



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**CAUDALES, AFOROS Y CÁLCULOS DE LAS  
PERSISTENCIAS**

**PRESENTADO POR  
BACHILLER JOSÉ LEONARDO HUACCA MAMANI**

**ASESOR:  
ING. RENÉ HERADIO FLORES PAURO**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2018**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PORTADA	
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	ix
Índice de ecuaciones.....	xiii
Índice de apéndices.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO II

#### OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3

### CAPÍTULO III

#### DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Marco teórico.....	5
-------------------------	---

3.1.1. Conceptos.....	5
3.1.2. Métodos de aforo .....	14
3.2. Caso práctico.....	61
3.2.1. Aforo del río Osmore provincia de Ilo.....	63
3.2.2. Aforo por el método correntómetro en la estación Chivaya .....	76
3.2.3. Aforo en irrigación pampas de San Antonio.....	78
3.2.4. Aforo en EPS Moquegua con correntómetro y flotador .....	83
3.2.5. Aforo en río Moquegua.....	88
3.2.6. Cálculos de persistencias al 75 % y 95 % .....	103
3.3. Representación de resultados .....	124
3.3.1. Aforo en río Osmore, estación Chivaya y irrigación San Antonio .....	124
3.3.2. Aforo con correntómetro y flotador en EPS Moquegua .....	125
3.3.3. Aforo con flotador y aforador sin cuello en río Moquegua .....	128
3.3.4. Cálculo de las persistencias río Tumilaca, Torata y Huaracane .....	129

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. Conclusiones .....	133
4.2. Recomendaciones.....	135
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137
APÉNDICE.....	13940

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Tiempo promedio de llenado método volumétrico .....	20
Tabla 2. Tabla para determinar el caudal en distintos volúmenes .....	21
Tabla 3. Cálculo de caudal según el aforo volumétrico .....	24
Tabla 4. Medidas estándar de los aforadores Parshall .....	28
Tabla 5. Diseños estándar de aforadores Parshall .....	29
Tabla 6. Relación de carga $h_a$ vs caudales $Q$ .....	34
Tabla 7. Valores de $m$ y $n$ para la ecuación en unidades métricas .....	36
Tabla 8. Medidas del canal Parshall EPS Moquegua .....	37
Tabla 9. Cálculo de descarga flujo libre y sumergido .....	42
Tabla 10. Profundidades sugeridas para medir las velocidades .....	50
Tabla 11. Ancho de la subsección en función del ancho del canal .....	53
Tabla 12. Coeficientes para corregir la velocidad superficial .....	60
Tabla 13. Cálculo del caudal en la estación Espejos .....	70
Tabla 14. Cálculo del caudal estación Canuto .....	71
Tabla 15. Cálculo del caudal canal de captación EPS-Ilo .....	72
Tabla 16. Cálculo del caudal en la estación Algarrobal .....	73
Tabla 17. Cálculo del caudal en la estación Chivaya .....	77
Tabla 18. Cálculo del caudal en el canal Coprocop .....	79
Tabla 19. Cálculo de caudal en el canal Cambrune .....	80
Tabla 20. Cálculo del caudal en el canal Siglo XXI .....	81
Tabla 21. Cálculo del caudal por el método del flotador .....	83
Tabla 22. Cálculo del caudal en el canal EPS Moquegua .....	84

Tabla 23. Cálculo del caudal por el método del flotador .....	87
Tabla 24. Cálculo del área de la sección de aforo punto inicial.....	90
Tabla 25. Cálculo del área de la sección de aforo punto final .....	91
Tabla 26. Cálculo del caudal por el método del flotador .....	92
Tabla 27. Lecturas obtenidas del aforo y lecturas promedio .....	97
Tabla 28. Cálculo del grado de sumergencia .....	98
Tabla 29. Cálculo de caudales según los valores de Ha.....	102
Tabla 30. Cálculo de persistencias al 75 % río Tumilaca (Weibull).....	104
Tabla 31. Cálculo de persistencias al 95 % río Tumilaca (Weibull).....	105
Tabla 32. Cálculo de persistencias al 75 % río Tumilaca (percentil) .....	106
Tabla 33. Cálculo de persistencias al 95 % río Tumilaca (percentil) .....	107
Tabla 34. Cálculo de persistencias al 75 % río Torata (Weibull) .....	109
Tabla 35. Cálculo de persistencias al 95 % río Torata (Weibull) .....	110
Tabla 36. Cálculo de persistencias al 75 % río Torata (percentil) .....	111
Tabla 37. Cálculo de persistencias al 95 % río Torata (percentil) .....	111
Tabla 38. Cálculo de persistencias al 75 % río Huaracane (Weibull).....	114
Tabla 39. Cálculo de persistencias al 95 % río Huaracane (Weibull).....	114
Tabla 40. Cálculo de persistencias al 75 % río Huaracane (percentil).....	116
Tabla 41. Cálculo de persistencias al 95 % río Huaracane (percentil).....	116
Tabla 42. Fuentes de agua de la cuenca del río Moquegua.....	123
Tabla 43. Usos de agua en la región Moquegua .....	123
Tabla 44. Balance hídrico de la cuenca del río Moquegua .....	124
Tabla 45. Resultados de aforo en el río Osmore .....	124
Tabla 46. Resultado del aforo realizado en la estación Chivaya.....	125

Tabla 47. Aforo en los canales irrigación San Antonio .....	125
Tabla 48. Producción de agua potable en la EPS Moquegua.....	127
Tabla 49. Cálculo de persistencias en río Tumilaca.....	130
Tabla 50. Cálculo de persistencias en río Torata .....	131
Tabla 51. Cálculo de persistencias en río Huaracane.....	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Sección transversal del río en donde se va a realizar el aforo .....	7
Figura 2. Longitud del tramo de aforo .....	8
Figura 3. Tramo de aforo recto con flujo de agua calmado .....	9
Figura 4. Método volumétrico .....	14
Figura 5. Determinación del tiempo de llenado .....	15
Figura 6. Construcción de un dique temporal para aforo volumétrico .....	16
Figura 7. Volumen del recipiente o balde .....	19
Figura 8. Esquema de canal Parshall .....	25
Figura 9. Vista en planta del aforador Parshall .....	26
Figura 10. Geometría de un canal aforador Parshall.....	27
Figura 11. Canal Parshall flujo libre y flujo sumergido.....	32
Figura 12. Curva de flujo libre y flujo sumergido .....	34
Figura 13. Perfil hidráulico del aforador Parshall.....	37
Figura 14. Medición del ancho de la garganta del canal Parshall en la EPS .....	38
Figura 15. Medidas externas del aforador Parshall EPS Moquegua.....	38
Figura 16. Vista en planta del aforador sin cuello .....	40
Figura 17. Geometría de los aforadores sin cuello.....	40
Figura 18. Medición del aforador sin cuello en el río Moquegua.....	44
Figura 19. Ubicación del aforador en el centro del río y al eje del flujo .....	45
Figura 20. Materiales para aforar con aforador sin cuello .....	46
Figura 21. Aforador sin cuello .....	46
Figura 22. Molinete de hélice .....	47

Figura 23. Molinete de cazoletas .....	48
Figura 24. Sección de aforo .....	52
Figura 25. Sección de canal definida para medición con correntómetro .....	52
Figura 26. Materiales para aforo con correntómetro.....	54
Figura 27. Aforo en río con correntómetro .....	55
Figura 28. Materiales para aforo por el método del flotador .....	58
Figura 29. Aforo con el método del flotador .....	61
Figura 30. Mapa de los puntos de trabajo de campo.....	63
Figura 31. Ubicación de los aforos en el río Osmore.....	65
Figura 32. Medición de caudal en la estación Espejos - Moquegua .....	66
Figura 33. Medición de caudal en la estación Canuto - Ilo.....	70
Figura 34. Medición de caudal canal planta de captación EPS-Ilo.....	71
Figura 35. Canal Parshall en la planta de captación de la EPS Ilo.....	72
Figura 36. Medición de caudal en la estación Algarrobal - Ilo.....	73
Figura 37. Medición de caudal en la estación Boca del Río – Ilo.....	74
Figura 38. Estación hidrológica - limnigráfica Tumilaca .....	77
Figura 39. Aforo en la estación Chivaya en Tumilaca.....	78
Figura 40. Aforo con correntómetro en el canal Coprocop .....	79
Figura 41. Aforo con correntómetro en el canal Cambrune .....	80
Figura 42. Aforo con correntómetro en el canal Siglo XXI.....	81
Figura 43. Medición para el método por flotador .....	82
Figura 44. Aforo por el método de flotador canal Siglo XXI.....	83
Figura 45. Aforo con correntómetro en el canal EPS .....	85
Figura 46. Medición del largo del tramo de aforo canal EPS .....	86

Figura 47. Aforo por flotador EPS Moquegua.....	88
Figura 48. Ubicación de aforo por el método flotador en río Moquegua .....	89
Figura 49. Tramo de aforo para método flotador río Moquegua .....	89
Figura 50. Medida del tirante en el tramo de aforo río Moquegua .....	90
Figura 51. Aforo método de flotador río Moquegua.....	92
Figura 52. Materiales utilizados para aforo con aforador sin cuello.....	94
Figura 53. Medición del aforador sin cuello .....	94
Figura 54. Aforador en el río con respecto al eje de flujo del río .....	95
Figura 55. Nivelado del aforador sin cuello con nivel en el río.....	95
Figura 56. Lectura tomada de Ha.....	96
Figura 57. Lectura tomada de Hb.....	97
Figura 58. Relación grado sumergencia $St$ vs longitud aforador .....	98
Figura 59. Relación entre $K_s$ y $n_s$ respecto a $L$ .....	99
Figura 60. Relación de flujo libre $k$ y flujo libre $n$ respecto a $L$ .....	100
Figura 61. Curva de caudales según aforador sin cuello.....	103
Figura 62. Cálculo de persistencias al 75 % y 95 % río Tumulaca (Weibull) .....	106
Figura 63. Cálculo de persistencias al 75 % y 95 % río Tumulaca (percentil).....	108
Figura 64. Cálculo de persistencia al 75 % y 95 % río Torata (Weibull) .....	111
Figura 65. Cálculo de persistencia al 75 % y 95 % río Torata (percentil) .....	112
Figura 66. Cálculo de persistencia al 75 % y 95 % río Huaracane (Weibull) .....	115
Figura 67. Cálculos de persistencia al 75 % y 95 % río Huaracane (percentil)...	117
Figura 68. Mapa hídrico de la región Moquegua.....	120
Figura 69. Diagrama hídrico PERPG.....	121
Figura 70. Diagrama topológico pampa Jaguay y Rinconada.....	122

Figura 71. Equipo electrónico de medición de aforo en la EPS .....	126
Figura 72. Aparato sensor para medición de caudal .....	127
Figura 73. Producción de agua potable .....	128
Figura 74. Cálculo de persistencias río Tumilaca .....	130
Figura 75. Cálculo de persistencias río Torata.....	131
Figura 76. Cálculo de persistencias río Huaracane .....	132

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
Ecuación 1. Ecuación de probabilidad de excedencia u ocurrencia.....	10
Ecuación 2. Ecuación propuesta por California año 1923 .....	11
Ecuación 3. Ecuación propuesta por Hazen año 1930 .....	11
Ecuación 4. Ecuación propuesta por Weibull año 1939 .....	11
Ecuación 5. Ecuación propuesta por Chegodayev año 1955 .....	11
Ecuación 6. Ecuación propuesta por Blom año 1958 .....	12
Ecuación 7. Ecuación propuesta por Tukey año 1962 .....	12
Ecuación 8. Ecuación propuesta por Gringorten año 1963.....	12
Ecuación 9. Ecuación para hallar el caudal.....	18
Ecuación 10. Ecuación para hallar el volumen del balde .....	19
Ecuación 11. Ecuación del peso específico .....	22
Ecuación 12. Ecuación del volumen .....	22
Ecuación 13. Ecuación del caudal.....	22
Ecuación 14. Ecuación del caudal.....	23
Ecuación 15. Ecuación de grado de sumergencia S .....	32
Ecuación 16. Ecuación del caudal según Ha, K, n.....	33
Ecuación 17. Ecuación de caudal para flujo sumergido .....	35
Ecuación 18. Ecuación para un rango $W(m) = 0,15$ m .....	36
Ecuación 19. Ecuación para un rango $W = 0,3 - 2,5$ m.....	36
Ecuación 20. Ecuación para un Rango $W = 2,5 - 1,5$ m .....	36
Ecuación 21. Ecuación grado de sumergencia aforador sin cuello.....	41
Ecuación 22. Ecuación del caudal aforador sin cuello.....	42

Ecuación 23. Ecuación del coeficiente de flujo libre.....	43
Ecuación 24. Ecuación del caudal según $H_a$ y $H_b$ .....	43
Ecuación 25. Ecuación del coeficiente de descarga $C_s$ .....	44
Ecuación 26. Ecuación de la velocidad del agua .....	49
Ecuación 27. Ecuación para hallar el número de vueltas de la hélice.....	49
Ecuación 28. Ecuación del tiempo promedio para aforo con flotador.....	59
Ecuación 29. Ecuación para el cálculo de la velocidad superficial .....	59
Ecuación 30. Ecuación para calcular la sección transversal .....	60
Ecuación 31. Ecuación del caudal aplicando la velocidad media.....	60
Ecuación 32. Ecuación cálculo de la velocidad promedio.....	67
Ecuación 33. Ecuación para hallar la altura promedio.....	67
Ecuación 34. Ecuación para hallar el área de la sección.....	68
Ecuación 35. Ecuación para hallar el caudal de la sección .....	69
Ecuación 36. Ecuación para calcular el caudal total .....	69
Ecuación 37. Ecuación para determinar el ancho del canal .....	87
Ecuación 38. Ecuación para hallar el promedio del área de la sección.....	91
Ecuación 39. Ecuación para hallar el coeficiente de descarga.....	100
Ecuación 40. Ecuación para hallar el caudal $Q$ .....	101
Ecuación 41. Ecuación para hallar la curva del caudal .....	102

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Tablas de descargas medias mensuales y cálculos.....	140
Tabla A 1. Registro histórico de caudales medios mensuales río Tumilaca.....	141
Tabla A 2. Cálculo de persistencias al 75 % y 95 % río Tumilaca (Weibull).....	143
Tabla A 3. Cálculo de persistencias al 75 % y 95 % río Tumilaca (percentil)...	145
Tabla A 4. Registro histórico de caudales medios mensuales río Torata.....	147
Tabla A 5. Cálculo de persistencias al 75 % y 95 % río Torata (Weibull).....	149
Tabla A 6. Cálculo de persistencias al 75 % y 95 % río Torata (percentil).....	151
Tabla A 7. Registro histórico de caudales medios mensuales río Huaracane.....	153
Tabla A 8. Cálculo de persistencias al 75 % y 95 % río Huaracane (Weibull)...	155
Tabla A 9. Cálculo de persistencias al 75 % y 95 % río Huaracane (percentil)..	157
Apéndice B. Documentos de solicitud de información.....	159
Apéndice C. Descargas medias mensuales .....	160
Apéndice D. Formatos de medición de aforo.....	161

## RESUMEN

En el presente trabajo de suficiencia profesional se desarrolla el tema “Caudales, aforos y cálculos de persistencias”; conocer el caudal de un río o canal nos permite saber la disponibilidad de agua con la que se cuenta y poder distribuirlo administrándolo de la mejor manera ya sea a los usuarios para riego agrario o agua potable para uso poblacional. Para realizar la medición del caudal se tiene varios métodos de aforo de las cuales en el presente trabajo se han desarrollado tres métodos en el caso práctico, asimismo se realizó las comparaciones e interpretaciones de los resultados. La medición de aforo en campo se realizó con correntómetro en el río Osmore provincia de Ilo, en la estación Chivaya en Tumilaca, en las tres empresas de irrigación pampas de San Antonio Siglo XXI, Cambrune y Coprocop, y en la EPS Moquegua en Chen Chen; se realizó también al aforo por el método de flotador en el río Moquegua, en el canal Siglo XXI y la EPS Moquegua; así mismo se realizó el método de aforo con aforador sin cuello en el río Moquegua. El presente informe tiene como finalidad demostrar cómo se calcula el caudal por los diferentes métodos de aforo y como se obtiene el cálculo de persistencias al 75 % y 95 % de los caudales medios de los ríos Tumilaca, Torata y Huaracane por el método de Weibull y el uso del software excel con la utilización de la función percentil, asimismo los registros históricos fueron proveídos por la Autoridad Local del Agua Moquegua. El cálculo de persistencias servirá también para poder determinar el balance hídrico de la cuenca del río Moquegua.

