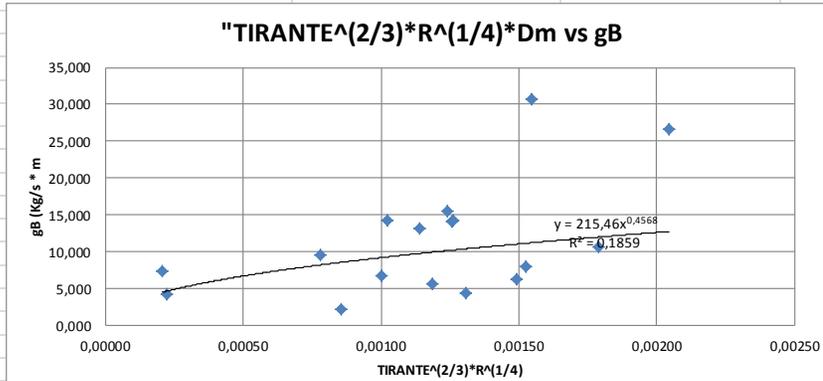
**REGRESIÓN LINEAL Y REGRESIÓN MÚLTIPLE (EXCEL)**



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

## REGRESIÓN MÚLTIPLE ( TANTEO CON CADA PARÁMETRO HIDRÁULICO)

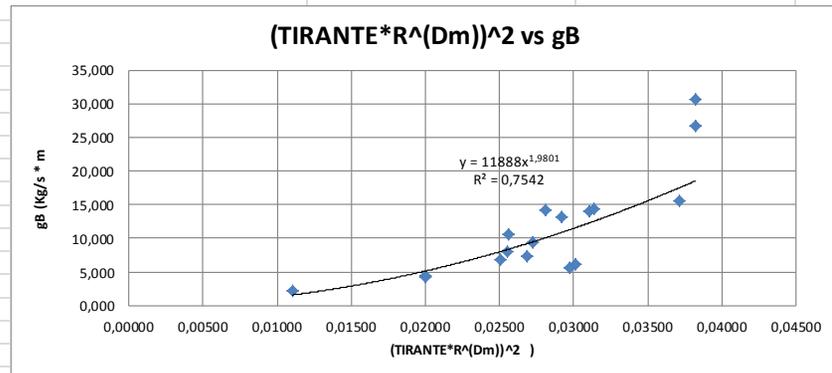
FECHA DE ENSAYOS	TIRANTE (cm)	TIRANTE (m)	AREA HIDRAULICA (m2)	PERIMETRO MOJADO (m)	RADIO HIDRÁULICO R=A/P	ANCHO MEDIO (m) BM=A/d	GASTO LÍQUIDO (m3/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s) U=Q/A	GASTO LIQUIDO UNITARIO, q=Q/B	PENDIENTE HIDRAULIC A (%)	gB (Kg/s*m)	Dm (m)	D16 (m)	D35 (m)	D40 (m)	D50 (m)	D84 (m)	D90 (m)	Dmax (m)	gB (Kg/s*m)
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8		Y										Y
19/07/2012	20,00	0,20	0,57	5,21	0,109	2,85	1,093	1,918	0,384	3,53	26,635	0,0104	0,0016	0,0044	0,0054	0,0079	0,018	0,022	0,038	26,53493349
23/07/2012	17,92	0,18	0,47	4,90	0,096	2,623	0,743	1,581	0,283	3,53	14,078	0,0071	0,0012	0,0025	0,0032	0,0045	0,014	0,017	0,038	14,07754196
27/07/2012	18,00	0,18	0,47	4,90	0,096	2,611	0,755	1,606	0,289	3,53	14,305	0,0071	0,0012	0,0025	0,0032	0,0045	0,014	0,017	0,038	14,30496468
29/07/2012	19,56	0,20	0,57	5,21	0,109	2,915	1,010	1,772	0,346	3,53	15,500	0,0064	0,0011	0,002	0,0026	0,0039	0,012	0,016	0,038	15,49969035
31/07/2012	19,90	0,20	0,57	5,21	0,109	2,865	1,074	1,884	0,375	3,53	30,670	0,0079	0,0011	0,002	0,0028	0,0043	0,016	0,019	0,038	30,67042526
02/08/2012	17,70	0,18	0,47	4,90	0,096	2,655	0,712	1,515	0,268	3,53	6,175	0,0085	0,0014	0,0036	0,0044	0,0065	0,016	0,019	0,038	6,17546383
06/08/2012	17,52	0,18	0,47	4,90	0,096	2,683	0,687	1,462	0,256	3,53	5,605	0,0068	0,0014	0,0033	0,004	0,0077	0,013	0,015	0,025	5,60504298
10/08/2012	16,69	0,17	0,42	4,73	0,089	2,516	0,579	1,379	0,23	3,53	9,478	0,0047	0,009	0,0014	0,0016	0,0019	0,01	0,013	0,025	9,47821621
12/08/2012	16,09	0,16	0,38	4,57	0,083	2,362	0,509	1,339	0,215	3,53	6,746	0,0063	0,0011	0,002	0,0025	0,0037	0,012	0,015	0,038	6,74612866
24/08/2012	16,44	0,16	0,38	4,57	0,083	2,311	0,550	1,447	0,238	3,53	7,305	0,00127	0,0016	0,0056	0,0073	0,0106	0,024	0,029	0,038	7,30498421
31/08/2012	16,37	0,16	0,38	4,57	0,083	2,322	0,541	1,424	0,233	3,53	7,978	0,0095	0,0012	0,0027	0,0036	0,0059	0,02	0,024	0,038	7,97761447
10/09/2012	17,36	0,17	0,42	4,73	0,089	2,419	0,665	1,583	0,275	3,53	13,140	0,0067	0,001	0,0018	0,002	0,0032	0,014	0,018	0,038	13,14046333
14/09/2012	16,45	0,16	0,38	4,57	0,083	2,31	0,550	1,447	0,238	3,53	10,617	0,0111	0,0016	0,0046	0,0061	0,0092	0,021	0,024	0,038	10,61722895
17/09/2012	14,49	0,14	0,29	4,14	0,07	2,001	0,353	1,217	0,176	3,53	4,411	0,0092	0,0014	0,0037	0,0045	0,0069	0,018	0,021	0,038	4,41121390
01/10/2012	14,21	0,14	0,29	4,14	0,07	2,041	0,329	1,134	0,161	3,53	4,273	0,0016	0,0025	0,0074	0,0087	0,0111	0,025	0,043	0,076	4,27312007
29/10/2012	10,76	0,11	0,18	3,25	0,055	1,672	0,124	0,689	0,074	3,53	2,231	0,0078	0,0013	0,0029	0,0036	0,0051	0,016	0,018	0,038	2,23038289
05/11/2012	17,01	0,17	0,42	4,73	0,089	2,47	0,619	1,474	0,251	3,53	14,197	0,0061	0,0011	0,0019	0,0022	0,0037	0,012	0,015	0,38	14,19661762



"TIRANTE <sup>(2/3)</sup> *R <sup>(1/4)</sup> *Dm	$y = 215,46x^{0,4568}$ R <sup>2</sup> = 0,1859
C&C	gB
0,00204	12,72805
0,00126	10,19034
0,00126	10,20475
0,00124	10,12679
0,00155	11,20796
0,00149	11,02285
0,00119	9,92360
0,00078	8,18933
0,00100	9,18409
0,00020	4,44831
0,00153	11,13744
0,00114	9,74460
0,00179	11,97668
0,00131	10,37243
0,00022	4,63703
0,00085	8,54727
0,00102	9,27739



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

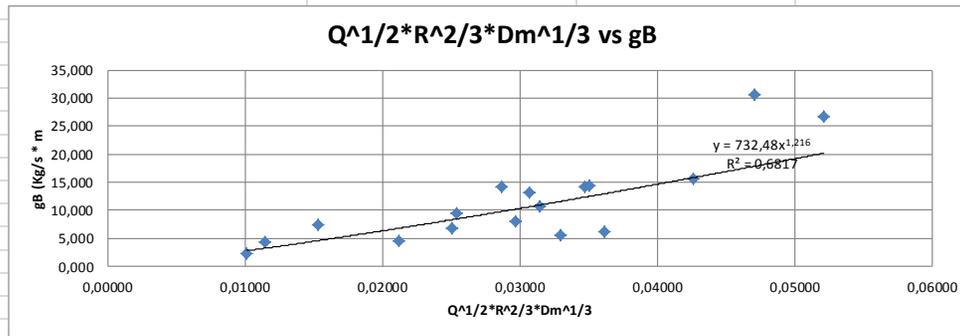


"(TIRANTE\*R^(Dm))^2

C&C
0,03820
0,03105
0,03134
0,03717
0,03822
0,03011
0,02974
0,02724
0,02509
0,02687
0,02555
0,02918
0,02561
0,02000
0,02002
0,01107
0,02808

$y = 11888x^{1.9801}$   
 $R^2 = 0.7542$

gB
18,50986
12,28124
12,50901
17,53881
18,53326
11,55604
11,27269
9,47946
8,05329
9,22469
8,35052
10,85944
8,38685
5,14111
5,14864
1,59442
10,06596



C&C

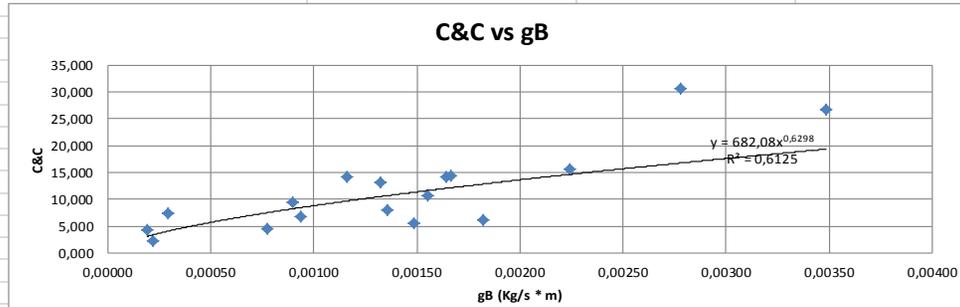
0,05207
0,03473
0,03501
0,04258
0,04710
0,03610
0,03292
0,02541
0,02507
0,01528
0,02964
0,03065
0,03148
0,02115
0,01139
0,01010
0,02866

$R^2 = 0.6817$

gB
20,14597
12,31293
12,43346
15,77134
17,83029
12,90593
11,53640
8,41848
8,28347
4,53674
10,15351
10,57335
10,92379
6,73376
3,17502
2,74186
9,74472



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.



