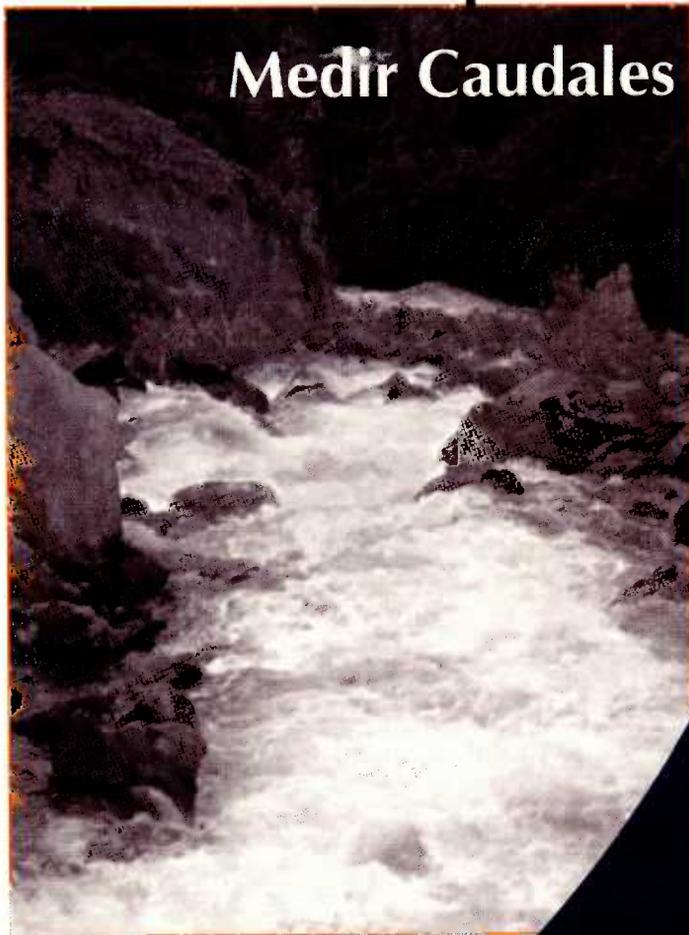


Manual Básico para

Medir Caudales



Óscar Rojas Bustamante
2006

PRESENTACIÓN

Casi las tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta está cubierta por agua, su ubicación y distribución no permiten utilizarla en su totalidad y de manera adecuada. El recurso es usado desde una perspectiva conceptual equivocada, orientada hacia un pensamiento erróneo: el líquido vital está presente desde y para siempre en un grifo de agua.

En la actualidad, existe un sinnúmero de problemas de orden social, político, productivo, ambiental y de salud ocasionados por la mala administración de los recursos hídricos.

Con este contexto, el Fondo para la Protección del Agua -FONAG- a través de la Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas, CESA, ejecutor del proyecto "Apoyo a la Conservación del Agua y a los Sistemas de Producción en Oyacachi y Papallacta, en el ámbito de la RECAP", financiado por el FONAG y el TNC, genera el presente documento con la finalidad de desarrollar en los miembros de las comunidades, capacidades locales para realizar un monitoreo de la cantidad de agua en sus principales fuentes.

INTRODUCCIÓN

La disminución y la deficiente administración del agua están entre los principales problemas que en la actualidad afectan a las comunidades; este hecho se evidencia en el bajo caudal de los ríos, cascadas y lagunas, así como en la mala distribución del recurso dentro de la población.

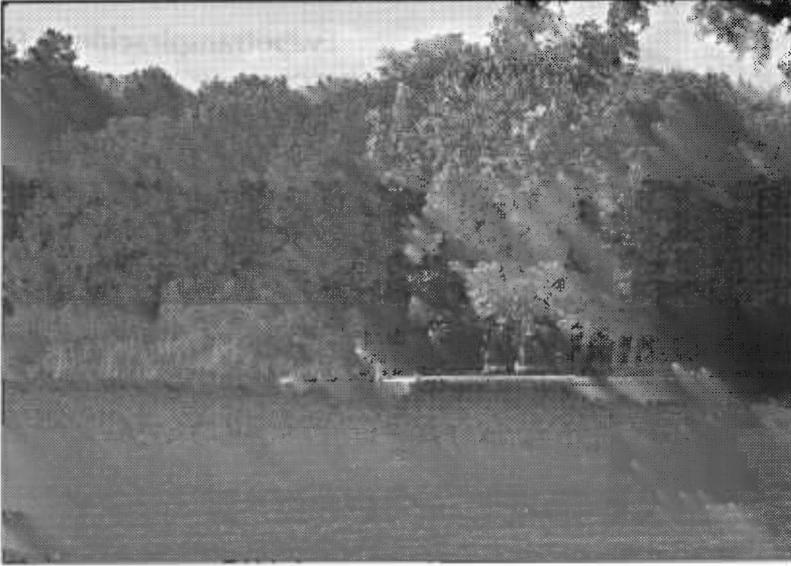
De ahí que, la medición de caudales surge como una alternativa que permite monitorear los afluentes, en lo que se relaciona a la cantidad de agua que circula en puntos seleccionados y construir una base de datos que ayude a tomar decisiones de conservación, si se evidencia una disminución del caudal fuera de lo establecido ecológicamente.