***Palabras clave:*** Caudal, aforo, cálculo de persistencia.

## ABSTRACT

In the present work of professional proficiency, the theme "Flows, gaugings and persistence calculations" is developed; know the flow of a river or channel allows us to know the availability of water that is available and distribute it by administering it in the best way either to users for agricultural irrigation or drinking water for population use. To perform the flow measurement, there are several gauging methods. In the present case, three methods have been developed in the practical case, as well as the comparisons and interpretations of the results. The measurement of field gauging was performed with current meter in the Osmore river province of Ilo, in the Chivaya station in Tumulaca, in the three pampas irrigation companies of San Antonio Siglo XXI, Cambrune and Coprocop, and in the EPS Moquegua in Chen Chen; The gauging was also carried out by the float method in the Moquegua river, in the Siglo XXI canal and the Moquegua EPS; Likewise, the gauging method with no-neck feeder in the Moquegua river was performed. The purpose of this report is to demonstrate how the flow is calculated by the different gauging methods and how the persistence calculation is obtained at 75% and 95% of the average flows of the Tumulaca, Torata and Huaracane rivers by the Weibull method and the use of Excel software with the use of the percentile function, as well as the historical records were provided by the Local Water Authority Moquegua. The persistence calculation will also serve to determine the water balance of the Moquegua river basin.

**Key words:** Flow, capacity, calculation of persistence.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

En el presente trabajo de suficiencia profesional se desarrolla el tema “Caudales, aforos y cálculos de persistencias”, para determinar el caudal se ha realizado el aforo del río y canal por diferentes métodos de aforo por correntómetro, flotador y aforador sin cuello, la hidrometría nos permite realizar la medición de caudal del agua que circula por una sección de río o canal y nos permitirán registrar los datos históricos y la representación con gráficos.

El trabajo práctico para la medición de caudales se ha realizado en varios puntos de la región Moquegua, los cuales nos han permitido la aplicación y experiencia de los diferentes métodos de aforo que nos servirá para la formación profesional, la medición del caudal nos servirá realizar proyectos y obras hidráulicas.

Así mismo nos ha permitido conocer los caudales en la cuenca del río Moquegua y la importancia de realizar el cálculo de las persistencias al 75 % para determinar el balance hídrico con los ríos que aportan en la cuenca y los manantiales naturales que existen a lo largo de la cuenca.

El presente trabajo consta de conceptos, métodos de aforo y cálculos de las persistencias, el caso práctico se ha realizado en varios puntos de la región Moquegua y nos ha permitido la aplicación de los diferentes métodos, los resultados nos han permitido realizar la representación de resultados, comparar los resultados entre los diferentes métodos aplicados, y nos han permitido realizar las conclusiones y recomendaciones con la aplicación de la experiencia realizada en campo en el presente informe de suficiencia profesional.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1. Objetivo general**

Determinar la medición del caudal, como se realiza el aforo y se obtiene el cálculo para diferentes porcentajes de persistencia de un registro histórico de caudales de varios años.

#### **2.2. Objetivos específicos**

Medir el caudal del río Osmore en las diferentes estaciones de aforo, en la estación Chivaya en Tumilaca, y las tres empresas de riego en las pampas de San Antonio por el método de correntómetro; y método del flotador en el canal Siglo XXI.

Determinar el caudal del canal de captación de la planta de tratamiento Empresa Prestadora de Servicios (EPS) Moquegua en Chen Chen mediante los métodos de aforo por correntómetro y flotador.

Estimar el aforo por el método aforador sin cuello donde se efectuará la descripción, desarrollo, instalación, operación, determinación de caudal y aspectos relevantes mediante la experiencia en campo y la información recopilada y comparación con el método de aforo con flotador en el mismo tramo de aforo.

Realizar el cálculo de las persistencias para diferentes porcentajes de los registros históricos y descargas mensuales de los ríos Tumilara, Torata y Huaracane, y conocer las persistencias al 75 % usado en el balance hídrico de la cuenca del río Moquegua con sus fuentes de agua y usos de agua.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1. Marco teórico**

##### **3.1.1. Conceptos**

###### ***3.1.1.1. ¿Qué es el agua?***

“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 la vida en el planeta” (Rojas, 2006).

El ciclo del agua es un proceso natural de cuatro pasos: la evapotranspiración que es el vapor de agua que sube a la atmósfera producto del calor del sol, la condensación es el vapor del agua que existe en la atmósfera y que se enfría provocando pequeñísimas gotas de agua que conforman las nubes, la precipitación es el regreso a la tierra de las gotas de agua que están en las nubes en formas de lluvia y/o granizo, escurrimiento es una parte del agua que penetra el suelo y otra mediante escurrimiento forma los ríos, lagos, mares, océanos en donde nuevamente por evaporación y transpiración comienza el ciclo del agua. Es

importante conocer el movimiento del agua en la cuenca y las cantidades en las que se encuentra para uso agrario, así como el agua en los canales de captación de las plantas de tratamiento para uso poblacional.

### ***3.1.1.2. ¿Qué es caudal?***

“El caudal corresponde a una cantidad de agua que pasa por un lugar (canal, tubería, etc.) en una cierta cantidad de tiempo, corresponde a un volumen de agua (L, m<sup>3</sup>, etc.), por unidad de tiempo (segundos, minutos, horas, etc.)” (Bello y Pino, 2000).

El término caudal, gasto y descarga son sinónimos, la medición del caudal es importante para dotar información para el ajuste del pronóstico de la disponibilidad de agua, mediante el análisis estadístico de los registros de los caudales de agua y poder usarlo para uso poblacional y uso agrario. Cabe destacar que el conocimiento del caudal que presenta un río será de vital importancia a la hora de la construcción de presas, embalses, o cualquier otro tipo de obra hidráulica.

### ***3.1.1.3. ¿Qué es aforo?***

“Aforar una corriente, significa determinar a través de mediciones, el caudal que pasa por una sección dada y en un momento dado” (Villón, 2002).

El aforo es el trabajo de campo que se realiza para conocer el caudal que fluye por una determinada sección de un cauce y es de suma importancia para los estudios hidrológicos, y se realizan en determinados momentos en que se desee conocer la magnitud de una corriente, Aforar el agua es medir el caudal del agua.

Es importante desde los puntos de vista:

- Saber la disponibilidad de agua con que se cuenta.
- Distribuir el agua a los usuarios en la cantidad deseada.
- Saber el volumen de agua con que se riegan los cultivos.
- Poder determinar la eficiencia de uso y de manejo del agua de riego.

En la figura N° 1 Se muestra la sección transversal del río en donde se va a realizar el aforo, y se aprecia que se divide en varias subsecciones, el número de subsecciones depende del caudal estimado que podría pasar por la sección, el ancho superior de la sección transversal (superficie libre de agua) se divide en tramos iguales, cuya longitud es igual al ancho superior de la sección transversal dividido por número de secciones calculadas.

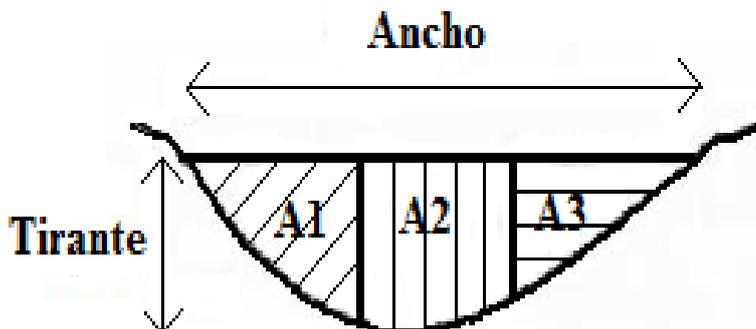


Figura 1. Sección transversal del río en donde se va a realizar el aforo

Fuente: Rojas, 2006

Nota: A1 = Subsección área 1  
A2 = Subsección área 2  
A3 = Subsección área 3

En la figura N° 2 se representa la longitud del tramo de aforo es la distancia a lo largo del conducto entre dos puntos referenciales del punto inicial “A” y del punto final “B”, que siguen la dirección del flujo o corriente del agua.

“Son los sitios en donde se registran los caudales que pasan por una sección transversal en el curso de agua de un río, canal, debe ser recto, el flujo de agua tiene que estar calmado sin turbulencias y velocidad estable” (Rojas, 2006).

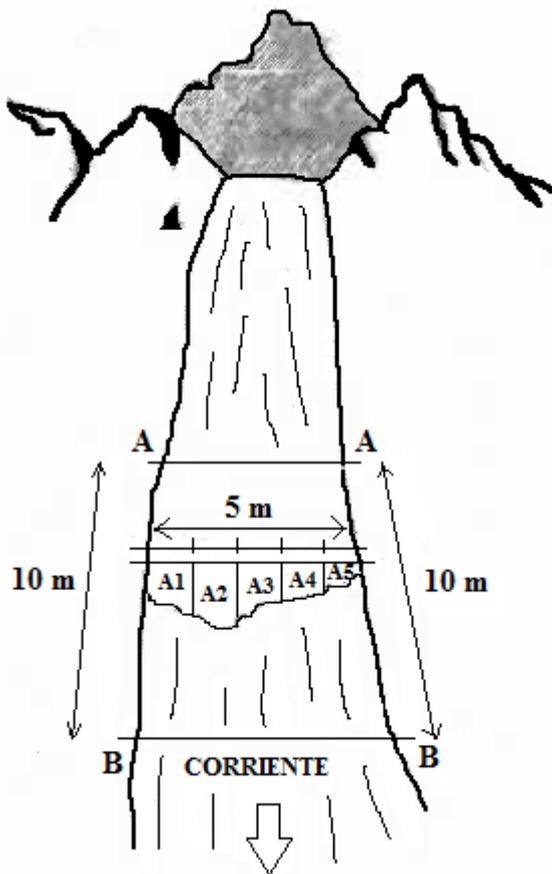


Figura 2. Longitud del tramo de aforo

Fuente: Rojas, 2006

Nota: A1 = Subsección área 1  
A2 = Subsección área 2  
A3 = Subsección área 3  
A4 = Subsección área 4  
A5 = Subsección área 5

En la figura N° 3 se visualiza el tramo de aforo en la estación Chivaya en Tumilaca a la altura del puente Tumilaca más arriba, que siguen la dirección del flujo o corriente del agua, en este caso el lugar escogido es recto, el flujo de agua tiene que estar calmado sin turbulencias y debe observarse una velocidad estable, limpio de malezas, piedras grandes y de fácil acceso, en este lugar la medición del

aforo es tomado por el Proyecto Especial Regional Pasto Grande (PERPG), por la Administración Local del Agua Moquegua (ALA).



*Figura 3.* Tramo de aforo recto con flujo de agua calmado

Nota: En la figura se puede apreciar el tramo de aforo en la estación Chivaya en Tumulaca el cual presenta un flujo de agua calmado y sin turbulencias

#### ***3.1.1.4. ¿Qué es hidrometría?***

“La hidrometría se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en la unidad de tiempo” (Ministerio de Agricultura, 2005).

Permite conocer el volumen de agua disponible a nivel de fuente natural, y conocer el grado de eficiencia en la distribución en la fase de operación.

La hidrometría permite conocer los datos de los caudales y volúmenes en forma oportuna y veraz. La información hidrométrica también permite lograr una mayor eficiencia en la programación, ejecución y evaluación del manejo de agua en un sistema de riego.

El uso de la información hidrométrica ordenada permite:

- Dotar de información para los pronósticos de la disponibilidad de agua, esta información es importante para elaborar el balance hídrico y planificar la distribución del agua de riego.
- Monitorear la ejecución de la distribución del agua de riego.
- La información hidrométrica también permite determinar la eficiencia en el sistema de riego y de apoyo para la solución de conflictos.

### 3.1.1.5. *¿Qué es persistencia?*

“La persistencia es la probabilidad de excedencia o ocurrencia, corresponde a la probabilidad de que un evento definido, o caudal de crecida, sea igualado o excedido” (Arrau, s.f.).

En la ecuación N° 1 se muestra la probabilidad de excedencia u ocurrencia, así definimos que se cumple la relación:

$$P = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (Ecuación 1)$$

Donde:

P = Probabilidad de excedencia

T = Período de retorno

Existen numerosas fórmulas empíricas para calcular P o T a una serie de valores históricos o estadísticos, sin que haya un criterio unánime acerca de cuál utilizar.

“Esta probabilidad de excedencia o frecuencia P que se asigna a cada valor de la serie es la que se conoce como posición de trazado. Su inversa es el período de retorno T” (Chereque, s.f.).

A través del tiempo diferentes autores han desarrollado fórmulas para determinar posiciones de trazado. De todas las fórmulas propuestas la que mejor aceptación ha tenido hasta el momento es la de Weibull.

Señalaremos las fórmulas propuestas según (Chereque, s.f.).

En la ecuación N° 2 se muestra la fórmula propuesta por California en el año 1923.

$$P = \frac{m}{N} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 2)}$$

En la ecuación N° 3 se muestra la fórmula propuesta por Hazen en el año 1930.

$$P = \frac{2m-1}{2N} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3)}$$

En la ecuación N° 4 se muestra la fórmula propuesta por Weibull en el año 1939.

$$P = \frac{m}{N+1} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4)}$$

En la ecuación N° 5 se muestra la fórmula propuesta por Chegodayev en el año 1955.

$$P = \frac{m-0,3}{N+0,4} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 5)}$$

En la ecuación N° 6 se muestra la fórmula propuesta por Blom en el año 1958.

$$P = \frac{m - \frac{3}{8}}{N + \frac{1}{4}} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 6)}$$

En la ecuación N° 7 se muestra la fórmula propuesta por Tukey en el año 1962.

$$P = \frac{3m-1}{3N+1} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 7)}$$

En la ecuación N° 8 se muestra la fórmula propuesta por Gringorten en el año 1963.

$$P = \frac{m-0,44}{N+0,12} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

N = Número total de valores de la muestra.

m = Número de orden de los valores ordenados de mayor a menor.

La curva de duración, llamada también curva de persistencia, es una curva que indica el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos. Para dibujarla, los gastos medios diarios, semanales o mensuales, se ordenan de acuerdo a su magnitud y luego se calcula el porcentaje de tiempo durante el cual ellos fueron igualados o excedidos, las curvas de duración permiten estudiar las características de los escurrimientos de los ríos.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Ordenar la serie de datos de caudales medias mensuales en columnas, donde cada columna, represente los datos correspondientes a un mes específico.

- En una columna a la izquierda de las series de datos, se coloca el número de orden de cada dato es denotada por  $m$ , empezando de uno hasta  $N$ , donde  $N$  es el número de valores de la muestra.
- En otra columna a la derecha con el número de orden y el número total de muestra calculamos la probabilidad o frecuencia con la ecuación N° 4, con la fórmula propuesta por Weibull.
- En las siguientes columnas se coloca los datos de las descargas medias mensuales en una columna por mes.
- Se ordena en cada columna con datos de caudales medios de mayor a menor.
- Finalmente se calcula los datos que corresponde a un análisis de persistencia del 75 % y 95 % de probabilidad, en la columna de probabilidades si no se encuentra el valor exacto del 75 % y 95 % se deberá interpolar con los valores adyacentes para calcular el valor. También se utiliza el software de ofimática excel para calcular las persistencias mediante la función percentil que generalmente se utiliza.
- En el gráfico se colocan en el eje de las abscisas los meses y en el eje de las ordenadas el valor de la variable en estudio, dibujándose los puntos representativos del cuadro, uniéndose aquellos que tienen igual probabilidad.

En riego agrario para efectos de estimar la asignación a los usuarios corresponde al 75 % de persistencia.

Para abastecimiento de agua potable y centrales hidroeléctricas se considera un porcentaje de persistencia del 95 % que en términos de caudal es el más

conservador que en caso para riego agrario, puesto que para la población y energía se necesita contar con una mayor seguridad.

### **3.1.2. Métodos de aforo**

Existen varios métodos de aforo los cuales describiremos los más importantes:

#### ***3.1.2.1. Método volumétrico***

El método volumétrico es aplicable cuando se miden caudales pequeños, caudales de manantiales, y se requiere de un recipiente o balde que se conozca la capacidad de contención para coleccionar el agua.