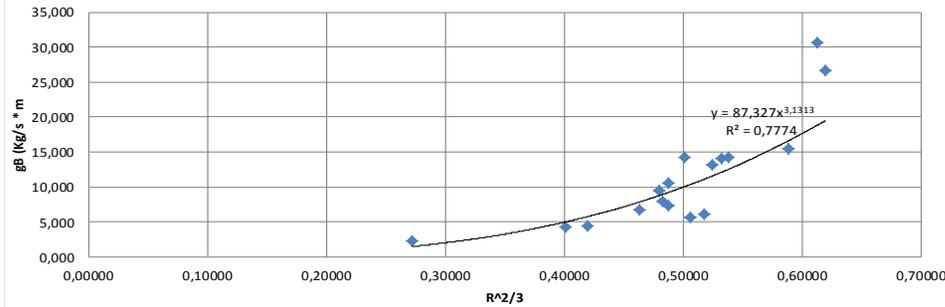
$$Q^{1.7/1.986} * R * Dm^{1.53/1.985}$$

C&C
0,00348
0,00164
0,00167
0,00224
0,00278
0,00182
0,00149
0,00090
0,00094
0,00029
0,00136
0,00132
0,00155
0,00077
0,00019
0,00022
0,00116

$$y = 682,08x^{0,6298}$$

R <sup>2</sup> = 0.6125
gB
19,31167
12,02926
12,13361
14,62086
16,73978
12,82930
11,29251
8,20670
8,44652
4,04740
10,65484
10,50360
11,59378
7,48561
3,08298
3,37691
9,65553

R<sup>2</sup>/3 vs gB



$$R^{2/3}$$

C&C
0,61968
0,53198
0,53759
0,58822
0,61237
0,51769
0,50596
0,47958
0,46368
0,48785
0,48270
0,52440
0,48785
0,41952
0,40125
0,27203
0,50100

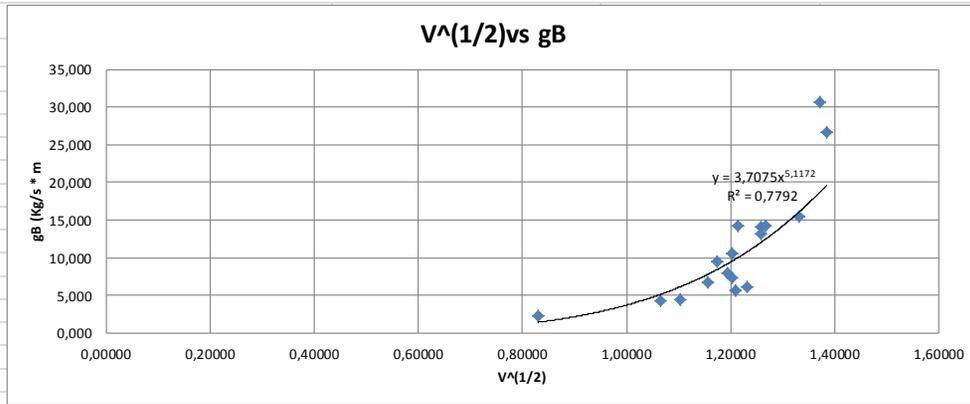
$$\text{GASTO LÍQUIDO UNITARIO (Q}^{1/2} \text{)}$$

$$y = 25693x^{4,8765}$$

R <sup>2</sup> = 0.7357
gB
19,51447
12,10147
12,50556
16,57689
18,80315
11,11240
10,34331
8,74657
7,87011
9,22755
8,92584
11,57017
9,22755
5,75288
5,00398
1,48170
10,02877



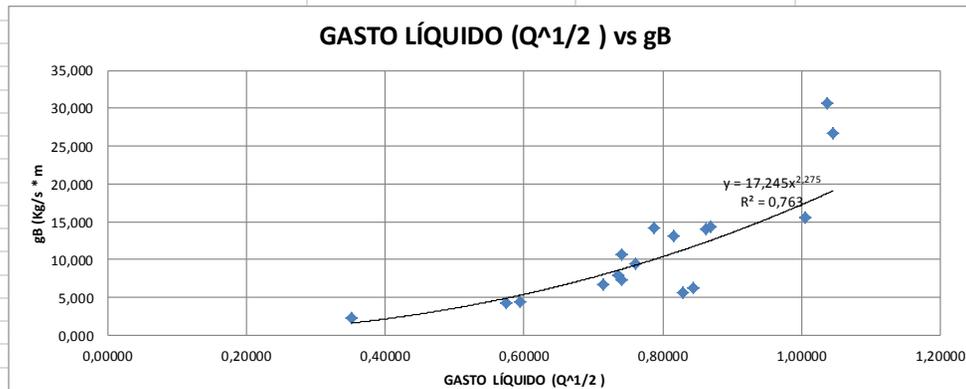
# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.



V^(1/2)
C&C
1,38492
1,25738
1,26728
1,33116
1,37259
1,23085
1,20913
1,17431
1,15715
1,20291
1,19331
1,25817
1,20291
1,10318
1,06489
0,83006
1,21408

gB
19,62355
11,96929
12,45953
16,02509
18,74576
10,73211
9,79751
8,43666
7,82460
9,54236
9,15908
12,00806
9,54236
6,12781
5,11463
1,42938
10,00458

## GASTO LÍQUIDO (Q^1/2 )



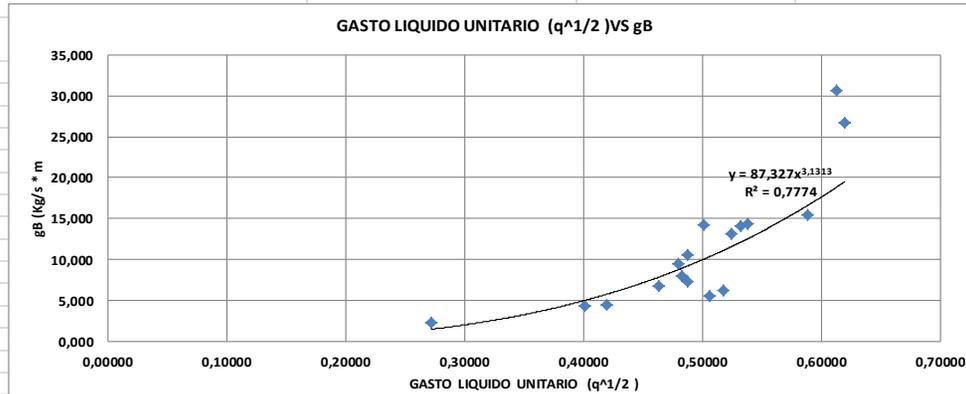
GASTO LÍQUIDO (Q^1/2)
C&C
1,04547
0,86197
0,86891
1,00499
1,03634
0,84380
0,82885
0,76092
0,71344
0,74162
0,73553
0,81548
0,74162
0,59414
0,57359
0,35214
0,78677

gB
19,08067
12,30022
12,52645
17,44130
18,70383
11,71815
11,25127
9,26211
7,99935
8,73626
8,57383
10,84233
8,73626
5,27542
4,86938
1,60483
9,99335



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

**GASTO LIQUIDO UNITARIO (q<sup>1/2</sup>)**



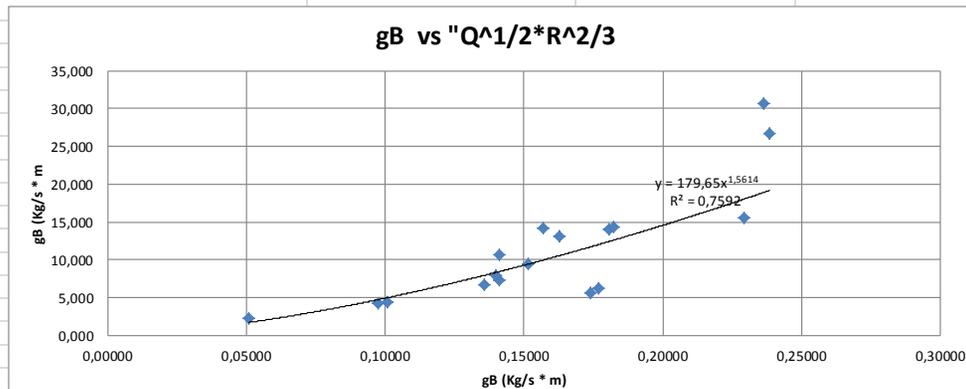
C&C
0,61968
0,53198
0,53759
0,58822
0,61237
0,51769
0,50596
0,47958
0,46368
0,48785
0,48270
0,52440
0,48785
0,41952
0,40125
0,27203
0,50100

gB
19,51447
12,10147
12,50556
16,57689
18,80315
11,11240
10,34331
8,74657
7,87011
9,22755
8,92584
11,57017
9,22755
5,75288
5,00398
1,48170
10,02877

$$y = 87,327x^{3,1313}$$

$$R^2 = 0,7774$$

**Q<sup>1/2</sup>\*R<sup>2/3</sup>**



C&C
0,23856
0,18072
0,18217
0,22932
0,23648
0,17691
0,17378
0,15168
0,13575
0,14111
0,13995
0,16256
0,14111
0,10091
0,09742
0,05093
0,15683