Este trabajo pretende, con una metodología de fácil aplicación, proporcionar a las comunidades y demás interesados@s las herramientas para la medición de la cantidad de agua en ríos, quebradas y canales.

Se busca también, la total incorporación de los pobladores e instituciones, en el conocimiento de la cantidad de agua existente y sus variaciones ocasionadas en el tiempo, lo que permitirá lograr un análisis colectivo y optar por mejores prácticas en el uso del recurso.

CONCEPTOS BÁSICOS

A g u a

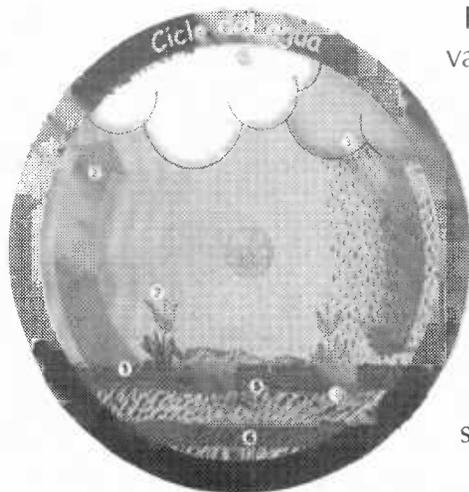


El agua es una de las cuatro necesidades básicas para la vida, interactúa con los otros elementos indispensables como el suelo, la luz y el aire; juntos hacen posible que exista vida en el planeta. Esta afirmación de Henao J. sostiene, además, que el agua es el eje en el manejo de una cuenca hidrográfica, por lo que el conocer el movimiento del agua en la cuenca y las cantidades en que se encuentra, es muy necesario.

El agua pura es un líquido incoloro, inodoro e insípido, que hierve a 100° C y que se congela a 0° C, químicamente el agua existe en forma de moléculas que se compone de dos átomos de hidrógeno unidos a uno de oxígeno por medio de enlaces covalentes. (Dickson 1999).

Ciclo del agua

Es un proceso natural de cuatro pasos:



Evapotranspiración: El vapor de agua que sube a la atmósfera por acción del aire y el viento es producto del calor del sol, el cual evapora el agua de los mares, ríos, lagunas, quebradas, la humedad del suelo y hace transpirar a animales, vegetales y seres humanos.

Condensación: Es el vapor de agua que existe en la atmósfera y que se enfría provocando pequeñísimas gotas de agua que conforman las nubes.

Precipitación: Es el regreso a la tierra de las gotas de agua que están en las nubes en forma de lluvia y/o granizo.

Escurrimientos: Una parte del agua lluvia penetra en el suelo, y otra, mediante escorrentía, forma riachuelos, lagos, lagunas, ríos, mares y océanos, en donde nuevamente por evaporación y transpiración comienza el ciclo del agua.

Hidrometría ó Medición de caudales

¿Qué es la hidrometría?

La hidrometría permite medir, calcular y analizar los volúmenes de agua que pasa por una sección transversal de un río, canal o tubería, durante una unidad de tiempo.

¿Cuál es su importancia?

Provee de datos oportunos y veraces que una vez procesados proporcionan información adecuada para lograr una mayor eficiencia en la programación, ejecución y evaluación del agua en un sistema.

¿Cuáles son sus propósitos?

- Saber la disponibilidad del agua con que se cuenta en un río.
- Distribuir el agua a los usuarios en la cantidad deseada.
- Saber el volumen de agua con que se usa para regar los cultivos.
- Determinar la eficiencia de uso y manejo del agua.