“Este método se basa en medir el tiempo que demora en llenarse un balde de un volumen conocido. Al dividir la capacidad del balde (litros) por el tiempo empleado (segundos) se obtiene el caudal en L/s” (Ministerio de Agricultura y Riego, 2014)



*Figura 4. Método volumétrico*  
Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego, 2014

Para determinar el tiempo de llenado del recipiente se debe considerar como medición cinco mediciones a fin de determinar el tiempo promedio.

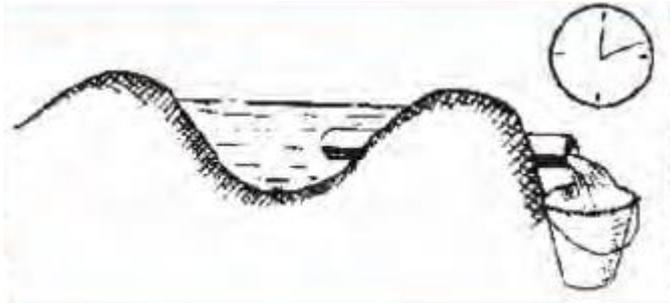


Figura 5. Determinación del tiempo de llenado  
Fuente: MINAGRI, 2014

#### *a. Descripción del método*

Para calcular el caudal empleando este método se realiza lo siguiente:

- Se desvía la corriente que circula por un canal, hacia un estanque o recipiente de volumen conocido.
- Se calcula el tiempo que tarda en llenar el recipiente. Para dar mayor exactitud a la medición del tiempo, se recomienda usar un cronómetro.
- Se calcula el caudal  $Q$  dividiendo el volumen medido en el tiempo de llenado del recipiente.

Para emplear este método, se debe considerar lo siguiente:

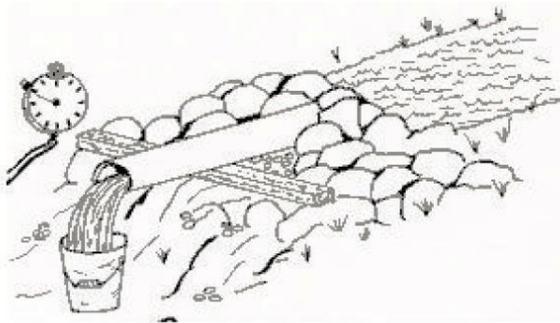
- Para caudales de hasta 4 L/s, usar un recipiente de 10 litros de capacidad.
- Para caudales de hasta 50 L/s, usar un recipiente de 200 litros de capacidad.
- En algunos casos los recipientes se llenan en pocos segundos, por lo que se recomienda que la medición del tiempo sea lo más exacto posible.

- Repetir el aforo varias veces, permitirá una mejor precisión de los resultados.

**b. Características y aplicaciones del aforo volumétrico**

Este método de aforo es sencillo de realizar, su precisión es alto, y se requiere de pocos materiales, con flujo relativamente lento, es recomendable utilizar este método para caudales menores, como pequeñas acequias, y como son los que escurren en surcos de regadío.

“Al ser aplicado en canales y cauces pequeños, muchas veces se hace necesaria la construcción de un dique temporal que obligue a que toda el agua del cauce pase a través de una tubería de volumen o tamaño conocido” (Hidalgo, 2017).



*Figura 6.* Construcción de un dique temporal para aforo volumétrico  
Fuente: Hidalgo, 2017

El método de aforo volumétrico es utilizado en aforos de corrientes pequeñas, como surcos de regadío, escorrentías que afloran lentamente la superficie y acequias.

**c. *Materiales***

Los materiales que son necesarios para la medición de este tipo de aforo volumétrico son los siguientes según (Hidalgo, 2017).

- Recipiente de volumen conocido
- Cronómetro
- Tubo PVC 2” de un metro de largo
- Herramienta para nivelar el terreno como pala, pico, etc.
- Formato para el registro de datos
- Ropa adecuada
- Cámara fotográfica
- Calculadora

**d. *Procedimiento para realizar el aforo volumétrico***

- Se debe realizar el reconocimiento de la zona donde se realizará el aforo.
- El operador de aforo debe mantener en cero el cronómetro, luego colocar un recipiente de volumen conocido en el sitio para el llenado del caudal, después procedemos a tomar el tiempo promedio, el cual disminuye el rango de error del procedimiento manual y se obtiene mejor precisión en el valor final calculado.
- Con el valor que se ha obtenido del tiempo promedio, procedemos a calcular el caudal, para esto aplicamos la fórmula general del caudal.

**e. La fórmula del caudal es la siguiente**

Se utiliza la ecuación N° 9 para el obtener el caudal se escribe de la siguiente manera:

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 9)}$$

Donde:

Q = Caudal o gasto, (m<sup>3</sup>/s, L/s)

V = Volumen conocido del recipiente aforador, (m<sup>3</sup>, L)

t = Tiempo, (s)

**f. Recomendaciones generales**

- Cuando los caudales son bajos se pueden dejar en las unidades de “L/s” es lo más recomendable.
- La elaboración de un formato para el registro de datos es muy útil.
- Una hoja electrónica en excel se podría calcular automáticamente los diferentes valores.

**g. Ejemplo**

Cuando se tiene baldes y no se sabe cuánto es el volumen, esta medida se debe calcular mediante la siguiente expresión:

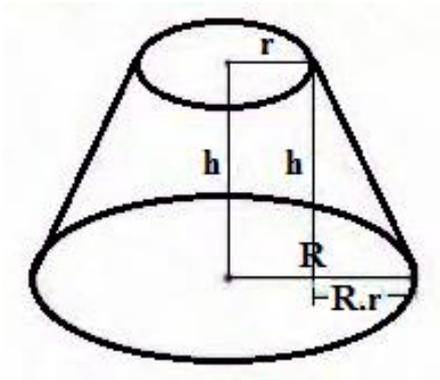


Figura 7. Volumen del recipiente o balde  
Fuente: MINAGRI, 2014

En la ecuación N° 10 se muestra la fórmula para hallar el volumen del balde.

$$V = \frac{\pi \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r)}{3} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 10)}$$

Donde:

V = Volumen

$\pi = 3,1416$

h = Altura

R = Radio mayor

r = Radio menor

Si Radio menor r = 0,10 m

Si Radio mayor R = 0,15 m

Profundidad del balde h = 0,30 m

Para hallar el volumen utilizamos la ecuación N° 10 y el resultado es el siguiente:

$$V = \frac{3,1416 \cdot 0,30 \cdot (0,15^2 + 0,10^2 + 0,15 \cdot 0,10)}{3}$$

$$V = 0,0149226 \text{ m}^3$$

Si:  $1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ L}$

Entonces el volumen en litros será

$$V = 0,0149226 * 1\,000 = 14,92 \text{ L}$$

Para determinar el tiempo de llenado se debe considerar como medición cinco mediciones a fin de determinar un tiempo promedio.

**Tabla 1**  
*Tiempo promedio de llenado método volumétrico*

Tiempo de llenado	Segundos
T1	5,9
T2	6,1
T3	6,1
T4	6,2
T5	5,9
Tiempo promedio (T)	6,04

Fuente: MINAGRI, 2014

Entonces determinamos el cálculo del caudal con la fórmula de la ecuación

N° 9.

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{14,92 \text{ L}}{6,04 \text{ s}} = 2,47 \text{ L/s}$$

El caudal es 2,47 L/s

Cuando se tiene determinado el volumen se puede calcular el caudal, para recipiente con volúmenes conocidos de 5 L, 10 L y 20 L, y se determina el tiempo promedio que demora en llenarse el balde, el mismo que es determinado con cronómetro.

Según la tabla N° 2 se muestra los diferentes volúmenes de los recipientes versus tiempo de llenado para determinar el caudal.

**Tabla 2**

*Tabla para determinar el caudal en distintos volúmenes*

<b>Tiempo Empleado (s)</b>	<b>Volumen 5 litros</b>	<b>Volumen 10 litros</b>	<b>Volumen 20 litros</b>
1	5,00	10,00	20,00
2	2,50	5,00	10,00
3	1,67	3,33	6,67
4	1,25	2,50	5,00
5	1,00	2,00	4,00
6	0,83	1,67	3,33
7	0,71	1,43	2,86
8	0,63	1,25	2,50
9	0,56	1,11	2,22
10	0,50	1,00	2,00
11	0,45	0,91	1,82
12	0,42	0,83	1,67
13	0,38	0,77	1,54
14	0,36	0,71	1,43
15	0,33	0,67	1,33
16	0,31	0,63	1,25
17	0,29	0,59	1,18
18	0,28	0,56	1,11
19	0,26	0,53	1,05
20	0,25	0,50	1,00
21	0,24	0,48	0,95
22	0,23	0,45	0,91
23	0,22	0,43	0,87
24	0,21	0,42	0,83
25	0,20	0,40	0,80

Fuente: MINAGRI, 2014

Si el balde tiene un volumen de 10 litros y el tiempo de llenado promedio determinado es  $T = 6$  segundos, entonces según la tabla N° 2 se puede determinar que el caudal es 1,67 L/s.

### 3.1.2.2. Aforo gravimétrico

Este método permite medir pequeños caudales de agua, como son los que escurren en surcos de riego o pequeñas acequias.

“Se sigue un procedimiento similar al volumétrico, pero al volumen colectado de agua en el intervalo de tiempo cronometrado, en lugar de medirse se pesa, y el peso (W) de agua se transforma a volumen, dividiéndolo entre el peso específico” (Blog Ingeniero Civil, s.f.)

Esto se realiza dividiendo entre el peso específico y del fluido a temperatura de prueba.

El recipiente vacío debe ser previamente destarado, y una vez lleno, debe pesarse en la misma balanza. Mediante el método gravimétrico, el caudal aforado se determina con el siguiente razonamiento:

Ecuación del peso específico se describe en la ecuación N° 11.

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 11)}$$

Ecuación del volumen se describe en la ecuación N °12.

$$V = \frac{W}{\gamma} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 12)}$$

Ecuación del caudal se describe en la ecuación N °13.

$$Q = \frac{W}{\gamma * t} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 13)}$$

Ecuación del caudal se describe en la ecuación N° 14.

$$Q = \frac{(W+PR)-PR}{\gamma*t} \dots\dots\dots (Ecuación 14)$$

Donde:

$\gamma$  = Peso específico

W = Peso del agua

V = Volumen ocupado

t = Tiempo de llenado

Q = Caudal

PR = Peso del recipiente

Para determinar el procedimiento de este método lo realizamos de la siguiente manera:

**a. Materiales**

- Balde
- Cronómetro
- Balanza
- Persona que conozca el método

**b. Procedimiento**

- Inicialmente, se realiza una inspección al sitio a investigar, días antes de la prueba.
- La persona debe mantener el cronómetro en cero, luego en la salida del flujo constante de la tubería o canal, se coloca el recipiente, simultáneamente se activa el cronómetro; este proceso finaliza en el momento en que el flujo llegue a la marca del recipiente y se desactiva el cronómetro inmediatamente.
- El resultado de este procedimiento es el peso llenado, en el mismo tiempo de llenado en cada prueba que se hace.
- Con el peso y el volumen obtenido en cada prueba obtenida, procedemos a hacer el cálculo con las fórmulas ya conocidas.

**c. Ejemplo**

En el siguiente ejemplo se quiere medir el caudal de agua que entrega un sifón de riego a un surco. Para ello se practica el aforo gravimétrico con un balde.

Se efectúan tres pruebas toma el tiempo en que llenamos el balde.

**Tabla 3**

*Cálculo de caudal según el aforo volumétrico*

Prueba	t=Tiempo (s)	W del agua (Kg)	" $\gamma$ " del agua Kg/m <sup>3</sup>	V = W/ $\gamma$	Q = W/( $\gamma$ *t) (m <sup>3</sup> /s)
1	5	18,5	1 000	0,0185	0,0037
2	5	18,0	1 000	0,0180	0,0036
3	5	18,8	1 000	0,0188	0,00376
Q promedio					0,00369

Fuente: Cervantes, 2014

Aplicando las ecuaciones N° 12 y N° 13 se obtiene el siguiente resultado 0,00369 m<sup>3</sup>/s o lo que es lo mismo decir 3,7 L/s, según el procedimiento en la tabla N° 3.

### 3.1.2.3. Medidor Parshall

“El medidor Parshall es una de las estructuras más antiguas y usadas para la medición de caudales en canales abiertos; puede ser construido de madera, metal y de concreto, según la magnitud de los canales y caudales a medir” (MINAGRI, 2004).

Este medidor a régimen crítico fue ideado por Ralh L. Parshall. El medidor Parshall es un tipo de medidor estudiado para el aforo de aguas destinadas al riego agrario. Es un dispositivo de aforo bastante exacto, puede funcionar a flujo sumergido o a flujo libre y su operación es relativamente sencilla. Estos medidores abarcan un rango de medición.



Figura 8. Esquema de canal Parshall  
Fuente: Barreto, 2014

La ventaja del canal Parshall que lo hace ser el más utilizado, es que su forma no permite la acumulación de sólidos en ninguna parte del canal. Su diseño hidráulico se ha hecho de tal manera que el gasto es una función lineal de la altura del tirante a la entrada del dispositivo.

El medidor Parshall básicamente consta de tres partes:

- Canal de entrada es una sección de entrada formada por dos muros convergentes, sobre un piso horizontal, a nivel, donde está ubicada la escala de medida, a  $2/3$  del punto final de la sección de convergencia.
- Garganta es un elemento básico de medida y que puede tener diversas dimensiones, a la cual se le ha asignado la letra "W". Esta garganta está formada por dos muros paralelos y verticales sobre un piso inclinado hacia abajo con pendiente de 2:67:1 que un conjunto se denomina cuello, es decir, la garganta es la intersección de la entrada con el cuello.
- Canal de salida es una sección de salida formada por dos muros divergentes apoyados en un piso inclinado hacia arriba.
- Las medidas del medidor Parshall deben ser cuidadosamente respetados para poder utilizar las mismas tablas dadas por el autor; pues de variar es necesario efectuar ensayos de calibración para ajustar los coeficientes de medida y corrección.

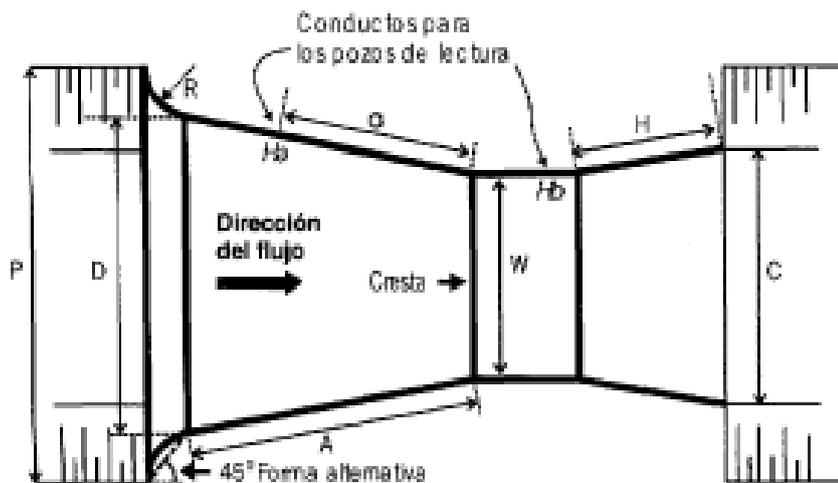


Figura 9. Vista en planta del aforador Parshall  
Fuente: Pedroza, 2001

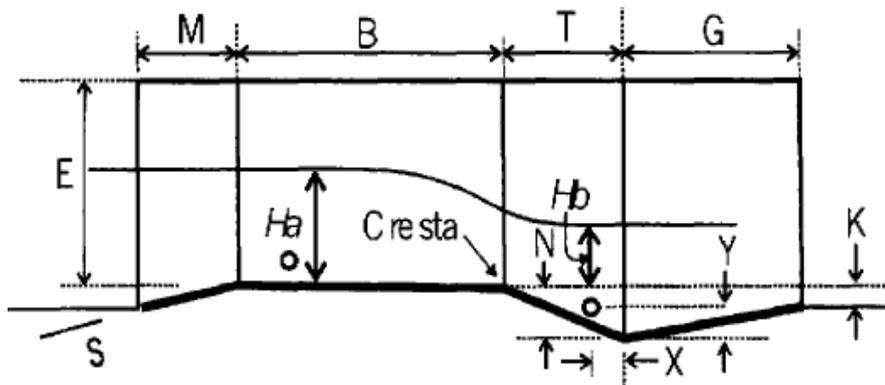


Figura 10. Geometría de un canal aforador Parshall  
Fuente: Pedroza, 2001

**a. Nomenclatura del aforador Parshall**

W = Ancho de la garganta

A = Longitud de las paredes de la sección convergente

a = Ubicación del punto de medición  $H_a$

B = Longitud de la sección convergente

C = Ancho de la salida

D = Ancho de la entrada de la sección convergente

E = Profundidad total

T = Longitud de la garganta

G = Longitud de la sección divergente

H = Longitud de las paredes de la sección divergente

K = Diferencia de elevación entre la salida y la cresta

M = Longitud de la transición de entrada

N = Profundidad de la cubeta

P = Ancho de la entrada de la transición

R = Radio de curvatura

X = Abscisa del punto de medición  $H_b$

Y = Ordenada del punto de medición

Según la tabla N° 4, los valores de M, P y R no se reportan en algunos casos, ya que es posible que se realice una transición entre el canal y el aforador con una pared vertical a 45° respecto del eje horizontal del aforador, tal como se observa en las figuras N° 9 y N° 10.