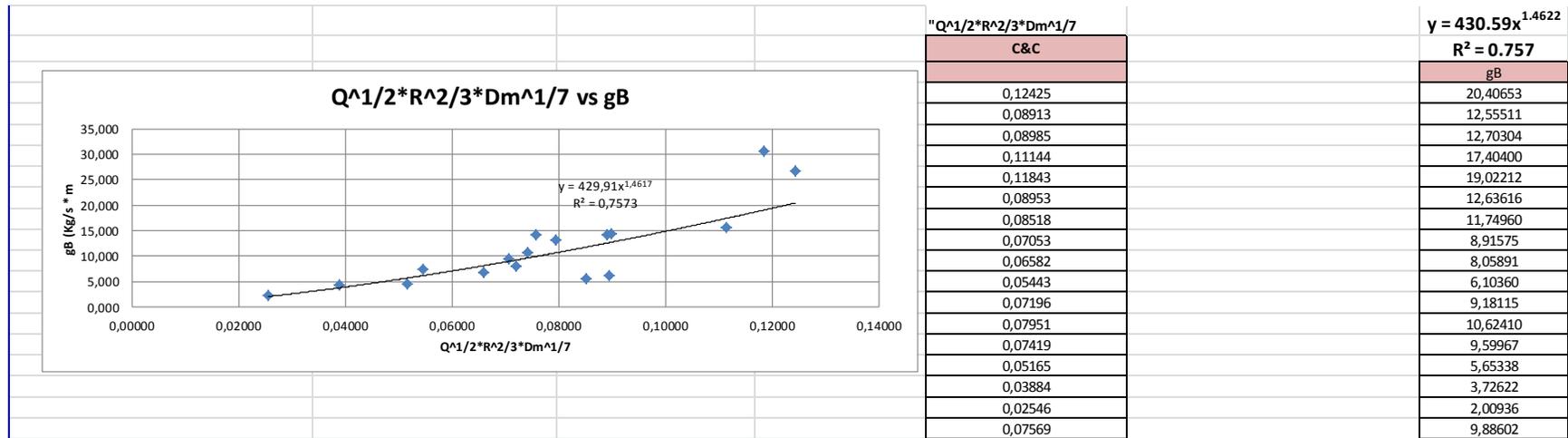
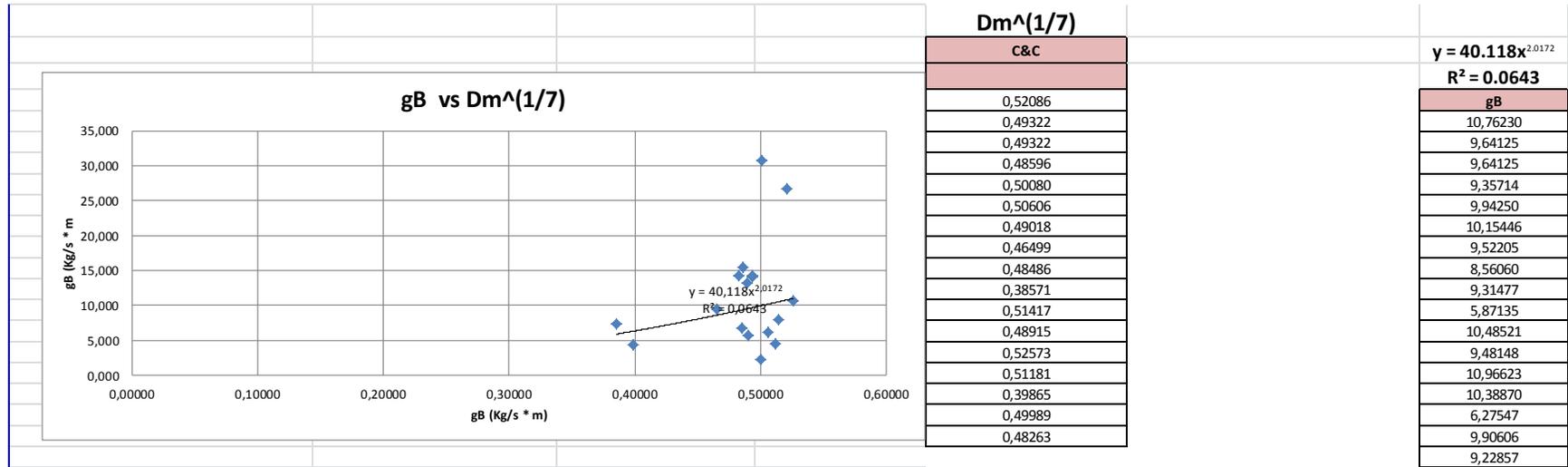
gB
19,16916
12,42569
12,58208
18,02296
18,90851
12,01906
11,68831
9,45225
7,94866
8,44424
8,33617
10,53147
8,44424
5,00264
4,73507
1,71974
9,95830

$$y = 179,65x^{1,5614}$$

$$R^2 = 0,7592$$

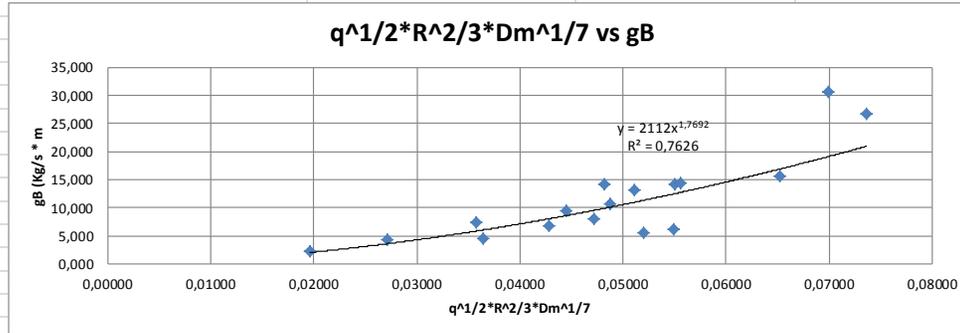


# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.



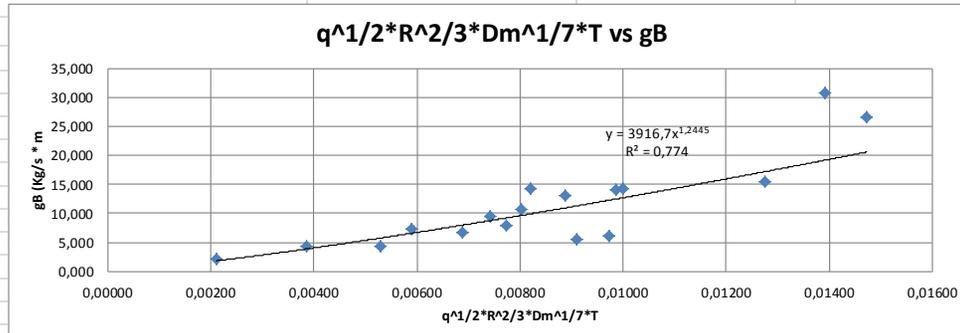


# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.



$q^{1/2} \cdot R^{2/3} \cdot D_m^{1/7}$
C&C
0,07365
0,05501
0,05559
0,06523
0,06998
0,05493
0,05200
0,04445
0,04278
0,03580
0,04722
0,05113
0,04880
0,03647
0,02717
0,01967
0,04820

$y = 2112x^{1.7692}$
$R^2 = 0.7626$
gB
9,49814
6,19928
6,29510
7,95258
8,81385
6,18552
5,70937
4,53966
4,29181
3,30844
4,95942
5,57088
5,20346
3,39879
2,20982
1,37770
5,10996



$q^{1/2} \cdot R^{2/3} \cdot D_m^{1/7} \cdot T$
C&C
0,01473
0,00986
0,01001
0,01276
0,01392
0,00972
0,00911
0,00742
0,00688
0,00589
0,00773
0,00888
0,00803
0,00529
0,00386
0,00212
0,00820

$y = 3916.7x^{1.2445}$
$R^2 = 0.774$
gB
20,57046
12,47619
12,71333
17,19694
19,17713
12,26668
11,31298
8,76440
7,98082
6,57089
9,22020
10,95344
9,66587
5,74528
3,88559
1,83972
9,91948



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

TANTEO	ECUACIÓN Y R	RESUMEN DE REGRESIÓN SIMPLE POTENCIAL:TANTEOS	
TIRANTE <sup>(2/3)</sup> *R <sup>(1/4)</sup> *Dm	y = 215.46x <sup>0.4568</sup> R <sup>2</sup> = 0.1859	PARÁMETRO_TANTEO	TIRANTE <sup>(2/3)</sup> *R <sup>(1/4)</sup> *Dm
(TIRANTE*R <sup>(Dm))</sup> <sup>2</sup>	y = 11888x <sup>1.9801</sup> R <sup>2</sup> = 0.7542	ECUACIÓN	y = 215.46x <sup>0.4568</sup>
Q <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/3</sup>	y = 732.48x <sup>1.216</sup> R <sup>2</sup> = 0.6817	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.1859
"Q <sup>(1.7/1.986)</sup> *R*Dm <sup>(1.53/1.985)</sup>	y = 682.08x <sup>0.6298</sup> R <sup>2</sup> = 0.6125	PARÁMETRO_TANTEO	(TIRANTE*R <sup>(Dm))</sup> <sup>2</sup>
R <sup>2/3</sup>	y = 25693x <sup>4.8765</sup> R <sup>2</sup> = 0.7357	ECUACIÓN	y = 11888x <sup>1.9801</sup>
V <sup>1/2</sup>	y = 3.7075x <sup>5.1172</sup> R <sup>2</sup> = 0.7792	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7542
GASTO LÍQUIDO (Q <sup>1/2</sup> )	y = 17.245x <sup>2.275</sup> R <sup>2</sup> = 0.763	PARÁMETRO_TANTEO	Q <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/3</sup>
GASTO LÍQUIDO UNITARIO (Q <sup>1/2</sup> )	y = 87.327x <sup>3.1313</sup> R <sup>2</sup> = 0.7774	ECUACIÓN	y = 732.48x <sup>1.216</sup>
Q <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup>	y = 179.65x <sup>1.5614</sup> R <sup>2</sup> = 0.7592	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.6817
Dm <sup>(1/7)</sup>	y = 40.118x <sup>0.0172</sup> R <sup>2</sup> = 0.0643	PARÁMETRO_TANTEO	"Q <sup>(1.7/1.986)</sup> *R*Dm <sup>(1.53/1.985)</sup>
"Q <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/7</sup>	y = 430.59x <sup>1.4622</sup> R <sup>2</sup> = 0.757	ECUACIÓN	y = 682.08x <sup>0.6298</sup>
"Q_lu <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/7</sup> *TIRANTE	y = 3916.7x <sup>1.2445</sup> R <sup>2</sup> = 0.774	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.6125
"Q_lu <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/7</sup>	y = 2112x <sup>1.7692</sup> R <sup>2</sup> = 0.7626	PARÁMETRO_TANTEO	R <sup>2/3</sup>
		ECUACIÓN	y = 25693x <sup>4.8765</sup>
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7357
		PARÁMETRO_TANTEO	V <sup>1/2</sup>
		ECUACIÓN	y = 3.7075x <sup>5.1172</sup>
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7792
		PARÁMETRO_TANTEO	GASTO LÍQUIDO (Q <sup>1/2</sup> )
		ECUACIÓN	y = 17.245x <sup>2.275</sup>
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.763
		PARÁMETRO_TANTEO	GASTO LÍQUIDO UNITARIO (Q <sup>1/2</sup> )
		ECUACIÓN	y = 87.327x <sup>3.1313</sup>
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7774
		PARÁMETRO_TANTEO	Q <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup>
		ECUACIÓN	y = 179.65x <sup>1.5614</sup>
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7592
		PARÁMETRO_TANTEO	"Q <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/7</sup>
		ECUACIÓN	y = 430.59x <sup>1.4622</sup>
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.757
		PARÁMETRO_TANTEO	"Q_lu <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/7</sup> *TIRANTE
		ECUACIÓN	y = 3916.7x <sup>1.2445</sup>
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.774
		PARÁMETRO_TANTEO	"Q_lu <sup>1/2</sup> *R <sup>2/3</sup> *Dm <sup>1/7</sup>
		ECUACIÓN	y = 2112x <sup>1.7692</sup>
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> = 0.7626