Sistema Hidrométrico

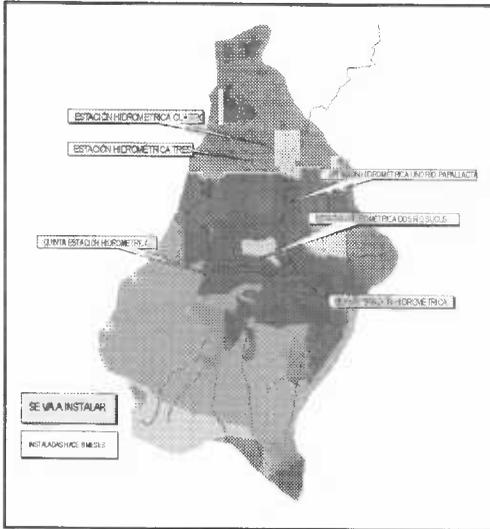
Es el conjunto de pasos, actividades y procedimientos tendientes a conocer (medir, registrar, calcular y analizar) los volúmenes de agua en un sistema.

Su soporte físico es una red hidrométrica.

1

Red Hidrométrica

Es el conjunto de puntos de medición estratégicamente ubicados en un sistema, de tal forma que permita interrelacionar la información obtenida.

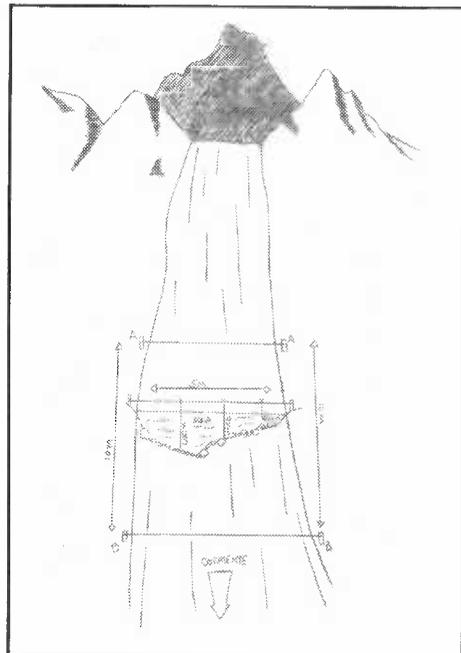


Puntos de control o medición

Son los sitios en donde se registran los caudales que pasan por una sección transversal en el curso de agua de un río, canal, acequia, etc.

El lugar o tramo que se escoja para establecer un punto de medición debe reunir los siguientes requisitos:

- Debe ser recto.
- El flujo del agua tiene que estar calmado sin turbulencias y debe observarse una velocidad estable.



- El río debe estar limpio de malezas, matorrales, piedras grandes a fin de evitar imprecisiones en la medición, pero, sobre todo debe ser de fácil acceso.

En cada punto de medición se debe tomar datos de ubicación hidrográfica, coordenadas y altitud. Los datos son registrados en una tabla.

Puntos de medición de caudales en la Microcuenca de Papallacta y Oyacachi

Nº	COD	ESTACIÓN
1	PMQ1	YAMUYACU
2	PMQ2	ROMERILLO
3	PMQ3	BARRANGES
4	PMQ4	GUANGUILQUI
5	PMQ5	TZIRAPA
6	PMQ6	SUCUS
7	PMQ7	SALVEFACCHA
8	PMQ8	GUAMBICOCHA
9	PMQ9	PAPALLACTA
10	PMQ10	PUNGOYACU
11	PMQ11	TUMINGUINA
12	PMQ12	TAMBO
13	PMQ13	SUCUS 1
14	PMQ14	SAN JUAN

Medición del agua

La medición o gasto del agua que pasa por una sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal, tubería) de agua, se conoce como aforo o medición de caudales.

Recuerde....

Para determinar los caudales siempre hay que tener en cuenta lo siguiente:

- El caudal Q se expresa en litros por segundo (lt/s) o en metros cúbicos por segundo (m^3/s).
- En la ecuación, si Q el caudal se expresa en m^3/s , el área A se expresa en m^2 y el volumen V en m^3 , el espacio se expresa en m y el tiempo (t en seg.)
- Es fácil convertir m^3/s a lt/s, sabiendo que un m^3 equivale a 1000 litros.
- Lt/s también se puede expresar como lps (litros por segundo).
- El problema principal es medir la velocidad media en los canales o causes ya que la velocidad varía en los diferentes puntos al interior de una masa de agua.