**Tabla 4**  
*Medidas estándar de los aforadores Parshall*

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
Dimensiones en mm															
25,4	363	242	356	93	167	229	76	203	19	---	29	---	---	8	13
50,8	414	276	406	135	214	254	114	254	22	---	43	---	---	16	25
76,2	467	311	457	178	259	457	152	305	25	---	57	---	---	25	38
152,4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
228,6	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1 080	406	51	76
Dimensiones en m															
0,3048	1,372	0,914	1,343	0,610	0,845	0,914	0,610	0,914	0,076	0,381	0,229	1,492	0,508	0,051	0,076
0,4572	1,448	0,965	1,419	0,762	1,026	0,914	0,610	0,914	0,076	0,381	0,229	1,676	0,508	0,051	0,076
0,6096	1,524	1,016	1,495	0,914	1,206	0,914	0,610	0,914	0,076	0,381	0,229	1,854	0,508	0,051	0,076
0,9144	1,676	1,118	1,645	1,219	1,572	0,914	0,610	0,914	0,076	0,381	0,229	2,222	0,508	0,051	0,076
1,2192	1,829	1,219	1,794	1,524	1,937	0,914	0,610	0,914	0,076	0,457	0,229	2,711	0,610	0,051	0,076
1,5240	1,981	1,321	1,943	1,829	2,302	0,914	0,610	0,914	0,076	0,457	0,229	3,080	0,610	0,051	0,076
1,8288	2,134	1,422	2,092	2,134	2,667	0,914	0,610	0,914	0,076	0,457	0,229	3,442	0,610	0,051	0,076
2,1336	2,286	1,524	2,242	2,438	3,032	0,914	0,610	0,914	0,076	0,457	0,229	3,810	0,610	0,051	0,076
2,4384	2,438	1,626	2,391	2,743	3,397	0,914	0,610	0,914	0,076	0,457	0,229	4,172	0,610	0,051	0,076
3,0480	2,432	1,829	4,267	3,658	4,756	1,219	0,914	1,829	0,152	---	0,343	---	---	0,305	0,229
3,6580	3,0480	2,032	4,877	4,470	5,607	1,524	0,914	2,438	0,152	---	0,343	---	---	0,305	0,229
4,5720	3,5052	2,337	7,620	5,588	7,620	1,829	1,219	3,048	0,229	---	0,457	---	---	0,305	0,229
6,0960	4,2672	2,845	7,620	7,315	9,144	2,134	1,829	3,658	0,305	---	0,686	---	---	0,305	0,229
7,6200	5,0292	3,353	7,620	8,941	10,668	2,134	1,829	3,962	0,305	---	0,686	---	---	0,305	0,229
9,1440	5,7912	3,861	7,925	10,566	12,313	2,134	1,829	4,267	0,305	---	0,686	---	---	0,305	0,229
12,1920	7,3152	4,877	8,230	13,818	15,841	2,134	1,829	4,877	0,305	---	0,686	---	---	0,305	0,229
15,2400	8,8392	5,893	8,230	17,272	18,529	2,134	1,829	6,096	0,305	---	0,686	---	---	0,305	0,229

Fuente: Pedroza, 2001

El medidor Parshall se ubica sobre la sección del canal que se desea aforar, para su instalación se procede de la siguiente manera:

- La dirección del flujo en el canal, debe estar alineada al eje de la estructura. El flujo debe llegar de forma suave, libre de turbulencia y debe estar uniformemente distribuidos a través de la sección del canal.

- El aforador se instala para operar en condiciones de flujo libre, y esto ocurre cuando la elevación de la superficie del agua a la salida de la garganta no es lo suficientemente alta como para generar remanso.
- En la mayoría de los casos el aforador está fijado al piso, elevado respecto al nivel del fondo del canal, para prevenir sumergencia excesiva, dicho desnivel es igual al 70 % de la sumergencia.
- El aforador este fijado tal que la elevación del agua en ha es mayor al nivel normal de la superficie del agua a la salida del aforador, en una cantidad igual a la pérdida de carga. La pérdida de carga es igual a la diferencia entre  $H_a$  y  $0,7 H_a$  ó también es igual  $0,3 H_a$ .

**Tabla 5**  
*Diseños estándar de aforadores Parshall*

Ancho de la garganta	Intervalo de descarga		Coeficientes de la fórmula $Q=K \times$ (m <sup>3</sup> /s)		Intervalo de carga hidráulica		Grado de Sumergencia
	W(mm)	Qmín (L/s)	Qmáx (L/s)	k	n	m	S=Hb/Ha
25,0	0,09	5,4	0,0604	1,55	0,015	0,21	0,50
50,0	0,18	13,2	0,1207	1,55	0,015	0,24	0,50
76,2	0,77	32,1	0,1771	1,55	0,03	0,33	0,50
152,4	1,50	111,0	0,3812	1,58	0,03	0,45	0,60
228,8	2,50	251,0	0,5354	1,53	0,03	0,61	0,60
304,8	3,32	457,0	0,6909	1,52	0,03	0,76	0,70
457,2	4,80	695,0	1,0560	1,538	0,03	0,76	0,70
609,6	12,10	937,0	1,4280	1,550	0,046	0,76	0,70
914,4	17,60	1 427,0	2,1840	1,566	0,046	0,76	0,70
1 219,2	35,80	1 923,0	2,9530	1,578	0,06	0,76	0,70
1 524,0	44,10	2 424,0	3,7320	1,587	0,06	0,76	0,70
1 828,8	74,10	2 929,0	4,5190	1,595	0,076	0,76	0,70
2 133,6	85,80	3 438,0	5,3120	1,601	0,076	0,76	0,70
2 438,4	97,20	3 949,0	6,1120	1,607	0,076	0,76	0,70
M	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s					
3,05	0,16	8,28	7,463	1,60	0,09	1,07	0,80
3,66	0,19	14,68	8,859	1,60	0,09	1,37	0,80
4,58	0,23	25,04	10,96	1,60	0,09	1,67	0,80
6,10	0,31	37,97	14,45	1,60	0,09	1,83	0,80
7,63	0,38	47,14	17,94	1,60	0,09	1,83	0,80
9,15	0,46	56,33	21,44	1,60	0,09	1,83	0,80
12,20	0,60	74,70	28,43	1,60	0,09	1,83	0,80
15,25	0,75	93,04	35,41	1,60	0,09	1,83	0,80

Nota: A partir de la dimensión 3,05 m el caudal está en m<sup>3</sup>/s  
Fuente: Skertchly, 1988

**b. *Ventajas de los medidores Parshall***

- Permite medir con precisión tanto caudales pequeños como grandes, para tal fin se construyen de diversos materiales.
- Soluciona el problema de azolve muy comprometido y notorio en los vertederos, por mantenerse libre de obstrucciones gracias a su geometría y la velocidad en la garganta.
- El caudal no está influenciado por la velocidad de llegada.
- Las pérdidas de carga son insignificantes frente a otras estructuras.
- Su uso está recomendado tanto para el aforo de canales de riego, canales de drenaje, así como de ríos pequeños.
- La velocidad de aproximación no afecta las medidas de caudal cuando el aforador es construido de acuerdo a las dimensiones dadas y son usadas cuando el ingreso de flujo es únicamente distribuido y libre de turbulencia.

**c. *Desventajas de los medidores Parshall***

- Son generalmente más caros en su construcción que los vertederos.
- No pueden ser usados en lugares cercanos a las derivaciones.
- El flujo de entrada debe ser uniforme y la superficie del agua relativamente suave.
- Sus mediciones son satisfactorias solo si la construcción es cuidadosa y exacta.
- Si no se construye con las dimensiones exactas la tabla de magnitudes no es confiable.

- Los pequeños aforadores requieren una pequeña pérdida de carga para la medición de flujo modular, aunque las calibraciones de flujo sumergido son confiables no es recomendable diseñar aforadores para flujo no modular porque el manejo de las dos cargas consume tiempo y da como resultado mediciones de baja exactitud.
- Este aforador tiene el grave inconveniente de no poder adaptarse a nuestras condiciones topográficas accidentadas, como lo que es más insalvable aún, el hecho de tener que afrontar la gran dificultad de su construcción con los siguientes problemas de calibración y de poca adaptación a la forma de canales de riego, razón por la cual su empleo se hace cada vez más restringido.
- Más caros debido a la fabricación requerida.
- La fabricación e instalación es crítica para que funcionen como se debe.

***d. Condiciones para el cálculo del canal***

La medición en los aforadores Parshall se dá bajo dos condiciones:

- Flujo libre en que la vertiente es independiente de las condiciones de aguas abajo.
- Flujo sumergido cuando el nivel de aguas abajo es suficientemente elevado para influir y retardar el flujo a través del medidor.

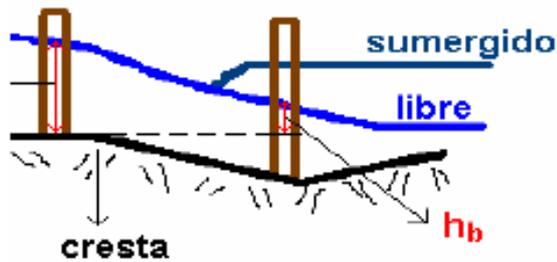


Figura 11. Canal Parshall flujo libre y flujo sumergido  
Fuente: Basán, 2008

La canaleta Parshall puede funcionar con descarga libre o con descarga sumergida; en este último caso, se dice que la canaleta trabaja ahogada, y se debe a la presencia de un flujo subcrítico aguas debajo de la misma, el cual provocaría la formación de un resalto hidráulico entre la garganta y la zona de salida de la canaleta.

Para distinguir cuando una canaleta opera con descarga libre o sumergida, se introduce el parámetro: grado de sumergencia, S, definido como:

En la ecuación N° 15 se presenta el grado de sumergencia S.

$$S = \frac{H_b}{H_a} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 15)}$$

Donde:

$H_a$  = Profundidad del flujo en la sección (a), aguas arriba de la garganta.

$H_b$  = Profundidad del flujo en la sección (g), situada justo al final de la garganta.

Si  $H_b < H_a$ , S toma un valor relativamente bajo y menor que la unidad, se dice que la canaleta funciona con descarga libre. Contrariamente, si  $H_b$  es menor, pero comparable con  $H_a$  esto es  $H_b = H_a$ , el grado de sumergencia “S” toma un

valor relativamente alto y cercano a la unidad, y se dice que la canaleta opera con descarga sumergida.

**e. Medición en condición de flujo libre**

Cuando el aforador funciona a flujo libre, solo se requiere conocer el valor de  $h_a$  para obtener el caudal, y se realiza según los siguientes pasos:

- Conociendo la dimensión de la garganta ( $W$ ) se recurre a la tabla N° 5 Diseño estándar de aforadores Parshall para obtener la ecuación de descarga para el aforador. Si la dimensión de la garganta ( $W$ ) no se encuentra en la tabla, se debe obtener la ecuación de descarga mediante interpolación.
- Obtenida la ecuación de la descarga, se construye una tabla (ver tabla N° 6) donde se halla el gasto en función de la carga  $h_a$ ; aquí hay que tener cuidado de no salir del rango de cargas y gastos especificados en la tabla N° 5.

Para la elaboración de la tabla N° 6 utilizamos la ecuación N° 16:

$$Q = K * H_a^n \dots\dots\dots (Ecuación 16)$$

Donde:

$Q$  = Caudal, (m/s)

$H_a$  = Profundidad de aguas arriba

$K, n$  = Son valores diferentes para cada tamaño de aforador

Para el ejemplo de un aforador Parshall con garganta  $W = 0,6096$  m utilizaremos la ecuación N° 16 y su operación será:

$$Q = 1,428 * Ha^{1.55}$$

$$Q = 1,428 * 0,40^{1.55}$$

$$Q = 0,3451 \text{ m}^3/\text{s}$$

Y así también se obtiene para todos los valores de la tabla N° 6.

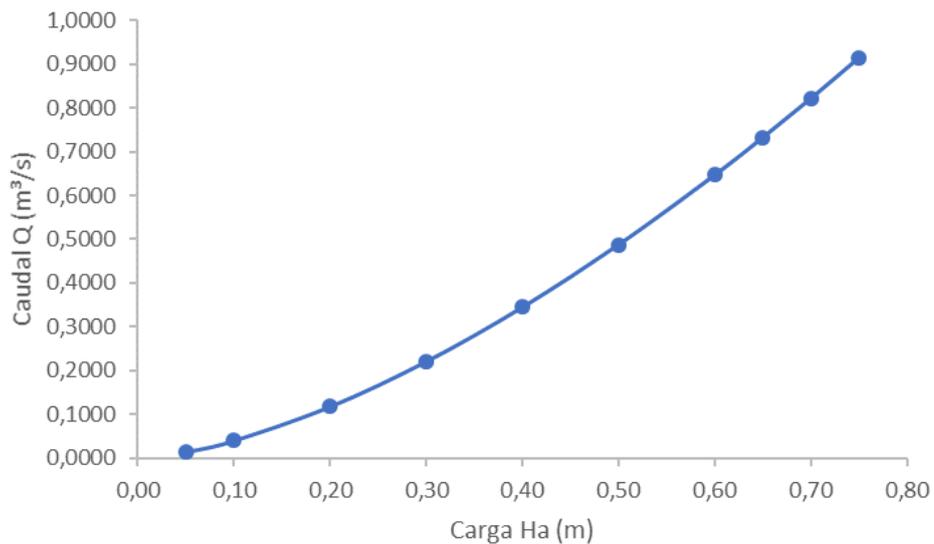
**Tabla 6**

*Relación de carga ha vs caudales Q*

ha	Q (m³/s)	Q (l/s)
0,05	0,0137	13,7
0,10	0,0402	40,2
0,20	0,1178	117,8
0,30	0,2209	220,9
0,40	0,3451	345,1
0,50	0,4877	487,7
0,60	0,6469	646,9
0,65	0,7324	732,4
0,70	0,8215	821,5
0,75	0,9143	914,3

Fuente: MINAGRI, 2004

- Los resultados de la tabla N° 6 se expresan en el gráfico que representa una curva de carga Ha vs caudal Q según se detalla en la figura N° 12.



*Figura 12. Curva de flujo libre y flujo sumergido*

Fuente: MINAGRI, 2004

- En la tabla N° 6 se tomó ( $0,046 \text{ m} < H_a < 0,76 \text{ m}$ ), porque es el límite para las dimensiones del vertedor con  $W = 0,6096 \text{ m}$  (ver tabla N° 5).

**f. *Funcionamiento como flujo sumergido***

“Cuando el aforador funciona sumergido, es decir cuando el grado de sumersión S de cada aforador es sobrepasado, es necesario hacer una corrección al gasto” (MINAGRI, 2004).

Se emplea la siguiente ecuación N° 17:

$$Q = m * H_a^n - C \dots\dots\dots \text{(Ecuación 17)}$$

Donde:

C = Corrección en función de W, Ha y Hb

m = Coeficiente de descarga

n = Exponente de descarga

La tabla N° 7 de valores de m y n se utiliza para reemplazar la ecuación N° 17 para condiciones de flujo sumergido.