REGRESION MÚLTIPLE TANTEOS	
y =	gB (Kg/s*m)
20,57045741	26,63493349
12,47618532	14,07754196
12,71333293	14,30490468
17,19693752	15,49969035
19,17713485	30,67042526
12,26667767	6,17546383
11,31297789	5,605042979
8,764404959	9,478216214
7,980824836	6,746138658
6,57088734	7,304984211
9,220196558	7,977614474
10,95343564	13,14046333
9,665868662	10,61722895
5,745277854	4,411221897
3,885585397	4,273120069
1,839716347	2,230828889
9,919479735	14,19661762



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

Resumen								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coefficiente de correlación múltiple		0,876390917						
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>		0,76806104						
R <sup>2</sup> ajustado		0,752598443						
Error típico		3,824078043						
Observaciones		17						
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>			
Regresión	1	726,3848595	726,3848595	49,67218787	3,95214E-06			
Residuos	15	219,3535932	14,62357288					
Total	16	945,7384527						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	-2,862689062	2,222649628	-1,287962361	0,217274501	-7,600154601	1,874776477	-7,600154601	1,874776477
Variable X 1	1,342566194	0,190493018	7,047849876	3,95214E-06	0,936539937	1,74859245	0,936539937	1,74859245
<b>gB=16269 + 1.34257 X1</b>								
$gB = -2.86269 + 1.34257 * 2112 * \left( \frac{1}{q^2} * R^3 * D_m^{\frac{1}{7}} * T \right)^{1.7692}$								
$gB = -2.86269 + 2835.5078 * \left( \frac{1}{q^2} * R^3 * D_m^{\frac{1}{7}} * T \right)^{1.7692}$								



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

Análisis de los residuales		
<i>Observación</i>	<i>Pronóstico para Y</i>	
1	24,75451164	
2	13,88741558	
3	14,20580194	0,09910274
4	20,22533788	-4,725647533
5	22,88388388	7,786541381
6	13,60613768	-7,430673854
7	12,32573261	-6,720689627
8	8,904104742	0,574111472
9	7,85209656	-1,105957902
10	5,959162142	1,345822068
11	9,516035136	-1,538420662
12	11,84302334	1,297439995
13	10,11437944	0,502849512
14	4,850726758	-0,439504861
15	2,353966535	1,919153534
16	0,00001	2,623576978
17	10,45486909	3,741748531



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

PARÁMETROS DE VALIDACIÓN								
COEFICIENTES DE VALIDACIÓN								
s o	184,981	13,601						
s c	172,069	13,118						
s oc	172,130							
R	0,965							
R2	0,931	Coficiente de Correlacion	Mayor que 0.7					
EF	0,931	Coficiente de Eficiencia d	Permite valores mayores que cero					
RMSE	3,576	Error Cuadrático Medio						
			O-om	C-cm	(o-om)(c-cm)	(0-c)^2	(o-cm)^2	
N°	gB (Campo)	gB (Calculado)						
1	26,635	24,755	709,420	612,786	659,335	3,536	709,420	
2	14,078	13,887	198,177	192,860	195,501	0,036	198,177	
3	14,305	14,206	204,630	201,805	203,213	0,010	204,630	
4	15,500	20,225	240,240	409,064	313,486	22,332	240,240	
5	15,500	20,225	940,675	523,672	701,858	60,630	940,675	
6	30,670	22,884	38,136	185,127	84,024	55,215	38,136	
7	6,175	13,606	31,417	151,924	69,086	45,168	31,417	
8	5,605	12,326	89,837	79,283	84,395	0,330	89,837	
9	9,478	8,904	45,510	61,655	52,971	1,223	45,510	
10	6,746	7,852	53,363	35,512	43,532	1,811	53,363	
11	7,305	5,959	63,642	90,555	75,915	2,367	63,642	
12	7,978	9,516	172,672	140,257	155,623	1,683	172,672	
13	13,140	11,843	112,726	102,301	107,387	0,253	112,726	
14	10,617	10,114	19,459	23,530	21,398	0,193	19,459	
15	4,411	4,851	18,260	5,541	10,059	3,683	18,260	
16	4,273	2,354	4,977	0,000	0,000	4,977	4,977	
17	2,231	0,000	201,544	109,304	148,424	14,001	201,544	
17	14,197	10,455						
			3144,684	2925,176	2926,206	217,447	3144,684	
	193,344	193,737						
	9,267	4,641						
	Observados	Calculados						



# ANEXO 5

**3.10 TRANSPORTE DE SEDIMENTO CON DIFERENTES AUTORES  
PROGRAMA SEDIMENT V.1**



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

31 DE JULIO



## TRANSPORTE DE SEDIMENTOS (TOTAL Y DE FONDO)

DATOS DE ENTRADA	
SECCIÓN DEL TRAMO DEL CAUCE A(m²)	0.57
PERÍMETRO MOJADO DEL CAUCE P(m)	5.21
VELOCIDAD MEDIA DE LA CORRIENTE U(m/s)	1.884
TEMPERATURA DEL AGUA t(°C)	17
PROFUNDIDAD DEL FLUJO d(m)	0.20
PENDIENTE DE LA PÉRDIDA DE CARGA S(%)	3.53

TIPO DE TRANSPORTE	
<input checked="" type="checkbox"/> TOTAL (GRANULOMETRÍA)	
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>m</sub> (mm)	7.9
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>16</sub> (mm)	1.1
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>35</sub> (mm)	2
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>50</sub> (mm)	4.3
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>84</sub> (mm)	16
PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS p <sub>s</sub> (Kg/m³)	2231

Subcuenca del Río Campana	
<input checked="" type="checkbox"/> DE FONDO (GRANULOMETRÍA)	
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>m</sub> (mm)	7.9
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>40</sub> (mm)	2.8
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>60</sub> (mm)	4.3
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>90</sub> (mm)	19
DIÁMETRO MÁXIMO DE LAS PARTÍCULAS D <sub>max</sub> (mm)	38
PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS p <sub>s</sub> (Kg/m³)	2231