Métodos de medición de caudales

Los métodos que se emplean para aforar el agua están basados en la determinación del área de la sección transversal y la velocidad. Para ello se utiliza la fórmula:

$$Q = A * v (1)$$

Donde: Q = Caudal o Gasto (m³/s)

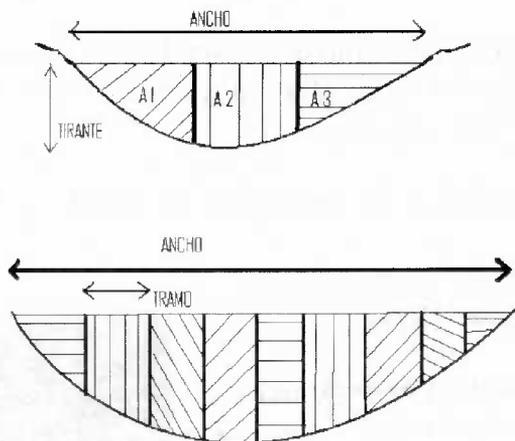
A = Área de la sección transversal (m²)

v = Velocidad media del agua en el punto (m/s)

Cálculo del Área

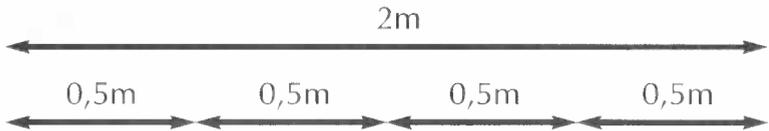
Se calcula el área de la sección transversal del río a medir, a través del siguiente procedimiento:

- La sección transversal del río en donde se va a realizar el aforo se divide en varias subsecciones, como se observa en la figura siguiente:



- El número de subsecciones depende del caudal estimado que podría pasar por la sección. Cada subsección, no debería pasar más del 10% del caudal estimado. Otro criterio es que, en cauces grandes, el número de subsecciones no debe ser menor a 20.

- El ancho superior de la sección transversal (superficie libre del agua) se divide en tramos iguales, cuya longitud es igual al ancho superior de la sección transversal dividido por el número de secciones calculadas.



El área en cada subsección se calculará fácilmente considerándola como un paralelogramo cuya base (ancho del tramo) se multiplica por el promedio de los tirantes que delimitan dicha subsección.

$$T1 + t2 / 2 = T$$

$$A=(T1+T2)/2 * ant.$$

Luego para determinar el área de la sección transversal, se suman las áreas obtenidas en cada subsección.

$$A1+A2+A3+A4+An = AT$$

Para calcular la velocidad se puede utilizar dos métodos:

Método del correntómetro

Método del flotador

Método del Correntómetro

Este método mide la velocidad en un punto dado de la masa de agua con un instrumento llamado correntómetro.

Existen varios tipos de correntómetros: los de hélice grande y de hélice pequeña que se los utiliza dependiendo del caudal a medirse.



Cada correntómetro debe tener un certificado de calibración en el que figura la fórmula para calcular la velocidad, sabiendo el número de vueltas o revoluciones de la hélice por segundo.

Estos correntómetros se calibran en laboratorios de hidráulica: una fórmula de calibración es la siguiente

$$v = an + b$$

- Donde:** v = velocidad del agua, en m / s
 n = número de vueltas de la hélice por seg.
 a = paso real de la hélice en metros.
 b = velocidad de frotamiento en m /seg.s

Como el Correntómetro mide la velocidad en un punto, para obtener la velocidad media de un curso de agua se debe en ciertos casos, medir la velocidad en dos, tres o más puntos, a diversas profundidades a lo largo de una vertical y a partir de la superficie del agua.