**Tabla 7**  
Valores de m y n para la ecuación en unidades métricas

W(m)	m	n
0,15	0,3812	1,580
0,30	0,6800	1,522
0,50	1,6100	1,542
0,75	1,7740	1,558
1,00	2,4000	1,570
1,25	3,0330	1,579
1,50	3,6730	1,588
1,75	4,3160	1,593
2,00	4,9680	1,599
2,50	6,2770	1,608
3,00	7,3520	1,600
3,50	8,4980	1,600
4,00	9,6440	1,600
4,50	10,7900	1,600
5,00	11,9370	1,600
6,00	14,2290	1,600
7,00	16,5220	1,600
8,00	18,8150	1,600
9,00	21,1070	1,600
10,00	23,4000	1,600
11,00	25,6920	1,600
12,00	27,9850	1,600
13,00	30,2780	1,600
14,00	32,5700	1,600
15,00	34,8630	1,600

Fuente: MINAGRI, 2004

Para un rango W (m) = 0,15 m se utiliza la ecuación N° 18.

$$C = \frac{0,0285 * Ha^{2,22}}{\left(\frac{Ha+3,05}{3,05} - S\right)^{1,44}} - \frac{Ha-0,056}{87,94} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 18)}$$

Para un rango W = 0,3 – 2,5 m se utiliza la ecuación N° 19.

$$C = 0,0746 \left( \left( \frac{3,28 * Ha}{\left(\frac{1,8}{S}\right)^{1,8-2,45}} \right)^{4,57-3,14S} + 0,093 * S \right) * W^{0,815} \dots\dots \text{(Ecuación 19)}$$

Para un rango W = 2,5 – 1,5 m se utiliza la siguiente ecuación (20)

$$C = 69,671(S - 0,71)^{3,333} Ha^2 W \dots\dots\dots \text{(Ecuación 20)}$$

Para la medición del aforador Parshall se recomienda que siempre funcione a flujo libre, sin embargo, en caso trabaje sumergido la medición del caudal tiene

buena aproximación, siempre y cuando el grado de sumergencia sea menor a 0,95; para valores mayores la medición del caudal se torna incierta.

Según la figura N° 13 se tiene el perfil hidráulico del aforador Parshall, donde  $h_a$  es el nivel del agua a la entrada del aforador y  $h_b$  es el nivel del agua a la salida de la cresta del aforador.

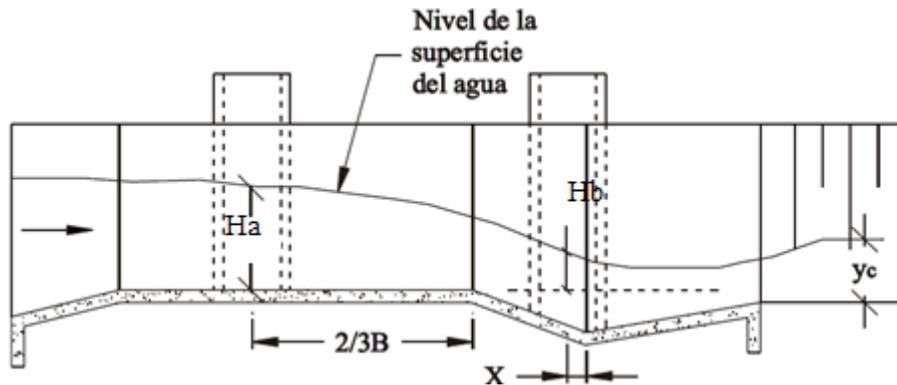


Figura 13. Perfil hidráulico del aforador Parshall  
Fuente: MINAGRI, 2004

**Tabla 8**  
*Medidas del canal Parshall EPS Moquegua*

Descripción	Medida	Unidad
W	0,61	m
A	1,52	m
a	1,01	m
B	1,49	m
C	0,91	m
D	1,21	m
E	0,70	m
T	0,61	m
G	0,91	m
H	0,92	m
K	0,08	m
M	0,64	m
N	0,22	m
P	1,21	m
R	-	m
X	0,38	m
Y	0,14	m



Figura 14. Medición del ancho de la garganta del canal Parshall en la EPS

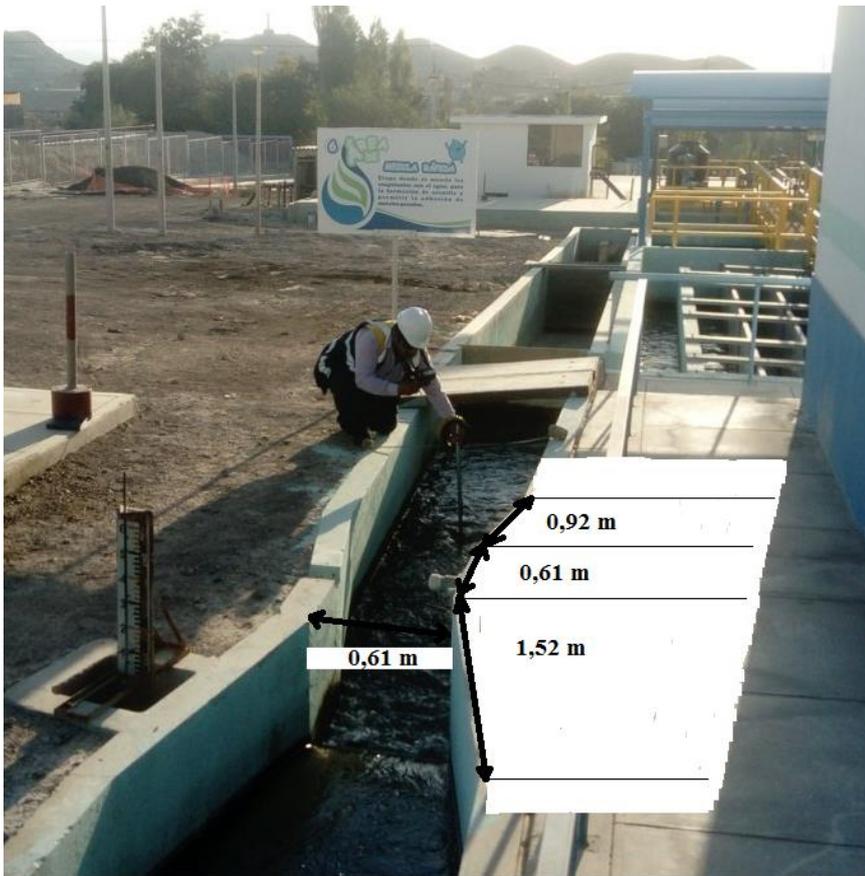


Figura 15. Medidas externas del aforador Parshall EPS Moquegua

Según la tabla N° 8 se describe las medidas tomadas en el aforador Parshall de la EPS Moquegua, las cuales se asemejan a la tabla N° 4 medidas estándar de los aforadores Parshall.

#### ***3.1.2.4. Aforador sin cuello***

“Este tipo de aforadores son una forma simplificada de los aforadores Parshall, con la diferencia que no poseen garganta y el fondo del aforador es horizontal, las lecturas no son muy sencillas y requiere asegurarse mediciones exactas” (MINAGRI, 2004).

Los aforadores sin cuello pueden ser construidos de madera, metal o concreto, siendo su geometría relativamente sencilla es posible contar con aforadores portátiles, es decir transportables al campo para medir caudales en canales o para usuarios como instrumentos de calibración.

La estructura del aforador sin cuello está constituida por tres elementos:

- Canal de entrada que está constituida por un canal de paredes verticales, que converge horizontalmente en una proporción de 3:1 hacia una sección estrecha llamada garganta, que a su vez es el inicio del canal de salida.
- Garganta que es la sección contraída del aforador que se encuentra ubicada entre el canal de entrada y el canal de salida, se le denota por la variable  $w$ .
- Canal de salida que inicia en la sección de control (garganta) y se conecta con el canal aguas abajo mediante un canal divergente con paredes verticales a una proporción de 6:1

- Fondo del aforador que es el nivel del fondo del fondo del aforador siempre es horizontal y permite definir si este funciona a descarga libre o descarga sumergida.

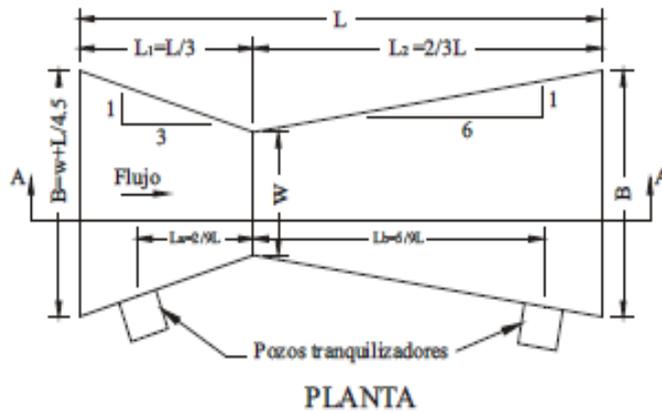


Figura 16. Vista en planta del aforador sin cuello  
Fuente: MINAGRI, 2004

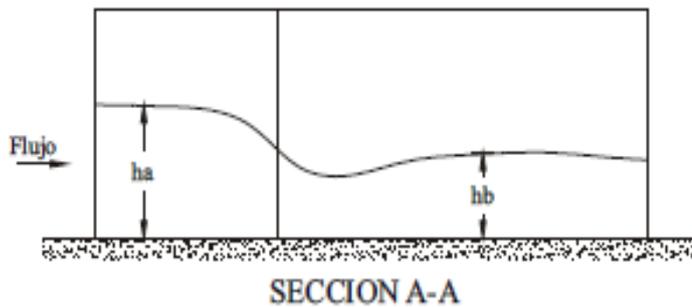


Figura 17. Geometría de los aforadores sin cuello  
Fuente: MINAGRI, 2004

**a. Funcionamiento como flujo libre**

La calibración del aforador sin cuello a flujo libre, consiste en construir una tabla que nos permita obtener los gastos para diferentes mediciones de  $h_a$  en función de la geometría del aforador, y se toman en cuenta los siguientes pasos:

Primero. Una vez seleccionado el lugar de aforo se debe estabilizar el aforador sin cuello.

Segundo. Medimos el ancho de la garganta “w” y la longitud total “l” del aforador, (ver figura 9 y 10).

Tercero. Posteriormente se obtiene los valores de profundidad aguas arriba “Ha” y la profundidad de aguas abajo “Hb”, leídas directamente de las reglas que se ubican en las paredes del aforador (ver figura 11).

Cuarto. Para un valor determinado de sumersión “S” el caudal en el aforador empieza a disminuir, valor denominado sumersión transitoria “St” y conociendo la longitud total del aforador, el valor “St” se obtiene mediante la tabla N° 4 y debe cumplir las siguientes condiciones para determinar si es flujo libre o sumergido.

Calculamos el grado de sumergencia según (Vollman, 2012), como se muestra en la ecuación N° 21.

$$S = \frac{H_b}{H_a} \times 100 \dots\dots\dots \text{(Ecuación 21)}$$

Condición:

Si  $S < S_t$  la canaleta trabaja a flujo libre.

Si  $S > S_t$  la canaleta trabaja a flujo sumergido.

La tabla N° 9 muestra la longitud del aforador, la sumersión transitoria y los coeficientes para flujo libre y flujo sumergido, muestra la relación entre la longitud del aforador (L), la sumersión transitoria (St) y los coeficientes y exponentes para el cálculo de la descarga en condiciones de flujo libre y sumergido.

**Tabla 9**  
*Cálculo de descarga flujo libre y sumergido*

L(m)	St(%)	Flujo libre	Flujo libre	Flujo sumergido	Flujo sumergido
		S < St n	S < St K	S >= St ns	S >= St Ks
0,5	60,700	2,080	6,150	1,675	3,500
0,6	62,000	1,989	5,170	1,600	2,900
0,7	63,000	1,932	4,630	1,550	2,600
0,8	64,200	1,880	4,180	1,513	2,350
0,9	65,300	1,843	3,890	1,483	2,150
1,0	66,400	1,810	3,600	1,456	2,000
1,2	68,500	1,756	3,220	1,427	1,750
1,4	70,500	1,712	2,930	1,407	1,560
1,6	72,000	1,675	2,720	1,393	1,450
1,8	73,800	1,646	2,530	1,386	1,320
2,0	75,500	1,620	2,400	1,381	1,240
2,2	77,000	1,600	2,300	1,378	1,180
2,4	78,400	1,579	2,220	1,381	1,120
2,6	79,500	1,568	2,150	1,386	1,080
2,7	80,500	1,562	2,130	1,390	1,060

Fuente: Vollman, 2012

Quinto. En condiciones de flujo libre el caudal está en función directa de la profundidad de aguas arriba “Ha”. La ecuación N° 22 permite obtener el caudal que pasa por el medidor.

$$Q = Cx Ha^n \dots\dots\dots (Ecuación 22)$$

Donde:

Q = Caudal que pasa por el aforador, (m³/s ó L/s)

Ha = Profundidad del flujo aguas arriba, (m)

N = Exponente para descarga a flujo libre

C = Coeficiente de descarga para flujo libre

Sexto. El valor del coeficiente “K” depende de la longitud “l” del aforador y se obtiene de la tabla N° 9. El valor del coeficiente de flujo libre “C”, depende de la longitud y el ancho de la garganta “W”, y esta expresada por la siguiente ecuación N° 23.

$$C = K * W^{1,025} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 23)}$$

**b. Funcionamiento como flujo sumergido**

Primero. Una vez seleccionado el lugar de aforo se debe estabilizar el aforador sin cuello.

Segundo. Medimos la garganta “W” y la longitud total “L” del aforador.

Tercero. Posteriormente se obtiene los valores de profundidad de aguas arriba “Ha” y profundidad de aguas abajo “Hb” leídas directamente de las reglas que se ubican en el aforador.

Cuarto. Cuando el aforador sin cuello opera en condiciones de flujo sumergido, se tiene que el grado de sumergencia es mayor a la sumersión transitoria  $S > S_t$ . En este caso el caudal está en función de la profundidad aguas arriba “Ha” y de la profundidad aguas abajo “Hb”.

Quinto. Según Alfaro afirma que hallar el caudal bajo esta condición se utiliza la siguiente ecuación N° 24.

$$Q = \frac{C_s(H_a - H_b)^n}{(C_{log s})^{ns}} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 24)}$$

Donde:

Q = Caudal que pasa por el aforador, (m<sup>3</sup>/s)

Ha = Profundidad del flujo aguas arriba, (m)

Hb = Profundidad del flujo aguas abajo, (m)

n = Exponente para descarga a flujo libre

ns = Exponente para descarga a flujo sumergido

S = Grado de sumergencia

Cs = Coeficiente de descarga para flujo sumergido

Cabe mencionar que  $\log S = - \log S$

Sexto. El coeficiente de descarga “Cs” está en función del coeficiente “Ks”, así como el ancho de la garganta “W”, y los valores de “Ks” se obtiene de la tabla N° 9 que está en función de “L” del aforador. La ecuación N° 25 para el coeficiente de descarga “Cs” es la siguiente:

$$Cs = KsxW^{1,025} \dots\dots\dots (Ecuación 25)$$



Figura 18. Medición del aforador sin cuello en el río Moquegua



Figura 19. Ubicación del aforador en el centro del río y al eje del flujo

Los resultados de la práctica de campo se explicarán más adelante.

**c. Materiales**

Los materiales que se usan se visualizan en la figura N° 20.

- Aforador sin cuello
- Wincha de ocho metros
- Nivel
- Regla metálica de 30 cm
- Regla metálica de 60 cm
- Calculadora
- Plástico



Figura 20. Materiales para aforar con aforador sin cuello



Figura 21. Aforador sin cuello

### **3.1.2.5. Aforo por el método del correntómetro**

“El correntómetro consiste en una hélice y cojinete protegida para la medición de la velocidad del agua, acoplado a un mango de la sonda telescópica que termina en un flujo con pantalla LCD del ordenador” (Ortega, 2014).

Son instrumentos muy utilizados para medir velocidades en ríos y canales. Los modelos más comunes de molinetes son dos, el de eje vertical y el molinete con hélice en su eje horizontal.

Este método de aforo es también conocido como molinete, es el aparato para determinar la velocidad de una corriente de agua, tales como en canales y ríos, etc. El caudal que pasa por una sección de un canal o un río, se obtiene de multiplicar la velocidad de la corriente, por el área hidráulica de la sección.

“Un correntómetro o molinete es un elemento mecánico que gira sobre un eje vertical u horizontal con una velocidad angular que depende de la velocidad lineal del agua en ese punto de medición, puede ser hélice o sistema de cazoletas” (Mejía y Rosas, 2016).