El mapa muestra la subcuenca del Río Campana con una leyenda de alturas en metros. La leyenda indica los siguientes rangos de alturas: 100-120, 120-140, 140-160, 160-180, 180-200, 200-220, 220-240, 240-260, 260-280, 280-300, 300-320, 320-340, 340-360, 360-380, 380-400, 400-420, 420-440, 440-460, 460-480, 480-500, 500-520, 520-540, 540-560, 560-580, 580-600, 600-620, 620-640, 640-660, 660-680, 680-700, 700-720, 720-740, 740-760, 760-780, 780-800, 800-820, 820-840, 840-860, 860-880, 880-900, 900-920, 920-940, 940-960, 960-980, 980-1000, 1000-1020, 1020-1040, 1040-1060, 1060-1080, 1080-1100, 1100-1120, 1120-1140, 1140-1160, 1160-1180, 1180-1200, 1200-1220, 1220-1240, 1240-1260, 1260-1280, 1280-1300, 1300-1320, 1320-1340, 1340-1360, 1360-1380, 1380-1400, 1400-1420, 1420-1440, 1440-1460, 1460-1480, 1480-1500, 1500-1520, 1520-1540, 1540-1560, 1560-1580, 1580-1600, 1600-1620, 1620-1640, 1640-1660, 1660-1680, 1680-1700, 1700-1720, 1720-1740, 1740-1760, 1760-1780, 1780-1800, 1800-1820, 1820-1840, 1840-1860, 1860-1880, 1880-1900, 1900-1920, 1920-1940, 1940-1960, 1960-1980, 1980-2000, 2000-2020, 2020-2040, 2040-2060, 2060-2080, 2080-2100, 2100-2120, 2120-2140, 2140-2160, 2160-2180, 2180-2200, 2200-2220, 2220-2240, 2240-2260, 2260-2280, 2280-2300, 2300-2320, 2320-2340, 2340-2360, 2360-2380, 2380-2400, 2400-2420, 2420-2440, 2440-2460, 2460-2480, 2480-2500, 2500-2520, 2520-2540, 2540-2560, 2560-2580, 2580-2600, 2600-2620, 2620-2640, 2640-2660, 2660-2680, 2680-2700, 2700-2720, 2720-2740, 2740-2760, 2760-2780, 2780-2800, 2800-2820, 2820-2840, 2840-2860, 2860-2880, 2880-2900, 2900-2920, 2920-2940, 2940-2960, 2960-2980, 2980-3000, 3000-3020, 3020-3040, 3040-3060, 3060-3080, 3080-3100, 3100-3120, 3120-3140, 3140-3160, 3160-3180, 3180-3200, 3200-3220, 3220-3240, 3240-3260, 3260-3280, 3280-3300, 3300-3320, 3320-3340, 3340-3360, 3360-3380, 3380-3400, 3400-3420, 3420-3440, 3440-3460, 3460-3480, 3480-3500, 3500-3520, 3520-3540, 3540-3560, 3560-3580, 3580-3600, 3600-3620, 3620-3640, 3640-3660, 3660-3680, 3680-3700, 3700-3720, 3720-3740, 3740-3760, 3760-3780, 3780-3800, 3800-3820, 3820-3840, 3840-3860, 3860-3880, 3880-3900, 3900-3920, 3920-3940, 3940-3960, 3960-3980, 3980-4000, 4000-4020, 4020-4040, 4040-4060, 4060-4080, 4080-4100, 4100-4120, 4120-4140, 4140-4160, 4160-4180, 4180-4200, 4200-4220, 4220-4240, 4240-4260, 4260-4280, 4280-4300, 4300-4320, 4320-4340, 4340-4360, 4360-4380, 4380-4400, 4400-4420, 4420-4440, 4440-4460, 4460-4480, 4480-4500, 4500-4520, 4520-4540, 4540-4560, 4560-4580, 4580-4600, 4600-4620, 4620-4640, 4640-4660, 4660-4680, 4680-4700, 4700-4720, 4720-4740, 4740-4760, 4760-4780, 4780-4800, 4800-4820, 4820-4840, 4840-4860, 4860-4880, 4880-4900, 4900-4920, 4920-4940, 4940-4960, 4960-4980, 4980-5000, 5000-5020, 5020-5040, 5040-5060, 5060-5080, 5080-5100, 5100-5120, 5120-5140, 5140-5160, 5160-5180, 5180-5200, 5200-5220, 5220-5240, 5240-5260, 5260-5280, 5280-5300, 5300-5320, 5320-5340, 5340-5360, 5360-5380, 5380-5400, 5400-5420, 5420-5440, 5440-5460, 5460-5480, 5480-5500, 5500-5520, 5520-5540, 5540-5560, 5560-5580, 5580-5600, 5600-5620, 5620-5640, 5640-5660, 5660-5680, 5680-5700, 5700-5720, 5720-5740, 5740-5760, 5760-5780, 5780-5800, 5800-5820, 5820-5840, 5840-5860, 5860-5880, 5880-5900, 5900-5920, 5920-5940, 5940-5960, 5960-5980, 5980-6000, 6000-6020, 6020-6040, 6040-6060, 6060-6080, 6080-6100, 6100-6120, 6120-6140, 6140-6160, 6160-6180, 6180-6200, 6200-6220, 6220-6240, 6240-6260, 6260-6280, 6280-6300, 6300-6320, 6320-6340, 6340-6360, 6360-6380, 6380-6400, 6400-6420, 6420-6440, 6440-6460, 6460-6480, 6480-6500, 6500-6520, 6520-6540, 6540-6560, 6560-6580, 6580-6600, 6600-6620, 6620-6640, 6640-6660, 6660-6680, 6680-6700, 6700-6720, 6720-6740, 6740-6760, 6760-6780, 6780-6800, 6800-6820, 6820-6840, 6840-6860, 6860-6880, 6880-6900, 6900-6920, 6920-6940, 6940-6960, 6960-6980, 6980-7000, 7000-7020, 7020-7040, 7040-7060, 7060-7080, 7080-7100, 7100-7120, 7120-7140, 7140-7160, 7160-7180, 7180-7200, 7200-7220, 7220-7240, 7240-7260, 7260-7280, 7280-7300, 7300-7320, 7320-7340, 7340-7360, 7360-7380, 7380-7400, 7400-7420, 7420-7440, 7440-7460, 7460-7480, 7480-7500, 7500-7520, 7520-7540, 7540-7560, 7560-7580, 7580-7600, 7600-7620, 7620-7640, 7640-7660, 7660-7680, 7680-7700, 7700-7720, 7720-7740, 7740-7760, 7760-7780, 7780-7800, 7800-7820, 7820-7840, 7840-7860, 7860-7880, 7880-7900, 7900-7920, 7920-7940, 7940-7960, 7960-7980, 7980-8000, 8000-8020, 8020-8040, 8040-8060, 8060-8080, 8080-8100, 8100-8120, 8120-8140, 8140-8160, 8160-8180, 8180-8200, 8200-8220, 8220-8240, 8240-8260, 8260-8280, 8280-8300, 8300-8320, 8320-8340, 8340-8360, 8360-8380, 8380-8400, 8400-8420, 8420-8440, 8440-8460, 8460-8480, 8480-8500, 8500-8520, 8520-8540, 8540-8560, 8560-8580, 8580-8600, 8600-8620, 8620-8640, 8640-8660, 8660-8680, 8680-8700, 8700-8720, 8720-8740, 8740-8760, 8760-8780, 8780-8800, 8800-8820, 8820-8840, 8840-8860, 8860-8880, 8880-8900, 8900-8920, 8920-8940, 8940-8960, 8960-8980, 8980-9000, 9000-9020, 9020-9040, 9040-9060, 9060-9080, 9080-9100, 9100-9120, 9120-9140, 9140-9160, 9160-9180, 9180-9200, 9200-9220, 9220-9240, 9240-9260, 9260-9280, 9280-9300, 9300-9320, 9320-9340, 9340-9360, 9360-9380, 9380-9400, 9400-9420, 9420-9440, 9440-9460, 9460-9480, 9480-9500, 9500-9520, 9520-9540, 9540-9560, 9560-9580, 9580-9600, 9600-9620, 9620-9640, 9640-9660, 9660-9680, 9680-9700, 9700-9720, 9720-9740, 9740-9760, 9760-9780, 9780-9800, 9800-9820, 9820-9840, 9840-9860, 9860-9880, 9880-9900, 9900-9920, 9920-9940, 9940-9960, 9960-9980, 9980-10000.



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

Transporte Total		Transporte de Fondo
<b>Autores</b>		
<input checked="" type="checkbox"/>	Dubois y Straub	7.8294
<input checked="" type="checkbox"/>	Schoklitsch	6.2305
<input type="checkbox"/>	Shields	
<input checked="" type="checkbox"/>	Meyer-Peter y Muller	6.3073
<input checked="" type="checkbox"/>	Levi	5.2736
<input type="checkbox"/>	Einstein	
<input checked="" type="checkbox"/>	Einstein-Brown	27.5039
<input checked="" type="checkbox"/>	Sato,Kikkawa y Ashida(1)	
<input checked="" type="checkbox"/>	Sato,Kikkawa y Ashida(2)	0.8693
<input type="checkbox"/>	Rottner	
<input checked="" type="checkbox"/>	Friilink	5.7282
<input checked="" type="checkbox"/>	Yalin	1.6961
<input checked="" type="checkbox"/>	Pernecker y Vollmer	12.1634
<input checked="" type="checkbox"/>	Inglis y Lacey	60.6966
<input checked="" type="checkbox"/>	Bogardi	2.6626
<input type="checkbox"/>	Van Riin	
RESULTADOS PROMEDIADOS TRANSPORTE DE FONDO gB: <b>12.451</b> TRANSPORTE DE FONDO GB: <b>35.4853</b>		
		<b>Dubois y Straub</b> $g_B = 0.01003 * (\gamma_s - \gamma)^2 * D^{1.25} * \tau_c$ $(\tau_c - \tau_{c0})$ donde : ID = D <sub>50</sub> <b>Se aplica si :</b> $\tau_c \leq 1.30$
		PROMEDIAR

RESULTADOS																						
TRANSPORTE DE FONDO :	<b>97.6386</b>																					
TRANSPORTE TOTAL :	<b>12.451</b>																					
CAUDAL LÍQUIDO (m³/s):	<b>1.0739</b>																					
VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL AGUA (m²/s):	<b>1.09E-06</b>																					
RADIO HIDRÁULICO DE LA SECCIÓN DEL CAUCE (m):	<b>0.11</b>																					
ANCHO DEL CAUCE (m):	<b>2.85</b>																					
ESFUERZO CORTANTE QUE EL FLUJO EJERCE SOBRE EL FONDO (kgf/m²):	<b>7.06</b>																					
ESFUERZO CORTANTE CRÍTICO EN EL FONDO (kgf/m²):	<b>0.58</b>																					
VELOCIDAD DE CAÍDA DE LAS PARTÍCULAS (m/s):	<b>0.25</b>																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Autor</th> <th>qBT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Colby</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Engelund y Hansen</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Shen y Hung</td> <td>3.4383</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Yang</td> <td>7.839</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Ackers y White</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Brownlie</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Karim y Kennedy</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Graf y Acaroqlu</td> <td>281.6383</td> </tr> </tbody> </table>		Autor	qBT	<input type="checkbox"/>	Colby	<input type="checkbox"/>	Engelund y Hansen	<input checked="" type="checkbox"/>	Shen y Hung	3.4383	<input checked="" type="checkbox"/>	Yang	7.839	<input type="checkbox"/>	Ackers y White	<input type="checkbox"/>	Brownlie	<input type="checkbox"/>	Karim y Kennedy	<input checked="" type="checkbox"/>	Graf y Acaroqlu	281.6383
Autor	qBT																					
<input type="checkbox"/>	Colby																					
<input type="checkbox"/>	Engelund y Hansen																					
<input checked="" type="checkbox"/>	Shen y Hung	3.4383																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Yang	7.839																				
<input type="checkbox"/>	Ackers y White																					
<input type="checkbox"/>	Brownlie																					
<input type="checkbox"/>	Karim y Kennedy																					
<input checked="" type="checkbox"/>	Graf y Acaroqlu	281.6383																				
<b>Colby (aproximado)</b> $g_{BTmax} = 1.13U^{3.326}$ $g_{BTmin} = 0.46U^{3.326}$ <b>Se aplica para :</b> $0.1 \leq D_{50} \leq 1mm$																						
RESULTADOS PROMEDIADOS TRANSPORTE TOTAL gBT : <b>97.6386</b> TRANSPORTE TOTAL GBT : <b>278.27</b>																						
PROMEDIAR																						

RESULTADOS	
TRANSPORTE DE FONDO :	<b>97.6386</b>
TRANSPORTE TOTAL :	<b>12.451</b>
CAUDAL LÍQUIDO (m³/s):	<b>1.0739</b>
VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL AGUA (m²/s):	<b>1.09E-06</b>
RADIO HIDRÁULICO DE LA SECCIÓN DEL CAUCE (m):	<b>0.11</b>
ANCHO DEL CAUCE (m):	<b>2.85</b>
ESFUERZO CORTANTE QUE EL FLUJO EJERCE SOBRE EL FONDO (kgf/m²):	<b>7.06</b>
ESFUERZO CORTANTE CRÍTICO EN EL FONDO (kgf/m²):	<b>0.58</b>
VELOCIDAD DE CAÍDA DE LAS PARTÍCULAS (m/s):	<b>0.25</b>