Las profundidades en las cuales se mide las velocidades con el correntómetro es de la altura del tirante de agua, así:

Tirante de agua (d)	Profundidad de lectura del Correntometro
Cm 1	cm
< 15	d/2
15<d<45	0,6d
>45	0,2d y 0,8d o 0,2d,0.6d y 0.8d

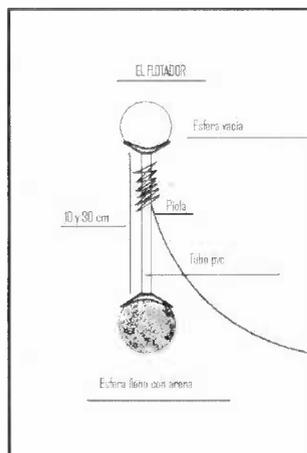


Método del Flotador

El método del flotador sub-superficial, consiste en dos esferas, corchos o trozos de madera, unidos por un tornillo o tubo PVC, uno de los extremos debe llevar un peso para hundirse y el otro

libre para que flote, de esta manera el dispositivo flotará de manera casi vertical respecto al cauce del río, lo cual nos permitirá obtener una velocidad igual a la real. Este método se emplea en los siguientes casos:

- A falta de correntómetro.
- Excesiva velocidad del agua que dificulta el uso del correntómetro.
- Presencia frecuente de cuerpos extraños en el curso del agua, que dificulta el uso de correntómetro.
- Cuando hay peligro de quien efectúa el aforo.
- Cuando peligran la integridad del correntómetro.



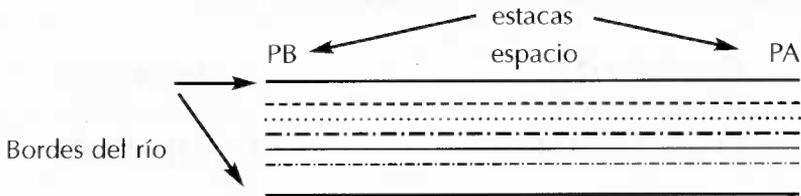
Utilización del flotador

El cálculo consiste en coger un tramo recto del curso de agua de la siguiente forma:

- El sitio debe ser un espacio del cauce adecuado que presente características más o menos uniformes

o paralelas en sus orillas, en una longitud alrededor de 5 a 10 m.

- Colocación de referenciales: para reconocimiento del espacio de 5 m o más ubicados en las orillas del río o colocación de referenciales: para reconocimiento del espacio de 5 m o más. ubicados en las orillas del río o cauce pequeño. Se pueden utilizar con estacas de madera de la zona.



- Para calcular el tiempo se deja caer el flotador antes del inicio del tramo que está debidamente señalado, tomar el tiempo que demoró el flotador en recorrer desde el punto A, hasta el punto B.
- Esta actividad se realiza por lo menos 3 veces: al margen izquierdo, centro y margen derecho, para luego determinar el tiempo promedio.
- Una vez calculado el tiempo que demora el flotador en recorrer el espacio determinado, procedemos a calcular la velocidad aplicando la siguiente fórmula:

$$v = e/t$$

Donde: v: es la velocidad en m / s
 e: espacio recorrido en m del flotador
 t: tiempo en segundos del recorrido por el flotador

Cálculo del Caudal

Una vez calculada el área y la velocidad procedemos al cálculo del caudal, multiplicando el área de la sección transversal por la velocidad del agua en esa sección y por el factor de corrección en el caso del método del flotador subsumergido, el mismo que corresponde a 0,99 para los canales con revestimiento de cemento y de 0,66 para los ríos, como lo muestra el siguiente ejemplo:

$Q = A * v (1)$	correntómetro
$Q = A * v (0.99)$	canal revestido
$Q = A * v (0.66)$	río o quebrada

El método volumétrico

Es un método de fácil utilización y elemental concepción. Es necesario contar con recipiente: balde o tubo u otro que se conozca la capacidad de contención. Dicha capacidad se estima en litros.

Es imprescindible contar con un tubo o canaleta, se recomienda que el tamaño del tubo facilite su transporte manual. Un reloj con segundero debe ser parte del equipo.

Procedimiento

- Con los materiales a la mano, se escoge un punto del río en donde la corriente no sea fuerte.
- En el lugar escogido se hace un dique rústico para represar al agua. Es posible que cerca de la corriente de agua haya piedras, palos y hojas de árboles. Con estos recursos naturales se puede levantar el pequeño dique.

- El tubo se introduce o empotra en el dique para que el agua salga por ese ducto.
- Hay que evitar en lo posible grandes fugas de agua por el borde del tubo adherido al dique.
- En la boca del tubo por donde sale agua se coloca el recipiente a llenar y al mismo instante se observa el tiempo de duración de llenado del recipiente.
- Es importante tener la observación aguda en este momento para dar la mayor exactitud en el registro del tiempo.
- Ahora prosigue la sección de cálculo numérico: la división. Se divide la capacidad del recipiente entre el tiempo que registró el llenado. El resultado o cociente de la operación indica cual es el caudal del curso de agua.