En la figura N° 22 se utiliza una hélice que gira sobre un eje horizontal, en la figura N° 23 se utiliza un sistema de cazoletas en este caso el giro se realiza sobre un eje vertical.

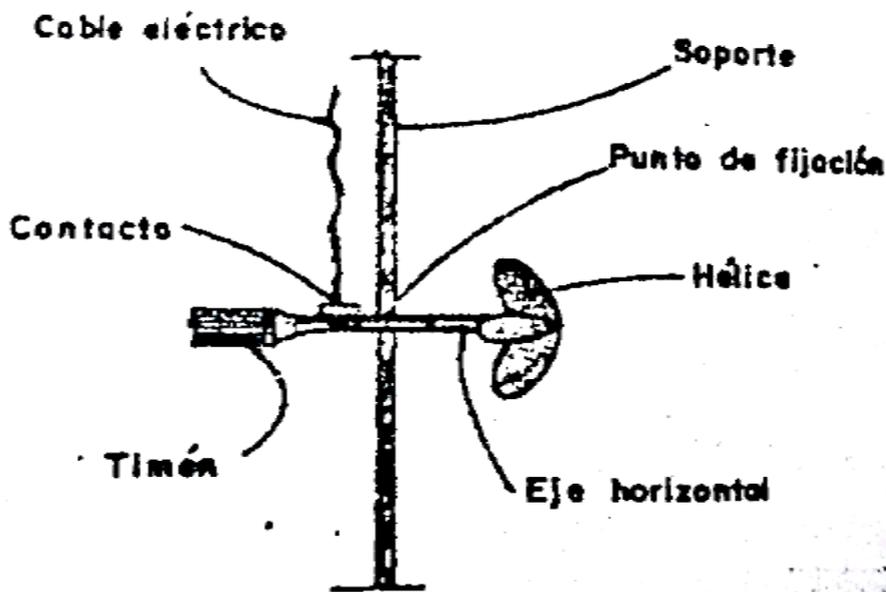


Figura 22. Molinete de hélice  
Fuente: Mejía y Rosas, 2016

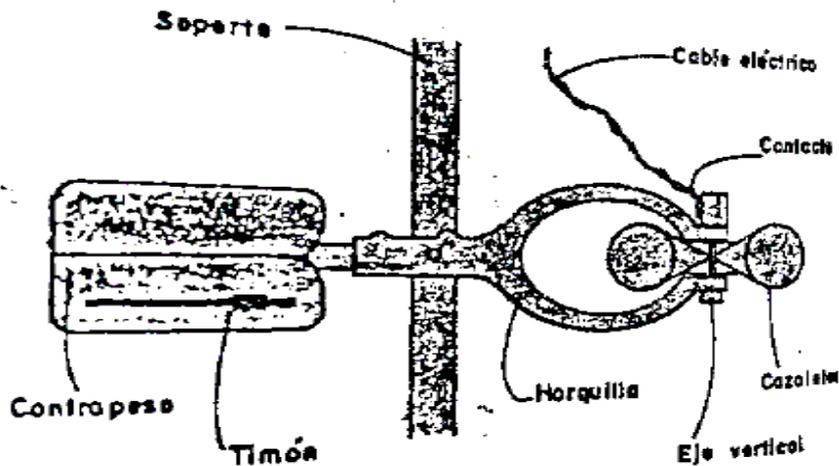


Figura 23. Molinete de cazoletas  
Fuente: Mejía y Rosas, 2016

La experiencia ha demostrado que el sistema de hélice presenta mayor precisión y versatilidad para las diferentes condiciones de flujo, la turbulencia y la presencia de sedimentos en el agua afectan en menor grado el sistema de hélice en comparación con el sistema de cazoletas.

La selección de un molinete varía de acuerdo con la corriente en donde se desea utilizar y existen diferentes tamaños, cuando más grandes sean los caudales o más altas sean las velocidades mayores debe ser el tamaño del correntómetro. Los modelos más antiguos tienen un dispositivo que cuenta el número de vueltas o revoluciones de hélice por segundo y con un cronómetro se determina el tiempo de exposición en la corriente y después calculamos el número de giros por unidad de tiempo.

En las experiencias realizadas en campo que serán expuestas en el caso práctico se ha utilizado un correntómetro que mide directamente la velocidad del flujo.

“Cada correntómetro debe tener un certificado de calibración en el que figura la fórmula para calcular la velocidad, que son calibrados en laboratorio de hidráulica” (Ministerio de Agricultura, 2005).

La ecuación N° 26 muestra la ecuación general que es la siguiente:

$$V = a * n + b \dots\dots\dots (Ecuación 26)$$

Donde:

V = Velocidad del agua (m/s)

n = Número de vueltas de hélice por segundo

a = Paso real de la hélice en metros

b = Velocidad del frotamiento (m/s)

Para obtener la velocidad media de un curso de agua se deben medir la velocidad en dos, tres o más puntos, ubicados a diversas profundidades de la sección del canal.

En la ecuación N° 27 se utiliza para poder hallar el número de vueltas de la hélice por segundo y poder reemplazar en la ecuación N° 26.

$$n = \frac{N}{t} \dots\dots\dots (Ecuación 27)$$

Donde:

N = Número de giros de la hélice

t = Tiempo (s)

En la tabla N° 10 se muestra las profundidades sugeridas en las cuales se mide las velocidades son las siguientes:

**Tabla 10**

*Profundidades sugeridas para medir las velocidades*

<b>Tirante de agua (d) (cm)</b>	<b>Profundidad de lectura del correntómetro (cm)</b>
< 15	d/2
15 < d < 45	0,6 d
> 45	0,2 d y 0,8 d ó 0,2 d, 0,6 d y 0,8 d

Fuente: Ministerio de Agricultura, 2005

**a. Consideraciones generales**

Para la sección hidráulica se debe considerar lo siguiente:

- Debe ser estable, bien definida y no propensa a la erosión o sedimentación.
- Se debe ubicar en un tramo recto, con una longitud suficientemente larga para garantizar que el flujo en el canal sea uniforme, libre de turbulencias y olas.
- El tramo escogido para la sección de control debe carecer de afluentes.
- Las velocidades en el canal deben ser mayores a 0,10 m/s, o en todo caso guiarse de las especificaciones del fabricante.
- El tramo escogido para el aforo, no debe estar ubicado cerca de estructuras u obstáculos que produzcan remansos o alteren el régimen del flujo.
- El lugar escogido para el aforo debe ser de fácil acceso.

Para el aforo con molinete se debe considerar lo siguiente:

- Se deberá usar solamente molinetes calibrados.

- Es necesario calibrar los molinetes según la forma de sujeción (vara o cable).
- A los molinetes con cojinetes y cámara de aceite se le recomienda cambiar el aceite cada cuatro horas de trabajo; cuando el aforo se realiza en agua turbia o donde existe mucho sedimento fino, el aceite debe cambiarse frecuentemente.
- Emplear solo aceites recomendados por el fabricante del molinete, de no ser posible se debe usar un aceite ligero, sin residuos ácidos y sin componentes abrasivos.
- En cada aforo verificar el buen estado y funcionamiento del molinete y sus accesorios. Cuando el aforo es prolongado, se debe verificar cada cierto tiempo.
- Después de cada sesión de aforo es necesario revisar y limpiar todo el equipo.
- Cuando el molinete no se ha usado por largo tiempo, necesariamente tendrá que hacerse mantenimiento.
- El molinete necesariamente tendrá que calibrarse cuando sufra deformaciones (desgaste de hélice) o alteraciones de cualquiera de sus componentes.

***b. Aforo***

Si la sección del canal es grande, tal como se ve en la figura N° 24 es conveniente dividir la sección en sub secciones, en los ejes de las sub secciones es donde se debe realizar las lecturas del correntómetro.

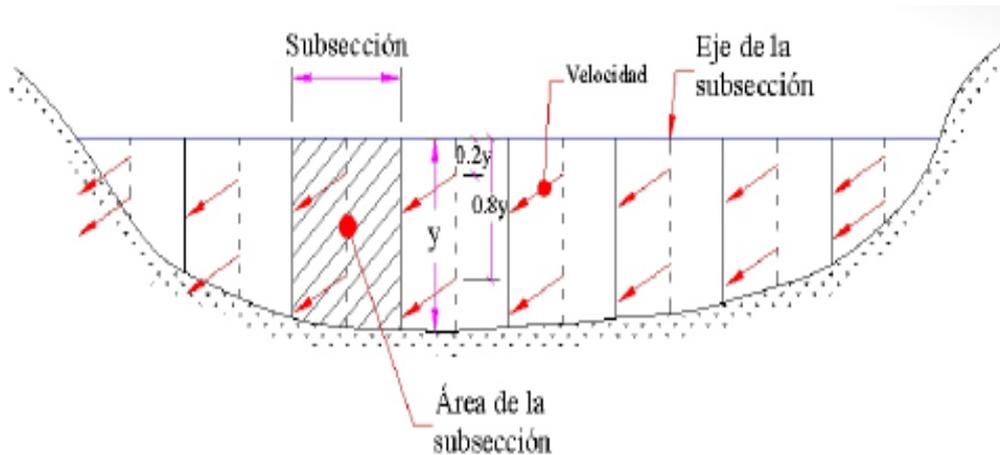


Figura 24. Sección de aforo  
Fuente: MINAGRI, 2004

Por otro lado, si la sección del canal es definida y no es muy grande no se requiere ninguna división, y las mediciones se realizan al centro de la sección.

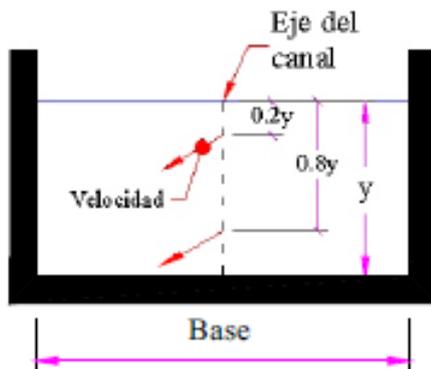


Figura 25. Sección de canal definida para medición con correntómetro  
Fuente: MINAGRI, 2004

El número de subsecciones varía según el ancho de la sección y de la irregularidad del fondo. Cuando la sección es muy ancha y el tirante es casi uniforme, no se requiere de muchas subsecciones, caso contrario será necesario dividir la sección en muchas sub secciones para lo cual se tiene que considerar:

- La sub sección sea mayor a  $1/15$  ó  $1/20$  del ancho total de la sección y para casos prácticos se debe usar lo descrito en la tabla N° 11.

- Para secciones extensas, el caudal que pasa por cada subsección no debe ser mayor al 10 % del caudal total.
- Cuando las mediciones de velocidad se realizan en varios puntos de la vertical se debe cuidar que la diferencia de velocidades no sea mayor a los 20 % comparadas unas con otras.

**Tabla 11**  
*Ancho de la subsección en función del ancho del canal*

<b>Ancho de la sección (m)</b>	<b>Ancho de la subsección (m)</b>
0,00-1,20	0,10
1,20-3,00	0,20
3,00-5,00	0,30
5,00-8,00	0,40
8,00-12,00	0,50
12,00-18,00	0,80
18,00-25,00	1,00
25,00-35,00	1,50
35,00-50,00	2,00
50,00-70,00	2,50
70,00-100,00	3,00
100,00 en adelante	4,00

**c. Materiales**

Los materiales que se usan son los siguientes, y se muestran en la figura N° 26.

- Correntómetro
- Wincha de 50 metros
- Wincha de cinco metros
- Formato de aforo
- Cámara fotográfica
- Botas de jebe



Figura 26. Materiales para aforo con correntómetro

**d. Procedimiento para realizar el aforo**

El procedimiento es el siguiente:

- Para comenzar con la medición del aforo se anotará la fecha, hora y lugar donde se realizará el aforo.
- Se mide el ancho del río o canal.
- La sección transversal del río o canal donde se va a realizar el aforo se divide en varias secciones según el ancho del canal o río donde se vaya a realizar el aforo.
- Medimos el tirante de agua.
- En cada tramo hallar el área parcial, se calcula midiendo la profundidad del agua de cada tramo por su anchura.

- La velocidad media se mide en el centro de cada área parcial una distancia 60 % para profundidades menores. Si es mayor, se hacen mediciones a 20 % y 80 % de la profundidad según la tabla N° 10. Se halla la velocidad en cada área como mínimo tres repeticiones para tener un resultado más exacto. Las profundidades en las cuales se mide las velocidades con el correntómetro están en función de la altura del tirante de agua. Si se utiliza modelos antiguos de correntómetro para el cálculo de la velocidad se utilizará la ecuación N° 26.
- Se multiplicará el área del tramo correspondiente por la velocidad media y se obtiene el caudal parcial. La suma de todos los caudales parciales nos dará el caudal total final.



*Figura 27. Aforo en río con correntómetro*

Nota: Medición con correntómetro en el río Moquegua sector final del valle, estación Espejos, así mismo se nota que el flujo del río está calmado y sin turbulencias, y es de fácil acceso

### **3.1.2.6. Aforo según el método del flotador**

“Con el flotador se mide la velocidad del agua de la superficie. Puede utilizarse como flotador cualquier cuerpo pequeño que flote puede ser un corcho, un pedacito de madera, una botellita lastrada, etc.” (Ministerio de Agricultura, 2013).

Para medir la velocidad en canales o cauces pequeños se escoge un tramo recto del curso de agua de alrededor de cinco a 10 metros se deja caer el flotador al inicio del tramo y al centro del curso del agua en lo posible y se toma el tiempo inicial  $t_1$ ; luego se toma el tiempo  $t_2$  cuando el flotador alcanza el extremo final del tramo. Sabiendo la distancia recorrida y el tiempo que el flotador demora en alcanzar el extremo final del tramo  $t_2$ , para luego realizar el cálculo de la velocidad en este tramo.

El método del flotador se puede utilizar cuando:

- A falta del correntómetro.
- Excesiva velocidad del agua que dificulta el uso del correntómetro.
- Presencia frecuente de cuerpos extraños en el curso de agua que dificulta el uso del correntómetro.
- Cuando peligra la vida del que efectúa el aforo.
- Cuando peligra la integridad del correntómetro.

#### **a. ¿Qué características debe cumplir un flotador?**

Se describe las características que deben cumplir el flotador:

- El flotador puede ser trozos de ramas, pequeños troncos, botellas, latas de leche, etc.

- En caso de utilizar botellas como flotadores estos serán tapados herméticamente y parcialmente llenas de agua (3/4 partes de la botella).
- Es importante que el flotador quede sumergido una gran parte de ellos y emergente lo necesario, esto permitirá que el flotador no sea influenciado por el viento y cambie de dirección fácilmente, lo que implicaría velocidades inexactas.
- Los flotadores deben ser similares en forma y peso.
- A cada flotador se le debe colocar un distintivo de color a fin de que sean observados durante su trayectoria.

***b. Materiales para aforo con flotador***

Los materiales se visualizan en la figura N° 28.

- Calculadora
- Formato de control
- Cronometro
- Wincha
- Flotador (botella de plástico)
- Regla metálica para medir el tirante



Figura 28. Materiales para aforo por el método del flotador

### ***c. Procedimiento***

El procedimiento es el siguiente:

- Seleccionar un lugar adecuado para realizar el aforo.
- Medir el ancho del río o canal.
- Medir el largo de la distancia del punto inicial al punto final que será la distancia que recorrerá el flotador.
- Realizar el aforo con el flotador.
- Cálculo del tiempo promedio, Se toma en cuenta el tiempo que demoran los flotadores de llegar del punto inicial hasta el punto final, y se debe contar con un formato de aforo donde se realizará las anotaciones del tiempo. Se deben lanzar como mínimo tres veces los flotadores en el margen derecho, en el centro y en el margen izquierdo de la sección del río.