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

31 DE AGOSTO



## TRANSPORTE DE SEDIMENTOS (TOTAL Y DE FONDO)

DATOS DE ENTRADA	
SECCIÓN DEL TRAMO DEL CAUCE A(m)	0.38
PERÍMETRO CUADRO DEL CAUCE P(m)	4.57
VELOCIDAD MEDIA DE LA CORRIENTE U(m/s)	1.424
TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	16
PROFUNDIDAD DEL FLUJO S(m)	0.16
PERCENATE DE LA PÉRDIDA DE CARGA S(%)	3.53

TIPO DE TRANSPORTE

TOTAL (GRANULOMETRÍA)

DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>10</sub> (mm)	9.5
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>16</sub> (mm)	1.2
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>25</sub> (mm)	2.7
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>50</sub> (mm)	5.9
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>84</sub> (mm)	20
PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS s <sub>s</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	2231

DE FONDO (GRANULOMETRÍA)

DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>10</sub> (mm)	9.5
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>40</sub> (mm)	3.6
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>50</sub> (mm)	5.9
DIÁMETRO DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS D <sub>80</sub> (mm)	24
DIÁMETRO MÁXIMO DE LAS PARTÍCULAS D <sub>max</sub> (mm)	38
PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS s <sub>s</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	2231

Subcuenca del Río Campana



# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

Transporte Total		Transporte de Fondo
<b>Autores</b>	<b>qBT</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Duboys y Straub	3.2232	<b>Dubois y Straub</b> $g_b = 0.0001 * (v_b - v_c)^2 + D^{1.2} + \tau_c$ $(v_b - v_c)$ donde : $D = D_{50}$ Se aplica si : $\tau_c \leq 11.30$
<input checked="" type="checkbox"/> Schoklitsch	3.7502	
<input checked="" type="checkbox"/> Shields		
<input checked="" type="checkbox"/> Meyer-Peter y Muller	3.0081	
<input type="checkbox"/> Levi	1.432	
<input type="checkbox"/> Einstein		
<input checked="" type="checkbox"/> Einstein-Brown	7.5351	
<input checked="" type="checkbox"/> Sato Kikkawa y Ashida(1)	0.3875	
<input checked="" type="checkbox"/> Sato Kikkawa y Ashida(2)	0.3875	
<input type="checkbox"/> Rottner		
<input checked="" type="checkbox"/> Frohne	4.7392	
<input checked="" type="checkbox"/> Yalin	0.6359	
<input checked="" type="checkbox"/> Pernecky y Vollmer	4.7615	
<input checked="" type="checkbox"/> Inslis y Lacey	17.2	
<input checked="" type="checkbox"/> Bodard	0.53	
<input type="checkbox"/> Van Rijn		
RESULTADOS PROMEDIADOS		
TRANSPORTE DE FONDO qB	<b>4.1962</b>	PROMEDIAR
TRANSPORTE DE FONDO SB	<b>9.965</b>	

RESULTADOS																			
TRANSPORTE DE FONDO :	<b>22.5491</b>																		
TRANSPORTE TOTAL :	<b>4.1962</b>																		
CAUDAL LIQUIDO (m³/s):	<b>0.5411</b>																		
VISCOSIDAD CINEMATICA DEL AGUA (m²/s):	<b>1.12E-06</b>																		
RADIO HIDRÁULICO DE LA SECCION DEL CAUCE (m):	<b>0.08</b>																		
ANCHO DEL CAUCE (m):	<b>2.38</b>																		
ESFUERZO CORTANTE QUE EL FLUJO EJERCE SOBRE EL FONDO (kg/m²):	<b>5.65</b>																		
ESFUERZO CORTANTE CRITICO EN EL FONDO (kg/m²):	<b>0.7</b>																		
VELOCIDAD DE CAIDA DE LAS PARTICULAS (m/s):	<b>0.28</b>																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Autor</th> <th>qBT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> Colby</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Engelund y Hansen</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Shen y Hung</td> <td>1.2707</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Yang</td> <td>3.7633</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Ackers y White</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Brownlie</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Karim y Kennedy</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Graf y Acaroglu</td> <td>62.6135</td> </tr> </tbody> </table>		Autor	qBT	<input type="checkbox"/> Colby		<input type="checkbox"/> Engelund y Hansen		<input checked="" type="checkbox"/> Shen y Hung	1.2707	<input checked="" type="checkbox"/> Yang	3.7633	<input type="checkbox"/> Ackers y White		<input type="checkbox"/> Brownlie		<input type="checkbox"/> Karim y Kennedy		<input checked="" type="checkbox"/> Graf y Acaroglu	62.6135
Autor	qBT																		
<input type="checkbox"/> Colby																			
<input type="checkbox"/> Engelund y Hansen																			
<input checked="" type="checkbox"/> Shen y Hung	1.2707																		
<input checked="" type="checkbox"/> Yang	3.7633																		
<input type="checkbox"/> Ackers y White																			
<input type="checkbox"/> Brownlie																			
<input type="checkbox"/> Karim y Kennedy																			
<input checked="" type="checkbox"/> Graf y Acaroglu	62.6135																		
<b>Colby (aproximado)</b> $g_{BTmax} = 1.13U^{3.326}$ $g_{BTmin} = 0.46U^{3.326}$ Se aplica para : $0.1 \leq D_{50} \leq 1mm$																			
RESULTADOS PROMEDIADOS																			
TRANSPORTE TOTAL gBT :	<b>22.5491</b>																		
TRANSPORTE TOTAL gBT :	<b>53.5541</b>																		
PROMEDIAR																			

RESULTADOS	
TRANSPORTE DE FONDO :	<b>22.5491</b>
TRANSPORTE TOTAL :	<b>4.1962</b>
CAUDAL LIQUIDO (m³/s):	<b>0.5411</b>
VISCOSIDAD CINEMATICA DEL AGUA (m²/s):	<b>1.12E-06</b>
RADIO HIDRÁULICO DE LA SECCION DEL CAUCE (m):	<b>0.08</b>
ANCHO DEL CAUCE (m):	<b>2.38</b>
ESFUERZO CORTANTE QUE EL FLUJO EJERCE SOBRE EL FONDO (kg/m²):	<b>5.65</b>
ESFUERZO CORTANTE CRITICO EN EL FONDO (kg/m²):	<b>0.7</b>
VELOCIDAD DE CAIDA DE LAS PARTICULAS (m/s):	<b>0.28</b>

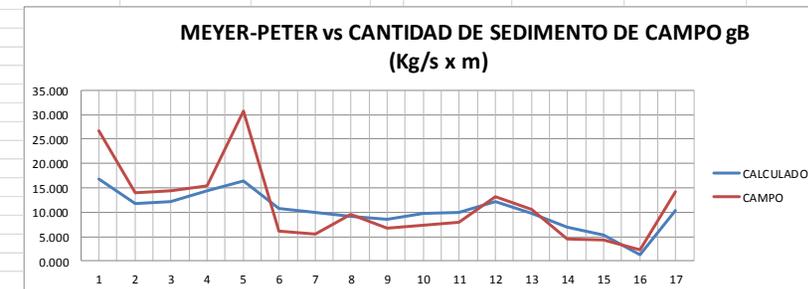
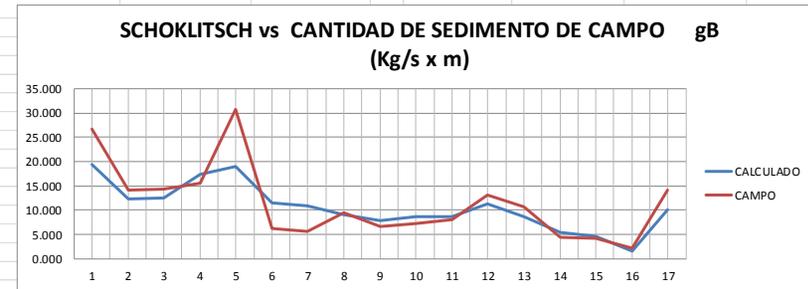
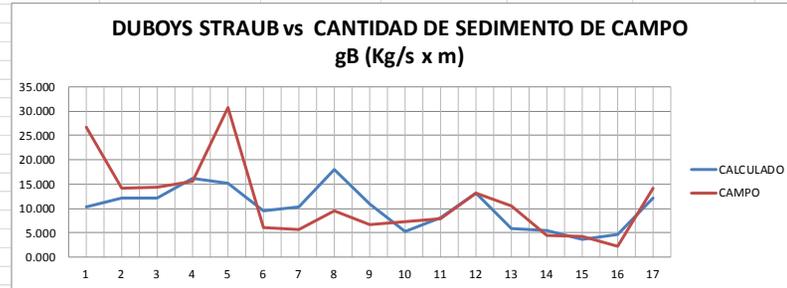


## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

TRANSPORTE DE FONDO (gB)																
FECHA	Dubois y Straub	Schoklitsch	Shields	Meyer-Peter y Müller	Levi	Einstein	Einstein Brown	Sato, kikkawa y Ashida (1)	Sato, kikkawa y Ashida (2)	Rottner	Frijlink	Yalin	Pernecker y Vallmer	Inglis y Lacey	Bogardi	Van Rijn
	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m	Kgf/s.m
19/07/2012	4.5235	6.306		6.524	5.316		11.0988		0.9548		8.1603	1.1795	8.912	57.7855	1.2952	
23/07/2012	5.6695	4.6962		3.8687	2.4565		17.3256	0.5324	0.5324		4.3883	1.3878	9.7132	29.373	2.0483	
27/07/2012	5.6695	4.7708		4.0374	2.6544		17.3256	0.5324	0.6142		4.5016	1.3878	9.7132	31.7699	2.0483	
29/07/2012	8.5117	5.8613		5.2481	4.1911		31.8085		0.775		4.7047	2.1618	15.3334	49.2791	4.6237	
31/07/2012	7.8294	6.2305		6.3073	5.2736		27.5039		0.8693		5.7282	1.6961	12.1634	60.6966	2.6626	
02/08/2012	4.0525	4.4809		3.3867	1.8821		10.0105	0.5126			4.7208	1.1014	7.9292	21.8543	1.278	
06/08/2012	4.5808	4.3296		2.9864	1.7877		12.177	0.5372			3.8443	1.476	10.191	20.6485	2.2936	
10/08/2012	9.9721	3.8812		2.6801	1.5491			0.5001			2.0711	1.8592		19.3601	4.3939	2.0071
12/08/2012	4.9459	3.5385		2.4002	1.1724		15.097	0.43			2.983	1.1323	7.6386	15.4273	1.5553	
24/08/2012	1.7445	3.7348	5.7987	2.9437	1.4491		3.1387	0.3429	0.3429		5.5164	0.3784	3.3343	15.9661	0.2476	
31/08/2012	3.2232	3.7502		3.0081	1.432		7.5351	0.3875	0.3875		4.7392	0.6359	4.7615	17.2	0.53	
10/09/2012	6.4601	4.4531		4.0543	2.5931		22.8079		0.5463		3.8073	1.2299	8.4682	32.2297	1.7349	
14/09/2012	2.0468	3.7639	7.0253	2.9002	1.4945		3.8799	0.3652	0.3652		4.977	0.4873	3.9451	17.0843	0.3524	
17/09/2012	1.8499	2.7826	5.828	1.745	0.6936		3.5662	0.2871			3.2354	0.4061	3.1118	9.0312	0.2844	
01/10/2012	1.0567	2.4904	2.8204	1.1698	0.9534	1.8315		0.2011			4.0968	0.1173	1.4927	4.8444	0.0667	
29/10/2012	1.4571	1.2289		0.1622	0.0093		2.7676	0.199			0.6107	0.27	2.0072	0.7266	0.1665	
05/11/2012	5.6991	4.144		3.1682	1.8712		18.3891	0.4817	0.4817		3.4685	1.3809	9.3991	23.6581	2.2186	