En términos de notación esquemática la operación es:

Capacidad = C
Tiempo = T
Caudal = Q

Entonces: $Q = C/T$ (C dividido entre T). Como ejemplo, resolvamos un problema ciñiéndonos a la fórmula para conocer el caudal aproximado:

DATOS:

C= 12 litros;
 T= 5 segundos;
 Q =? Litros por segundo.

DESARROLLO

$Q=C/T$
 $Q=12\text{Litros}/5\text{segundos}$
 $Q=2.4\text{ LPS}$

Tenemos determinado que Q es igual a 2,4 litros por segundo

Es necesario reiterar que con el Método Volumétrico se logra cifras aproximadas del aforo de un caudal de agua. Para adquirir mejor representatividad del aforo, las muestras de agua pueden registrarse de varios sectores de la corriente. Estas muestras se promedian haciendo la sumatoria de todas las mediciones registradas, y dividiendo la suma total entre el número de aforos realizados.

Otra recomendación para indagar el comportamiento del caudal de la corriente de agua es efectuar los aforos en distintas épocas del año, tanto en sequía como en invierno.

Registro y cálculo

Es la colección de todos los datos que nos permiten cuantificar el caudal que pasa por la sección de un determinado punto de medición

	/ TIRANTE						Tirante Promedio * Archo Del Tirante	ÁREA		
	T1	+	T2	=	ET	÷			2	T
A1		+		=		÷		*		Archo
A2		+		=		÷		*		Archo
A3		+		=		÷		*		Archo
A4		+		=		÷		*		Archo
A5		+		=		÷		*		Archo
A6		+		=		÷		*		Archo
AT										

	TIEMPO						Espacio dividido para el tiempo	velocidad
	t1	+	t2	+	Et	÷		
v		+		+		÷		

	AREA TOTAL	*	VELOCIDAD	*	FACTOR DE CORRECCION	=	CAUDAL
Q		*		*		=	

3

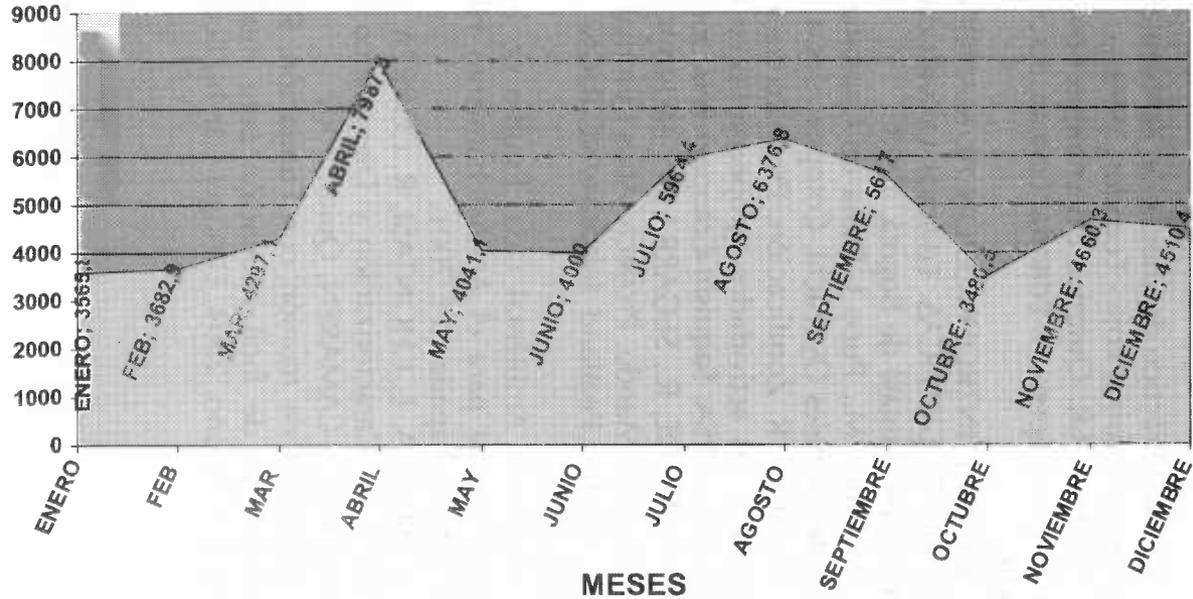
Reporte

Es el resultado del procesamiento de los datos obtenidos, en el cual normalmente una secuencia de caudales medidos se convierte en un volumen por periodo mayor (m³/día, m³/mes, m³/año, etc.)