- En el caso de canales como su sección es pequeña se lanza en el centro de la sección, para calcular el tiempo promedio se utiliza la siguiente ecuación N° 28.

$$t_p = \frac{t_1+t_2+t_3+t_4+t_5+t_6+t_7+t_8+t_9}{N} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 28)}$$

Donde:

$t_p$  = Tiempo promedio, (s)

$t_f$  = Tiempo que transcurre cada flotador, (s)

$N$  = Número de veces lanzados los flotadores

- Cálculo de la velocidad superficial del río o canal, y se calcula con la ecuación N° 29.

$$V_s = \frac{d}{t_p} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 29)}$$

Donde

$V_s$  = Velocidad superficial, (m/s)

$d$  = Distancia recorrida del flotador, (m)

$t_p$  = Tiempo promedio que recorre los flotadores, (s)

- Cálculo de la velocidad media ( $V_m$ ), este valor es la velocidad corregida es igual a la velocidad superficial multiplicada por un coeficiente. Para los diferentes tipos de cauces el coeficiente de corrección se selecciona de acuerdo a la tabla N° 12 y se muestra a continuación:

**Tabla 12**  
*Coefficientes para corregir la velocidad superficial*

<b>Profundidad media en el tramo de canal (m)</b>	<b>Coefficiente de corrección de velocidad</b>
0,30	0,66
0,61	0,68
0,91	0,70
1,22	0,72
1,52	0,74
1,83	0,76
2,74	0,77
3,66	0,78
4,57	0,79
>6,10	0,80

Fuente: MINAGRI, 2004

- Cálculo del área de la sección transversal del cauce, se expresa mediante la ecuación N° 30.

$$A = h_p * a \dots\dots\dots \text{(Ecuación 30)}$$

Donde:

A = Área de la sección, expresado en metros cuadrados (m<sup>2</sup>)

h<sub>p</sub> = Profundidad promedio (m)

a = ancho del río, expresado en metros (m)

- Con los datos obtenidos se procede a calcular el caudal, que está expresada en la ecuación 31.

$$Q = A * V_m \dots\dots\dots \text{(Ecuación 31)}$$

Donde:

$Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  = Área de la sección ( $\text{m}^2$ )

$V_m$  = Velocidad media ( $\text{m}/\text{s}$ )

En la figura N° 29 se visualiza el Aforo utilizando el método de flotador en un tramo del río Moquegua a la altura del puente el Rayo.



*Figura 29.* Aforo con el método del flotador

Nota: Método de aforo flotador realizado en el río Moquegua a la altura del puente el Rayo

### **3.2. Caso práctico**

Para realizar el caso práctico se tuvo que realizar los trabajos de campo en varios puntos de la cuenca del río Moquegua en la región Moquegua con la finalidad de tener buena información y obtener resultados que nos permitirán una discusión de resultados.

Para una presentación ordenada se realizarán primero el método del correntómetro, método de flotador y luego el método de aforo con aforador sin cuello.

Se realizaron los trabajos en:

- Aforo por el método del correntómetro en el río Osmore. Estación Espejos, estación Canuto, planta de captación EPS Ilo, estación Algarrobal y estación Boca del Río.
- Aforo por el método del correntómetro en la estación Chivaya en Tumulaca.
- Aforo por el método del correntómetro en las 3 empresas de irrigaciones de las pampas de San Antonio, Siglo XXI, Cambrune y Coprocop.
- Aforo por el método de correntómetro en la planta de captación de la EPS Moquegua en Chen Chen.
- Aforo por el método del flotador en el canal Siglo XXI.
- Aforo por el método del flotador en la EPS Moquegua.
- Aforo por el método del flotador en el río Moquegua.
- Aforo por el método aforador sin cuello en el río Moquegua.

Así mismo es necesario conocer el caudal de la cuenca del río Moquegua y los diferentes caudales de medición a lo largo de la cuenca y que son medidos en las diferentes estaciones de aforo, en la figura N° 30 se ve los puntos de aforo.



Figura 30. Mapa de los puntos de trabajo de campo

### 3.2.1. Aforo del río Osmore provincia de Ilo

En este caso práctico se realizó el aforo del río Osmore en las cuatro estaciones de aforo geo referenciados y el canal de la planta de captación EPS Ilo con la finalidad de realizar la medición y control de caudal suministrado para uso poblacional y uso agrario de la provincia de Ilo; la experiencia se realizó el 29 de agosto de 2018.

Las cuatro estaciones de aforo y la planta de captación son:

- Estación Espejos
- Estación Canuto
- Canal de la planta de captación EPS Ilo
- Estación Algarrobal
- Estación Boca del Río

El aforo la realiza el PERPG de la región Moquegua de manera quincenal, dos veces al mes.

Así mismo el ALA Moquegua realiza el aforo en estas mismas estaciones de aforo, no pueden cambiar ni más arriba, ni más abajo, siendo el mismo punto de aforo.

Para realizar el aforo del río inicialmente tenemos que ver las condiciones óptimas para que se pueda realizar la medición, debe realizarse donde el agua fluya normalmente y el flujo sea parejo, según la norma dice el punto de aforo 10 metros arriba y 10 metros abajo debe estar libre y el agua debe fluir con normalidad.

El aforo no puede realizarse en las caídas de agua, donde haya piedras, donde haya turbulencias, donde haya posas o represamiento.

Para el presente caso práctico se realizó la medición de aforo mediante el método del correntómetro, ya que es el método más preciso para realizar el aforo, y consiste en sub dividir la sección hidráulica a cada metro, se toma los valores de la medición en el punto medio de cada sección de un metro, hasta llegar al otro extremo.

Los tirantes se van registrando a 0 m, 0,50 m, 1,00 m, 1,50 m, 2,00 m etc. hasta llegar al otro extremo es para tener la altura promedio con lectura de tres puntos y se promedia para el tirante promedio.

Esos tirantes o esas profundidades con la sección de un metro de cada sección hidráulica nos van a permitir determinar el área hidráulica de cada sección que multiplicado con la velocidad nos va a permitir calcular los sub caudales y sumados los caudales de cada sección hidráulica se obtendrá el caudal total del río en dicha estación de aforo.

Los materiales utilizados para esta experiencia fueron:

- Correntómetro electromagnético
- Cable de comunicación sensor a equipo correntómetro
- Sensor (la mariposita)

- Varilla metálica de un metro graduada en centímetros
- Wincha de 50 metros
- Wincha de cinco metros
- Botas musleras de jebe
- Tablero de apuntes
- Calculadora
- Cámara Fotográfica

La ubicación de la presente experiencia se encuentra graficado en la siguiente figura N° 31 que muestra la cuenca del río Osmore y la ubicación exacta de las cuatro estaciones de aforo y canal de captación de la EPS Ilo.



Figura 31. Ubicación de los aforos en el río Osmore

Para una mejor idea se tiene la ubicación exacta del río Osmore y estaciones de aforo mediante el software Google Earth.

### ***3.2.1.1. Aforo por el método correntómetro en la estación Espejos***

Se realizó la medición en el punto de aforo de la estación Espejos que se encuentra ubicado a la finalización del valle de Moquegua donde básicamente inicia el río Osmore.

El punto de aforo en el río tiene se ha realizado en un punto donde el agua fluye normalmente, con un ancho de cuatro metros el cual se ha realizado la sección hidráulica y se ha dividido en cuatro sub secciones.

Se muestra la siguiente figura N° 32 donde se está realizando el aforo en la estación de aforo Espejos.



*Figura 32. Medición de caudal en la estación Espejos - Moquegua*

En la siguiente tabla N° 13 se registra las velocidades en cada sección hidráulica para posterior obtener los resultados en la estación Espejos.

Para obtener los datos se realizan las siguientes operaciones:

Para el cálculo de la velocidad promedio se utiliza la siguiente ecuación N° 32, en la cual se suman las tres velocidades tomadas por el correntómetro y se promedian entre tres.

$$V_{\text{prom}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 32)}$$

Donde:

$V_{\text{prom}}$  = Velocidad promedio

$V_1, V_2, V_3$  = Velocidades tomadas por el correntómetro

Entonces:

$$V_{\text{prom}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

$$V_{\text{prom}} = \frac{0,265 + 0,266 + 0,269}{3}$$

$$V_{\text{prom}} = 0,267 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para el cálculo de la altura promedio se utiliza la siguiente ecuación N° 33, en la cual se suman las tres alturas donde empieza la subsección de un metro para este caso y se promedian entre tres.

$$H_{\text{prom}} = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{3} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 33)}$$

Donde:

$H_{\text{prom}}$  = Altura promedio.

$H_1, H_2, H_3$  = Alturas tomadas de los tirantes de la sección

Entonces:

$$H_{\text{prom}} = \frac{0,27 + 0,30 + 0,27}{3}$$

$$H_{\text{prom}} = 0,28 \text{ m}$$

En este caso se ha medido el ancho del cauce del río tiene cuatro metros y cada sub sección mide un metro, entonces el ancho de la subsección es 1 metro.

Para el cálculo del área de la sección se calcula con la siguiente ecuación N° 34, en la que se multiplica el ancho de la sección que es un metro por la altura promedio.

$$A = H_{\text{prom}} * \text{Anch Subs} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 34)}$$

Donde:

A = Área de la subsección

H<sub>prom</sub> = Altura promedio

Anch Subs = Ancho de la subsección

$$A = H_{\text{prom}} * \text{Anch Subs}$$

$$A = 0,28 * 1$$

$$A = 0,28 \text{ m}^2$$

Para el cálculo del caudal de la sección se realiza con la siguiente ecuación N° 35.

$$Q = V_{\text{prom}} \times A \dots\dots\dots \text{(Ecuación 35)}$$

$$Q = 0,267 * 0,280$$

$$Q = 0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para el cálculo del caudal total se realiza con la siguiente ecuación N° 36.

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + \dots + Q_n \dots\dots\dots \text{(Ecuación 36)}$$

Donde:

$Q_{\text{total}}$  = Sumatoria de todos los caudales de las subsecciones.

$Q_1, Q_n$  = Caudales de las subsecciones.

Entonces:

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + \dots + Q_n$$

$$Q_{\text{total}} = 0,075 + 0,088 + 0,079 + 0,045$$

$$Q_{\text{total}} = 0,287 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{total}} = 287 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

El resultado que se obtiene es 0,287 m<sup>3</sup>/s ó 287 L/s, para las siguientes estaciones de aforo se toman las mismas operaciones similares.

**Tabla 13***Cálculo del caudal en la estación Espejos*

Distancia (m)	Altura (m)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Velocidad 3 (m/s)	Velocidad Promedio (m/s)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,27								
0,50	0,30	0,265	0,266	0,269	0,267	0,280	1,00	0,280	0,075
1,00	0,27								
1,50	0,27	0,337	0,340	0,348	0,342	0,257	1,00	0,257	0,088
2,00	0,23								
2,50	0,23	0,352	0,355	0,362	0,356	0,223	1,00	0,223	0,079
3,00	0,21								
3,50	0,18	0,239	0,243	0,245	0,242	0,187	1,00	0,187	0,045
4,00	0,17								
Caudal Total									0,287

### 3.2.1.2. Aforo por el método correntómetro en la estación Canuto

Se muestra la siguiente figura N° 33 donde se está realizando el aforo de la estación de Canuto de la provincia de Ilo.



Figura 33. Medición de caudal en la estación Canuto - Ilo

En la siguiente tabla N° 14 se registra las velocidades, alturas de los tirantes en cada subsección hidráulica para posterior obtener los resultados del caudal, los resultados se hallan utilizando las ecuaciones N° 32, 33, 34, 35, 36.

**Tabla 14**

*Cálculo del caudal estación Canuto*

Distancia (m)	Altura (m)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Velocidad 3 (m/s)	Velocidad Promedio (m/s)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,12								
0,50	0,15	0,341	0,343	0,347	0,344	0,163	1,00	0,163	0,056
1,00	0,22								
1,50	0,22	0,451	0,454	0,457	0,454	0,200	1,00	0,200	0,091
2,00	0,16								
2,50	0,18	0,482	0,486	0,489	0,486	0,173	1,00	0,173	0,084
3,00	0,18								
3,50	0,18	0,310	0,313	0,315	0,313	0,183	1,00	0,183	0,057
4,00	0,19								
4,50	0,16	0,258	0,261	0,264	0,261	0,153	1,00	0,153	0,040
5,00	0,11								
Caudal Total									0,328

### 3.2.1.3. Aforo método correntómetro planta de captación EPS Ilo

Se muestra la siguiente figura N° 34 donde se está realizando el aforo de la del canal de captación de la EPS Ilo, para determinar su caudal.



Figura 34. Medición de caudal canal planta de captación EPS-Ilo

En la siguiente tabla N° 15 se registra las velocidades en el canal de la planta de captación de la EPS Ilo y posterior cálculo obtener el resultado del caudal, los resultados se hallan utilizando las ecuaciones N° 32, 33, 34, 35, 36.

**Tabla 15**

*Cálculo del caudal canal de captación EPS-Ilo*

Distancia (m)	Altura (m)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Velocidad 3 (m/s)	Velocidad Promedio (m/s)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
0,0000	0,35								
0,1334	0,35	0,697	0,699	0,698	0,698	0,350	0,2667	0,093	0,065
0,2667	0,35								
0,4000	0,35	0,617	0,613	0,615	0,615	0,350	0,2667	0,093	0,057
0,5334	0,35								
0,6667	0,35	0,537	0,540	0,546	0,541	0,350	0,2667	0,093	0,050
0,8000	0,35								
Caudal Total									0,172

Así mismo en el canal de captación se pudo observar la existencia de un canal Parshall metros antes de donde se toma las medidas para realizar el aforo donde se calculará en caudal en la planta de captación de la EPS Ilo.



Figura 35. Canal Parshall en la planta de captación de la EPS Ilo

### 3.2.1.4. Aforo por el método correntómetro en la estación Algarrobal

En la figura N° 36 se está realizando el aforo de la estación Algarrobal para determinar el caudal de agua que se utiliza para irrigar la parte media y baja de la provincia de Ilo.



Figura 36. Medición de caudal en la estación Algarrobal - Ilo

En la siguiente tabla N° 16 se registra las velocidades de la estación Algarrobal y el cálculo del caudal, los resultados se hallan utilizando las ecuaciones 32, 33, 34, 35, 36.

**Tabla 16**

*Cálculo del caudal en la estación Algarrobal*

Distancia (m)	Altura (m)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Velocidad 3 (m/s)	Velocidad Promedio (m/s)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,10								
0,50	0,10	0,138	0,140	0,144	0,141	0,107	1,00	0,107	0,015
1,00	0,12								
1,50	0,12	0,178	0,183	0,185	0,182	0,113	1,00	0,113	0,021
2,00	0,10								
2,50	0,09	0,171	0,174	0,177	0,174	0,083	1,00	0,083	0,014
3,00	0,06								
Caudal Total									0,050

### **3.2.1.5. Aforo en la estación Boca del Río**

Se muestra la siguiente figura N° 37 donde se está realizando el varillado de a la altura del río Osmore en la estación Boca del Río en Ilo.



*Figura 37. Medición de caudal en la estación Boca del Río – Ilo*

En la estación Boca del Río no se ha realizado la medición ya que el río no tiene las condiciones para realizar la medición con el correntómetro, su tirante es muy bajo, en el río se encuentran piedras a lo ancho del río que no le permite un flujo estable para realizar la medición, por lo se estima en forma visual que tiene un caudal de  $0,040 \text{ m}^3/\text{s}$  ó  $40 \text{ L/s}$ , siendo el agua que se va al Océano Pacífico.

La finalidad que se ha tenido con realizar el aforo es para conocer el caudal que registra actualmente, ya que se sabe que en otras estaciones del año el caudal es diferente.

La estación Espejos es un punto referencial y si está escurriendo al valle de Ilo y si está dentro de lo que establece las licencias uso poblacional y uso agrario, y si está por debajo permite tomar medidas correctivas al PERPG.

En la estación Canuto se realiza el aforo para saber cuál es el caudal de llegada al valle de Ilo para los usos agrarios y poblacionales y contar con la data histórica, esta data histórica nos permite tener información para diseñar proyectos y poder sustentarlos.

En la planta de captación de la EPS Ilo permite llevar los registros para tener conocimiento y dotación del uso hídrico para el consumo poblacional.

En la estación Algarrobal permite tener conocimiento del caudal con el que cuenta la parte media y baja de Ilo y es de uso agrario.

En la estación Boca del Río permite saber cuál es el caudal excedente del recurso hídrico que ingresa al Océano Pacífico.

Este control de medición de caudales se realiza de manera quincenal desde el año 2005.

Realizar el aforo permite tener el conocimiento y abastecimiento y poder regular las descargas de la presa de embalse Pasto Grande dentro de lo que establece los usos según las licencias autorizadas por el ANA.

Hasta la quincena de abril en época húmeda su caudal se incrementa por la presencia de lluvias en la parte alto andina de Moquegua.

De la quincena de abril a la quincena de agosto hay incrementos por recuperación de acuíferos del valle de Moquegua, drenes y manantiales; hay sistema de drenaje y hay puquios, en invierno por la misma temporada de frío los agricultores dejan de captar esas aguas, los riegos ya no es ocho días y la frecuencia de riego es más distante.