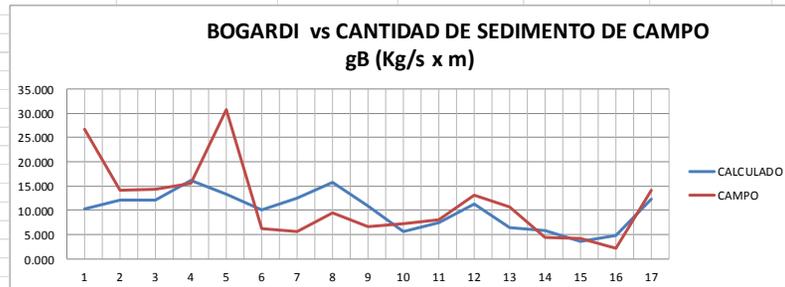
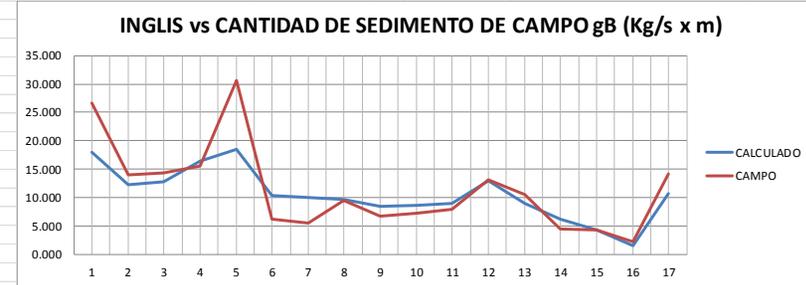
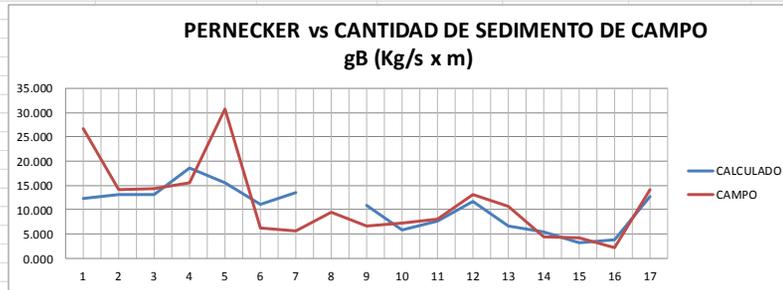


# Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.



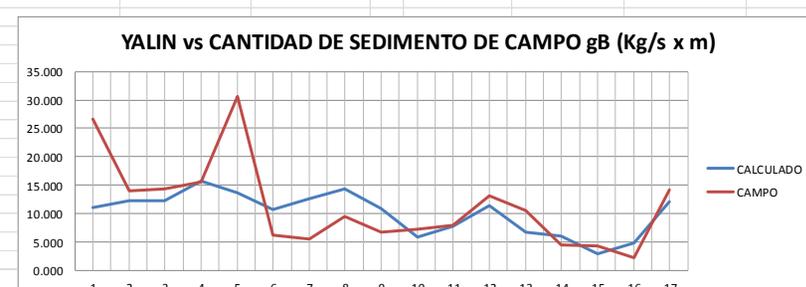
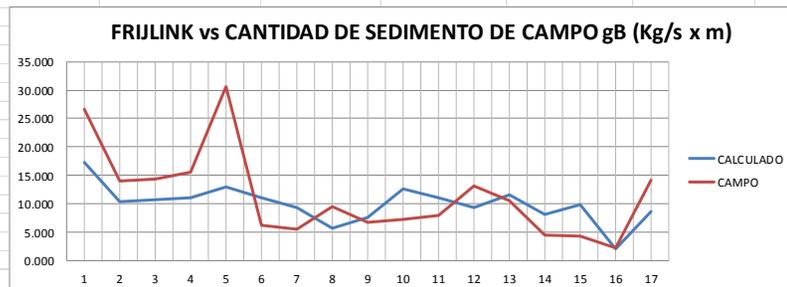
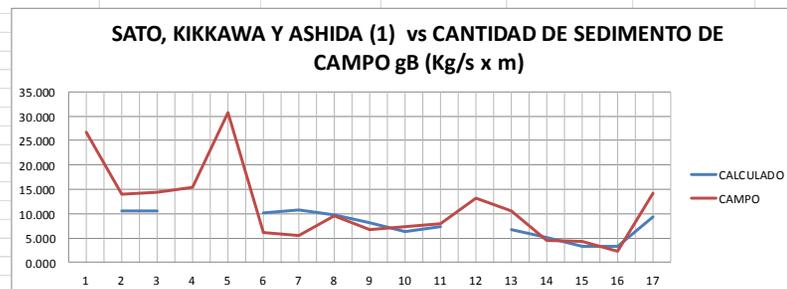
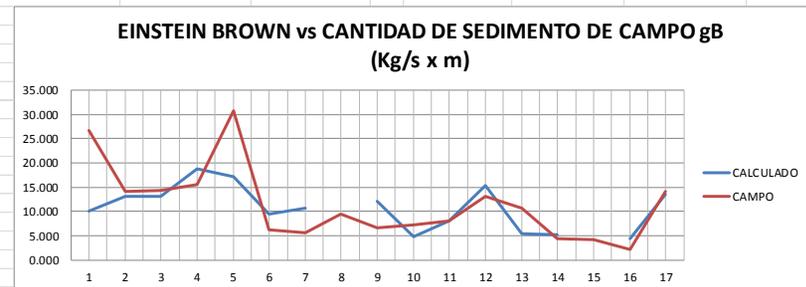
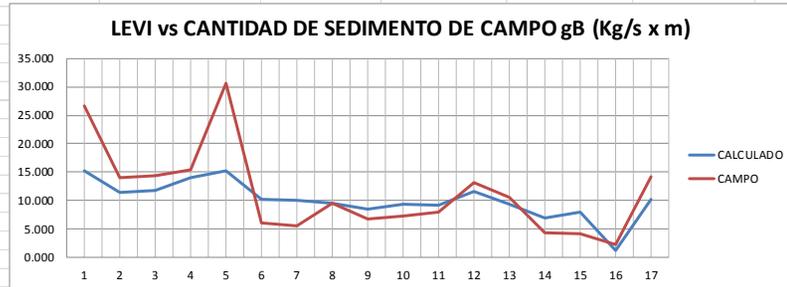


## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.





## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.





## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

### COEFICIENTES DE VALIDACIÓN

s o	60.0696637968	7.7504622
s c	22.9324412869	4.7887829
s oc	33.1657730624	
R	0.8935881	
R2	0.7984997	Coefficiente de Correlacion
EF	0.7224829	Coefficiente de Eficiencia de Nash
RMS	4.0828750	Error Cuadrático Medio

Mayor que 0.7  
Permite valores mayores que cero

#### Schoklitsch

$$y = 1.1468x^{1.534}$$

Nº	Altura thalimedes	CAMPO	CALCULADO	O-om	C-cm	(o-om)(c-cm)	(0-c)^2	(o-cm)^2
1	0.169	26.6349335	19.3334905	301.660800729111	101.334903144032	174.839263394226	53.311070139824	301.646274360061
2	0.158	14.0775420	12.3011848	23.145659024176	9.206480419689	14.597604481794	3.155444598491	23.141635387465
3	0.153	14.3049047	12.6022068	25.385034027852	11.123827132670	16.804128370218	2.899180145280	25.380820229847
4	0.163	15.4996904	17.2818569	38.852058598417	64.238466513568	49.957948969684	3.176117563514	38.846845507361
5	0.101	30.6704253	18.9795457	458.125944837206	94.334193524919	207.886847922275	136.676664342361	458.108043269588
6	0.120	6.1754638	11.4467443	9.554803810968	4.751430774085	-6.737877178146	27.786397552113	9.557389302536
7	0.200	5.6050430	10.8592185	13.406621939093	2.535266094425	-5.830038940090	27.606360218260	13.409684518399
8	0.175	9.4782162	9.1825132	0.044803264237	0.007132368322	-0.017876056124	0.087440250313	0.044626404708
9	0.180	6.7461387	7.9684956	6.352465260565	1.686026914851	3.272678933988	1.494156485625	6.354573451974
10	0.182	7.3049842	8.6565691	3.847734063562	0.372585110077	1.197333879759	1.826781675774	3.849374848564
11	0.189	7.9776145	8.7113844	1.661350662555	0.308671540882	0.716108699121	0.538418339726	1.662428874064
12	0.171	13.1404633	11.3379850	15.007216922283	4.289117396042	8.022949281127	3.248928027084	15.003977037989
13	0.168	10.6172289	8.7602499	1.824337945077	0.256761835797	-0.684412419447	3.448371307501	1.823208439783
14	0.168	4.4112219	5.5115682	23.574195440574	14.103017405266	18.233685546634	1.210761883643	23.578256506170
15	0.170	4.2731201	4.6490530	24.934326482252	21.325126081527	23.059220628460	0.141325554183	24.938503053247
16	0.162	2.2308289	1.5732801	49.501349017999	59.192811008622	54.130619773787	0.432370344535	49.507233717435
17	0.161	14.1966176	10.1533551	24.305582519338	0.785684613349	4.369956773692	16.347971712575	24.301459290303
17								
Sumatorias		193.344436862618	179.308701104136	1021.184284545260	389.851501878123	563.818142060958	283.387760140803	1021.154334199500
Medias		9.266548398505	9.266966587757					
		Observados	Calculados					