N° de la estación (conforme Ficha N° 1)		Código										
Nombre de la estación		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Año												
Meses												
Enero												
Febrero												
Marzo												
Abril												
Mayo												
Junio												
Agosto												
Septiembre												
Octubre												
Noviembre												
Diciembre												
Q ^o Medid ^o anual												
Q ^o Medid ^o mensual												
Q ^o Medid ^o anual MES												

CAUDALES MEDIOS MENSUALES DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PAPALLACTA 2005

CAUDAL L/S



BIBLIOGRAFIA

Manual Práctico de Educación Ambiental. Fundación Ecológica Arcoiris, Loja - Ecuador. 1999.

Dickson T.R. Química Un Enfoque Ecológico. Décimo tercera Impresión. Editorial Limusa, S.A. México, D.F. 1999.

Henao J. INTRODUCCIÓN AL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS. Editorial Universidad Santo Tomas USTA. Santafé de Bogotá, 1998.

Martínez M., Puco J. Ficha de Capitalización medición de caudales Oyacachi. Cotopaxi. 2004.

SUÁREZ, R. Zonificación. Proyecto para el fortalecimiento de las actividades agropecuarias en Papallacta y Oyacachi. CESA. Saquisilí-Cotopaxi-Ecuador. 2003.

HOFSTEDE, R., SEGARRA P. Y MENA V P. (Eds.). Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/ EcoCiencia. Quito. 2003.

Auditoria Ambiental Ltda. Estudio de Impacto Ambiental Expost para el Aprovechamiento Hidroeléctrico del Sistema Papallacta I. 2001.

CHICAIZA, L. CHONTASI, R. CORREA, G. MALDONADO, P. "Caracterización y Diagnóstico de los páramos. IEDECA-CAMAREN. Quito. 2002

Memoria de reunión con Fundación, Randy Randy, metodología de facil aplicación para medir caudales, Mauricio Proaño, 2004, El Angel-Carchi, Ecuador.

Quito, febrero del 2006

	TIRANTE								Tirante Promedio *Ancho Del Tramo			ÁREA
	T1	+	T2	=	ET	÷	2	=	T	*	Ant.	
A1		+		=		÷	2	=				
A2		+		=		÷	2	=				
A3		+		=		÷	2	=				
A4		+		=		÷	2	=				
A5		+		=		÷	2	=				
A6		+		=		÷	2	=				
AT												

	TIEMPO										Espacio dividido para el tiempo				velocidad	
	t1	+	t2	+	t3	-	Et	÷	3	=	t	e	÷	t		=
v		+		+		-		÷	3	=						

	AREA TOTAL	*	VELOCIDAD	*	FACTOR DE CORRECCION	=	CAUDAL
Q		*		*		=	

	TIRANTE							Tirante Promedio *Ancho Del Tramo			ÁREA	
	T1	+	T2	=	ET	÷	2	=	T	*		Ant.
A1		+		=		÷	2	=		*		
A2		+		=		÷	2	=		*		
A3		+		=		÷	2	=		*		
A4		+		=		÷	2	=		*		
A5		+		=		÷	2	=		*		
A6		+		=		÷	2	=		*		
AT												

	TIEMPO										Espacio dividido para el tiempo			velocidad
	t1	+	t2	+	t3	-	Et	÷	3	=	t	÷	e	
v		+		+		-		÷	3	=		÷		

	AREA TOTAL	*	VELOCIDAD	*	FACTOR DE CORRECCION	=	CAUDAL
Q		*		*		=	

	TIRANTE								Tirante Promedio * Ancho Del Tramo			ÁREA
	T1	+	T2	=	ET	÷	2	=	T	*	Ant.	
A1		+		=		÷	2	=		*		
A2		+		=		÷	2	=		*		
A3		+		=		÷	2	=		*		
A4		+		=		÷	2	=		*		
A5		+		=		÷	2	=		*		
A6		+		=		÷	2	=		*		
AT												