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

### COEFICIENTES DE VALIDACIÓN

s o	60.0696637968	7.7504622
s c	78.0858213609	8.8366182
s oc	59.1360733606	
R	0.8634532	
R2	0.7455514	Coefficiente de Correlacion
EF	0.6690196	Coefficiente de Eficiencia de Nash
RMS	4.4588451	Error Cuadrático Medio

Mayor que 0.7  
Permite valores mayores que cero

Sato, kikkawa y Ashida (2)

$$y = 27.915x^{1.1628}$$

$$R^2 = 0.8547$$

Nº	Altura thalimed es	CAMPO	CALCULADO	O-om	C-cm	(o-om)(c-cm)	(0-c)^2	(o-cm)^2
1	0.169	26.6349335	26.4532955	301.660800729111	295.369900688244	298.498778478059	0.032992368223	301.646274360061
2	0.158	14.0775420	13.4124227	23.145659024176	17.184806635270	19.943762803853	0.442383585434	23.141635387465
3	0.153	14.3049047	15.8374144	25.385034027852	43.170784997200	33.104257221134	2.348586166122	25.380820229847
4	0.163	15.4996904	20.7547569	38.852058598417	131.969327353792	71.605028032557	27.615724936949	38.846845507361
5	0.101	30.6704253	23.7194238	458.125944837206	208.873520825930	309.338615565294	48.316420689503	458.108043269588
6	0.120	6.1754638		9.554803810968	85.876669738607	28.644977418243	38.136353513010	9.557389302536
7	0.200	5.6050430		13.406621939093	85.876669738607	33.931048386012	31.416506793337	13.409684518399
8	0.175	9.4782162		0.044803264237	85.876669738607	-1.961518576540	89.836582604749	0.044626404708
9	0.180	6.7461387		6.352465260565	85.876669738607	23.356552853697	45.510386791542	6.354573451974
10	0.182	7.3049842	8.0413763	3.847734063562	1.502071631908	2.404074080390	0.542273262295	3.849374848564
11	0.189	7.9776145	9.2700051	1.661350662555	0.000009232534	-0.003916436725	1.670273521391	1.662428874064
12	0.171	13.1404633	13.8204643	15.007216922283	20.734341036105	17.639862631818	0.462401258025	15.003977037989
13	0.168	10.6172289	8.6526355	1.824337945077	0.377402656937	-0.829765019522	3.859627322468	1.823208439783
14	0.168	4.4112219		23.574195440574	85.876669738607	44.994148466257	19.458878620617	23.578256506170
15	0.170	4.2731201		24.934326482252	85.876669738607	46.273933488206	18.259555123796	24.938503053247
16	0.162	2.2308289		49.501349017999	85.876669738607	65.199777616447	4.976597531501	49.507233717435
17	0.161	14.1966176	11.9390650	24.305582519338	7.140109907326	13.173630120421	5.096543842456	24.301459290303
Sumatorias		193.344436862618	151.900859586390	1021.184284545260	1327.458963135500	1005.313247129600	337.982087931418	1021.154334199500
Medias		9.266548398505	14.024729062966					
		Observados	Calculados					



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

### COEFICIENTES DE VALIDACIÓN

s o	60.0696637968	7.7504622
s c	20.4807015526	4.5255609
s oc	31.7964677415	
R	0.9065231	
R2	0.8217841	Coefficiente de Correlacion
EF	0.7177077	Coefficiente de Eficiencia de Nash
RMS	4.1178521	Error Cuadrático Medio

Mayor que 0.7  
Permite valores mayores que cero

#### Inglis y Lacey

$$y = 1.7566x^{0.5739}$$

$$R^2 = 0.7895$$

Nº	Altura thalimed es	CAMPO	CALCULADO	O-om	C-cm	(o-om)(c-cm)	(0-c)^2	(o-cm)^2
1	0.169	26.6349335	18.0210765	301.660800729111	76.634440915070	152.044752654828	74.198531714850	301.646274360061
2	0.158	14.0775420	12.2216097	23.145659024176	8.729916005911	14.214769051325	3.444484490722	23.141635387465
3	0.153	14.3049047	12.7843830	25.385034027852	12.372218329202	17.721997158526	2.311986133485	25.380820229847
4	0.163	15.4996904	16.4472025	38.852058598417	51.555788398174	44.755429971496	0.897779357548	38.846845507361
5	0.101	30.6704253	18.5366354	458.125944837206	85.926759261013	198.406849108721	147.228857264859	458.108043269588
6	0.120	6.1754638	10.3141420	9.554803810968	1.096576310571	-3.236907708178	17.128656864455	9.557389302536
7	0.200	5.6050430	9.9836051	13.406621939093	0.513570722652	-2.623975708268	19.171806038612	13.409684518399
8	0.175	9.4782162	9.6211979	0.044803264237	0.125479823736	0.074979368491	0.020443762919	0.044626404708
9	0.180	6.7461387	8.4456381	6.352465260565	0.674580530073	2.070084390247	2.888298260040	6.354573451974
10	0.182	7.3049842	8.6136792	3.847734063562	0.426784350675	1.281465053713	1.712682696324	3.849374848564
11	0.189	7.9776145	8.9896473	1.661350662555	0.076905974192	0.357446207391	1.024210489604	1.662428874064
12	0.171	13.1404633	12.8902443	15.007216922283	13.128141262888	14.036269579861	0.062609572732	15.003977037989
13	0.168	10.6172289	8.9548931	1.824337945077	0.097389869242	-0.4215111605919	2.763360509297	1.823208439783
14	0.168	4.4112219	6.2111955	23.574195440574	9.337737039947	14.836766425080	3.239904914693	23.578256506170
15	0.170	4.2731201	4.3444231	24.934326482252	24.231434628592	24.580368226750	0.005084118762	24.938503053247
16	0.162	2.2308289	1.4624139	49.501349017999	60.911042737176	54.910643645683	0.590461603144	49.507233717435
17	0.161	14.1966176	10.7944352	24.305582519338	2.333160234392	7.530525785618	11.574845495336	24.301459290303
Sumatorias		193.344436862618	178.636421761610	1021.184284545260	348.171926393507	540.539951605365	288.264003287383	1021.154334199500
Medias		9.266548398505	9.265693002880					
		Observados	Calculados					



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

### COEFICIENTES DE VALIDACIÓN

s o	60.0696637968	7.7504622
s c	14.4933051203	3.8070074
s oc	25.8245205298	
R	0.8752275	
R2	0.7660232	Coefficiente de Correlacion
EF	0.6185478	Coefficiente de Eficiencia de Nash
RMS	4.7867561	Error Cuadrático Medio

Mayor que 0.7  
Permite valores mayores que cero

#### Meyer-Peter

$$y = 4.7083x^{0.6774}$$

$$R^2 = 0.7141$$

N°	Altura thalimedes	CAMPO	CALCULADO	O-om	C-cm	(o-om)(c-cm)	(0-c)^2	(o-cm)^2
1	0.169	26.6349335	16.7731982	301.660800729111	56.343512789019	130.371120973268	97.253823253295	301.646274360061
2	0.158	14.0775420	11.7728252	23.145659024176	6.279327189538	12.055669455915	5.311719511416	23.141635387465
3	0.153	14.3049047	12.1181820	25.385034027852	8.129429521153	14.365439256128	4.781755934052	25.380820229847
4	0.163	15.4996904	14.4741661	38.852058598417	27.114926307958	32.457213463397	1.051700078224	38.846845507361
5	0.101	30.6704253	16.3937424	458.125944837206	50.790933178455	152.540631477463	203.823674175188	458.108043269588
6	0.120	6.1754638	10.7580828	9.554803810968	2.223427556260	-4.609166311598	21.000396619537	9.557389302536
7	0.200	5.6050430	9.8793726	13.406621939093	0.375041166765	-2.242328061283	18.269894010984	13.409684518399
8	0.175	9.4782162	9.1810767	0.044803264237	0.007377079736	-0.018180133462	0.088291914878	0.044626404708
9	0.180	6.7461387	8.5200813	6.352465260565	0.557837684286	1.882457040801	3.146872375831	6.354573451974
10	0.182	7.3049842	9.7834632	3.847734063562	0.266768765785	-1.013141286892	6.142858174811	3.849374848564
11	0.189	7.9776145	9.9279438	1.661350662555	0.436890891125	-0.851955968014	3.803784528360	1.662428874064
12	0.171	13.1404633	12.1525200	15.007216922283	8.326418603921	11.178388532108	0.976031992554	15.003977037989
13	0.168	10.6172289	9.6852942	1.824337945077	0.174998025956	0.565027025075	0.868502295847	1.823208439783
14	0.168	4.4112219	6.8652499	23.574195440574	5.768242913149	11.661118547691	6.022253579753	23.578256506170
15	0.170	4.2731201	5.2360398	24.934326482252	16.248371016213	20.128144169868	0.927214349183	24.938503053247
16	0.162	2.2308289	1.3732594	49.501349017999	62.310613547772	55.537909834220	0.735425469743	49.507233717435
17	0.161	14.1966176	10.2828754	24.305582519338	1.032070808038	5.008500992369	15.317377797933	24.301459290303
Sumatorias		193.344436862618	175.177372981817	1021.184284545260	246.386187045129	439.016849007052	389.521576061588	1021.154334199500
Medias		9.266548398505	9.266622272057					
		Observados	Calculados					



## Calibración de una Ecuación para el Transporte de Sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora.

COEFICIENTES DE VALIDACIÓN			
METODO	R2	EF	RMSE
Schoklitsch	0.798	0.722	4.083
Sato, kikkawa y Ashida (2)	0.746	0.669	4.459
Inglis y Lacey	0.822	0.718	4.118
Meyer-Peter	0.766	0.619	4.787