	TIEMPO											Espacio dividido para el tiempo				velocidad
	t1	+	t2	+	t3	-	Et	÷	3	=	T	e	÷	t	=	
v		+		+		-		÷ <td>3 <td>=</td> <td></td> <td></td> <td>÷</td> <td></td> <td>=</td> </td>	3 <td>=</td> <td></td> <td></td> <td>÷</td> <td></td> <td>=</td>	=			÷		=	

	AREA TOTAL	*	VELOCIDAD	*	FACTOR DE CORRECCION	=	CAUDAL
Q		*		*		=	

	TIRANTE								Tirante Promedio *Ancho Del Tramo			ÁREA
	T1	+	T2	=	ET	÷	2	=	T	*	Ant.	
A1		+		=		÷	2	=		*		
A2		+		=		÷	2	=		*		
A3		+		=		÷	2	=		*		
A4		+		=		÷	2	=		*		
A5		+		=		÷	2	=		*		
A6		+		=		÷	2	=		*		
AT												

	TIEMPO										Espacio dividido para el tiempo				velocidad	
	t1	+	t2	+	t3	-	Et	÷	3	=	t	e	÷	t		=
v		+		+		-		÷	3	=			÷		=	

	AREA TOTAL	*	VELOCIDAD	*	FACTOR DE CORRECCION	=	CAUDAL
Q		*		*		=	

	TIRANTE										Tirante Promedio *Ancho Del Tramo			ÁREA
	T1	+	T2	=	ET	÷	2	=	T	*	Ant.			
A1		+		=		÷	2	=		*				
A2		+		=		÷	2	=		*				
A3		+		=		÷	2	=		*				
A4		+		=		÷	2	=		*				
A5		+		=		÷	2	=		*				
A6		+		=		÷	2	=		*				
AT														

	TIEMPO										Espacio dividido para el tiempo			velocidad
	t1	+	t2	+	t3	-	Et	÷	3	=	e	÷	t	
v		+		+		-		÷	3	=		÷		=

	AREA TOTAL	*	VELOCIDAD	*	FACTOR DE CORRECCION	=	CAUDAL
Q		*		*		=	
		*		*		=	

	TIRANTE								Tirante Promedio * ancho Del Tirante			ÁREA
	T1	+	T2	=	ET	÷	2	=	T	*	Ant.	
A1		+		=		÷	2	=		*		
A2		+		=		÷	2	=		*		
A3		+		=		÷	2	=		*		
A4		+		=		÷	2	=		*		
A5		+		=		÷	2	=		*		
A6		+		=		÷	2	=		*		
AT												

	TIEMPO										Espacio dividido para el tiempo				velocidad
	t1	+	t2	+	t3	-	Et	÷	3	=	t	e	-	t	
v		+		+		-		÷	3	=			-		=

	AREA TOTAL	*	VELOCIDAD	*	FACTOR DE CORRECCION	=	CAUDAL
Q		*		*		=	

	TIRANTE								Tirante Promedio * Ancho Del Tramo			ÁREA
	T1	+	T2	=	ET	÷	2	=	T	*	Ant.	
A1		+		=		÷	2	=		*		
A2		+		=		÷	2	=		*		
A3		+		=		÷	2	=		*		
A4		+		=		÷	2	=		*		
A5		+		=		÷	2	=		*		
A6		+		=		÷	2	=		*		
AT												

	TIEMPO										Espacio dividido para el tiempo				velocidad	
	t1	+	t2	+	t3	-	Et	÷	3	=	t	e	÷	t		=
v		+		+		-		÷	3	=			÷		=	

	AREA TOTAL	*	VELOCIDAD	*	FACTOR DE CORRECCION	=	CAUDAL
Q		*		*		=	

	TIRANTE								Tirante Promedio *Ancho Del Tramo			ÁREA
	T1	+	T2	=	ET	÷	2	=	T	*	Ant.	
A1		+		=		÷	2	=		*		
A2		+		=		÷	2	=		*		
A3		+		=		÷	2	=		*		
A4		+		=		÷	2	=		*		
A5		+		=		÷	2	=		*		
A6		+		=		÷	2	=		*		
AT												

	TIEMPO											Espacio dividido para el tiempo				velocidad
	t1	+	t2	+	t3	-	Et	÷	3	=	t	e	÷	t	÷	
v		+		+		-		÷	3	=			÷		÷	

	AREA TOTAL	*	VELOCIDAD	*	FACTOR DE CORRECCION	=	CAUDAL
Q		*		*		=	