Usan aguas de los puquios y drenaje.

Entonces en invierno captan agua de la presa Pasto Grande y las cuencas, y ya no usan agua de los manantiales.

Del 15 de abril al 15 de agosto hay varias hectáreas de cultivo de vid ya no usan agua, y se les recorta el agua, también el cultivo de olivo en Ilo.

Desde enero a abril Pasto Grande se cierra generalmente para recuperar el agua.

En la quincena de abril se inicia la descarga del agua a un  $m^3/s$ , en agosto se incrementa a  $1,3 m^3/s$  porque hay meses de demanda de agua. En septiembre se incrementa a  $1,8 m^3/s$ , en octubre a  $2,00 m^3/s$ , en noviembre y diciembre el caudal se incrementa de  $2,2$  a  $2,3 m^3/s$ . Y luego se genera nuevamente este ciclo.

En el manejo del recurso hídrico y aporte de la cuenca los ríos Tumilaca y Azana en  $0,6 m^3/s$ , aporte del río Torata en  $0,15 m^3/s$ , aporte del río Otorá – Huaracane en  $0,12 m^3/s$ , y aporte de la cuenca manantiales, drenes, recurso hídrico, los cuales son los aportes en la cuenca del río Moquegua y río Osmore.

### **3.2.2. Aforo por el método correntómetro en la estación Chivaya**

Se realizaron las mediciones con correntómetro en el río Tumilaca en la estación Chivaya, la estación hidrológica – limnigráfica está geo referenciado en latitud  $17^{\circ} 17'35.1''$  y longitud  $70^{\circ} 50' 01,5''$  a una altura de  $1\ 950$  msnm que está ubicada en el departamento de Moquegua, provincia Mariscal Nieto, distrito de Samegua.

Se realizó el aforo del río Tumilaca con los siguientes datos expresados en la tabla N° 17, los resultados se hallan utilizando las ecuaciones 32, 33, 34, 35, 36.

**Tabla 17***Cálculo del caudal en la estación Chivaya*

Distancia (m)	Altura (m)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Velocidad 3 (m/s)	Velocidad Promedio (m/s)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,07								
0,50	0,12	0,259	0,262	0,264	0,262	0,123	1,00	0,123	0,032
1,00	0,18								
1,50	0,24	0,355	0,358	0,360	0,358	0,253	1,00	0,253	0,091
2,00	0,34								
2,50	0,36	0,496	0,497	0,499	0,497	0,333	1,00	0,333	0,166
3,00	0,30								
3,50	0,28	0,340	0,343	0,345	0,343	0,273	1,00	0,273	0,094
4,00	0,24								
4,25	0,21	0,195	0,198	0,200	0,198	0,200	0,50	0,100	0,020
4,50	0,15								
Caudal Total									0,403

La experiencia se realizó el 10 de Setiembre de 2018. En la estación Chivaya según la tabla N° 17 el caudal hallado es de 0,403 m<sup>3</sup>/s ó 403 L/s.



Figura 38. Estación hidrológica - limnigráfica Tumilaca



*Figura 39. Aforo en la estación Chivaya en Tumilaca*

### **3.2.3. Aforo en irrigación pampas de San Antonio**

Se realizaron las mediciones con correntómetro en las tres empresas de la irrigación de las pampas de San Antonio, Coprocop, Cambrune y Siglo XXI, los canales donde se realizaron el aforo se encuentran en el lote T del PERPG en San Antonio, departamento de Moquegua, provincia Mariscal Nieto, distrito de Moquegua. La experiencia se realizó el cinco de setiembre de 2018.

El presente caso práctico en la irrigación del lote T es la determinación de cantidad de agua con fines de riego de las tres tomas de agua para las asociaciones de Coprocop, Cambrune y Siglo XXI.

Se realizaron el aforo por el método del correntómetro en las tres empresas, las cuales se describen a continuación.

### 3.2.3.1. Aforo por el método correntómetro en el Canal Coprocop

Se realizó el aforo del canal Coprocop del sector del lote T para irrigación de las parcelas Coprocop, los resultados se muestran en la tabla N° 18 y se ha utilizado las ecuaciones 32, 33, 34, 35, 36.

**Tabla 18**

*Cálculo del caudal en el canal Coprocop*

Distancia (m)	Altura (m)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Velocidad 3 (m/s)	Velocidad Promedio (m/s)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00000	0,27								
0,08334	0,27	0,919	0,920	0,923	0,921	0,27	0,16667	0,045	0,041
0,16667	0,27								
0,25000	0,27	0,901	0,904	0,909	0,905	0,27	0,16667	0,045	0,041
0,33333	0,27								
0,41667	0,27	0,794	0,797	0,793	0,795	0,27	0,16667	0,045	0,036
0,50000	0,27								
Caudal Total									0,118

En el canal Coprocop se halló un caudal de 0,118 m<sup>3</sup>/s ó 118 L/s. por el método del correntómetro.



*Figura 40. Aforo con correntómetro en el canal Coprocop*

### 3.2.3.2. Aforo por el método correntómetro en el canal Cambrune

Se realizó el aforo del canal Cambrune del sector del lote T para irrigación de las parcelas Cambrune, los resultados se muestran en la tabla N° 19 y se ha utilizado las ecuaciones 32, 33, 34, 35, 36.

**Tabla 19**

*Cálculo de caudal en el canal Cambrune*

Distancia (m)	Altura (m)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Velocidad 3 (m/s)	Velocidad Promedio (m/s)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,33								
0,10	0,33	0,462	0,465	0,467	0,465	0,330	0,200	0,066	0,031
0,20	0,33								
0,30	0,33	0,434	0,437	0,429	0,433	0,330	0,200	0,066	0,029
0,40	0,33								
0,50	0,33	0,336	0,335	0,339	0,337	0,330	0,200	0,066	0,022
0,60	0,33								
Caudal Total									0,082

En el canal Cambrune se halló un caudal de 0,082 m<sup>3</sup>/s ó 82 L/s. por el método de correntómetro.



Figura 41. Aforo con correntómetro en el canal Cambrune

### 3.2.3.3. Aforo por el método correntómetro en el canal Siglo XXI

Primero se empezó con el aforo del canal Siglo XXI del sector del lote T para irrigación de las parcelas chacras Siglo XXI, los resultados se muestran en la tabla N° 20 y se ha utilizado las ecuaciones 32, 33, 34, 35, 36.

**Tabla 20**  
*Cálculo del caudal en el canal Siglo XXI*

Distancia (m)	Altura (m)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Velocidad 3 (m/s)	Velocidad Promedio (m/s)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,38								
0,10	0,38	0,427	0,424	0,430	0,427	0,380	0,200	0,076	0,032
0,20	0,38								
0,30	0,38	0,400	0,404	0,405	0,403	0,380	0,200	0,076	0,031
0,40	0,38								
0,50	0,38	0,477	0,482	0,485	0,481	0,380	0,200	0,076	0,037
0,60	0,38								
Caudal Total									0,100

En el canal Siglo XXI se halló un caudal de 0,100 m<sup>3</sup>/s ó 100 L/s por el método del correntómetro.



*Figura 42. Aforo con correntómetro en el canal Siglo XXI*

#### ***3.2.3.4. Aforo por el método flotador en el canal Siglo XXI***

Se realizaron las mediciones del caudal por el método del flotador en el canal Siglo XXI ubicado en el lote T del PERPG en San Antonio departamento de Moquegua, provincia Mariscal Nieto, distrito de Moquegua.

El presente caso práctico se realizó para determinar el caudal que es suministrado a la empresa Siglo XXI, en la figura N° 43 se visualiza que se está realizando la medición del ancho del canal y el largo del tramo de aforo del canal, así mismo se ha determinado la altura del tirante.



*Figura 43. Medición para el método por flotador*

Nota: En la figura se aprecia que se está realizando la medición del tramo de aforo que se realizará por el método del flotador

Para la medición por el método de flotador se utilizó los siguientes

materiales:

- Calculadora
- Cronómetro
- Wincha de 50 metros
- Wincha de cinco metros

- Flotador (botella de plástico)
- Regla metálica para medir el tirante

Los resultados del cálculo se muestran en la tabla N° 21, y se halló un caudal de 0,095 m<sup>3</sup>/s ó 95 L/s.

**Tabla 21**  
*Cálculo del caudal por el método del flotador*

Distancia (m)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo promedio (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad m (m/s) = Vs * 0.80	Altura del Tirante (m)	Ancho de la Sección (m)	Área de la Sección (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
3,00	5,6	5,9	5,8	5,8	0,52	0,416	0,380	0,600	0,228	0,095



*Figura 44. Aforo por el método de flotador canal Siglo XXI*

### **3.2.4. Aforo en EPS Moquegua con correntómetro y flotador**

En la EPS Moquegua se realizó los métodos por correntómetro y flotador, la experiencia se realizó el siete de setiembre de 2018, y se describe a continuación:

### 3.2.4.1. Aforo método correntómetro canal EPS Moquegua

Se realizaron las mediciones con correntómetro en la EPS Moquegua ubicado en Chen Chen, departamento de Moquegua, provincia Mariscal Nieto, distrito de Moquegua.

El presente caso práctico es la determinación del caudal de agua con fines de uso poblacional, los resultados se muestran en la tabla N° 22 y se ha utilizado las ecuaciones N° 32, 33, 34, 35, 36.

**Tabla 22**  
*Cálculo del caudal en el canal EPS Moquegua*

Distancia (m)	Altura (m)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Velocidad 3 (m/s)	Velocidad Promedio (m/s)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00000	0,18								
0,16667	0,18	0,619	0,620	0,623	0,621	0,180	0,33333	0,060	0,037
0,33333	0,18								
0,50000	0,18	0,653	0,655	0,658	0,655	0,180	0,33333	0,060	0,039
0,66667	0,18								
0,83333	0,18	0,507	0,510	0,514	0,510	0,180	0,33333	0,060	0,031
1,00000	0,18								
Caudal Total									0,107

En el canal de la EPS Moquegua se halló un caudal de 0,107 m<sup>3</sup>/s ó 107 L/s. por el método del correntómetro. En la figura N° 45 se muestra el aforo realizado con el correntómetro en el canal de captación de la EPS Moquegua.



*Figura 45. Aforo con correntómetro en el canal EPS*

#### ***3.2.4.2. Aforo método flotador canal EPS Moquegua***

Se realizaron las mediciones del caudal por el método del flotador en el canal de captación de la planta de tratamiento EPS Moquegua ubicado en el centro poblado menor Chen Chen departamento de Moquegua, provincia Mariscal Nieto, distrito de Moquegua.

El presente caso práctico se realizó para determinar el caudal que es captado en el canal de captación de la planta de tratamiento EPS Moquegua y que ingresa a los pozos para su tratamiento y luego es suministrado para uso poblacional, en la figura N° 46 se visualiza que se está realizando la medición del largo del tramo de aforo del canal, así mismo se ha determinado el ancho del canal y la altura del tirante.



Figura 46. Medición del largo del tramo de aforo canal EPS

Para la medición por el método del flotador se utilizó los siguientes materiales:

- Calculadora
- Cronómetro
- Wincha de 50 metros
- Wincha de cinco metros
- Flotador (botella de plástico)
- Regla metálica para medir el tirante

En el canal de captación de la EPS Moquegua en el tramo de aforo tiene un ancho diferente a lo largo de las distancia del largo de tres metros, en la distancia a cero metros comenzó con 0,93 m. de ancho, luego a la distancia de un metro con 0,95 m. de ancho, seguido a la distancia de dos metros con 1,05 m. de ancho y finalmente a la distancia de tres metros con un ancho de 1,10 m., entonces,

en la ecuación N° 37 se muestra la ecuación para determinar el promedio de la longitud del ancho del canal.

$$Lac = \frac{La1+La2}{2} \dots\dots\dots (Ecuación 37)$$

Donde:

Lac = Longitud del ancho del canal

La1, La2 = Longitud del ancho al inicio y final del canal

$$Lac = \frac{0,95 + 1,10}{2}$$

$$Lac = 1,025 \text{ m}$$

El ancho del canal de 1,02 m ha sido tomado en cuenta para los cálculos del caudal, los resultados de cálculo se muestran en la tabla N° 23, y se halló un caudal de 0,102 m<sup>3</sup>/s ó 102 L/s.

**Tabla 23**  
*Cálculo del caudal por el método del flotador*

Distancia (m)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo promedio (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad m (m/s) = Vs * 0.80	Altura del Tirante (m)	Ancho de la Sección (m)	Área de la Sección (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
3,00	4,30	4,60	4,20	4,37	0,69	0,552	0,180	1,020	0,184	0,102

En la figura N° 47 se visualiza el aforo con el método de flotador realizado en el canal de captación de la EPS Moquegua en Chen Chen.



*Figura 47. Aforo por flotador EPS Moquegua*

### **3.2.5. Aforo en río Moquegua**

En el río Moquegua se realizó los métodos por correntómetro y flotador, la experiencia se realizó el 15 de setiembre de 2018, y se describen a continuación.

#### ***3.2.5.1. Aforo por el método flotador en el río Moquegua***

Se realizó la experiencia de campo con la medición del caudal por el método del flotador, el sector de aforo se muestra en la figura N° 48 en el río Moquegua a la altura del puente el Rayo, frente al poder judicial por el malecón riveroño en el distrito de Moquegua, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.



Figura 48. Ubicación de aforo por el método flotador en río Moquegua

En la figura N° 49 se visualiza el tramo de aforo en donde se realizará el aforo por el método del flotador, así también se está midiendo la distancia entre el punto de inicio y punto final de aforo y corresponde a una distancia de cinco metros de largo.



Figura 49. Tramo de aforo para método flotador río Moquegua

En la figura N° 50 se aprecia la medición del tirante del río en el tramo de aforo en el río Moquegua.



Figura 50. Medida del tirante en el tramo de aforo río Moquegua

En la tabla N° 24 muestra el resultado del área de la sección en el punto inicial del aforo, con un resultado de 0,198 m<sup>2</sup> de área.

**Tabla 24**

*Cálculo del área de la sección de aforo punto inicial*

Distancia (m)	Altura del Tirante (m)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )
0,00	0,090			
0,25	0,095	0,097	0,50	0,049
0,50	0,105			
0,75	0,105	0,108	0,50	0,054
1,00	0,115			
1,25	0,105	0,108	0,50	0,054
1,50	0,105			
1,75	0,090	0,082	0,50	0,041
2,00	0,050			
Área Total				0,198

En la tabla N° 25 muestra el resultado del área de la sección en el punto final del aforo, con un resultado de 0,194 m<sup>2</sup> de área.

**Tabla 25***Cálculo del área de la sección de aforo punto final*

Distancia (m)	Altura del Tirante (m)	Altura Promedio (m)	Ancho de la Sección (m)	Área de la Sección (m <sup>2</sup> )
0,00	0,050			
0,25	0,070	0,062	0,50	0,031
0,50	0,065			
0,75	0,095	0,090	0,50	0,045
1,00	0,110			
1,25	0,110	0,113	0,50	0,057
1,50	0,120			
1,75	0,115	0,122	0,50	0,061
2,00	0,130			
Área Total				0,194

En la ecuación N° 38 se muestra el promedio del área de la sección entre el punto inicial y punto final del tramo de aforo.

$$Asp = \frac{Asi + Asf}{2} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 38)}$$

Donde:

Asp = Área de la sección promedio

Asi = Área de la sección inicial

Asf = Área de la sección final

Entonces:

$$Asp = \frac{0,198 + 0,194}{2}$$

$$Asp = 0,196 \text{ m}^2$$

En la tabla N° 26 se muestra el resultado del caudal por el método del flotador.

**Tabla 26**

*Cálculo del caudal por el método del flotador*

Distancia (m)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo promedio (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad m (m/s) = $V_s * 0.85$	Área de la Sección (m <sup>2</sup> )	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
5,00	14,8	14,6	14,2	14,5	0,34	0,272	0,196	0,053

En la figura N° 51 se muestra el aforo por el método del flotador realizado en el río Moquegua.



*Figura 51. Aforo método de flotador río Moquegua*

### ***3.2.5.2. Aforo por el método aforador sin cuello en el río Moquegua***

El aforador sin cuello es un instrumento para medir el caudal basado en la creación de flujo crítico mediante el estrechamiento en la sección transversal, para la presente experiencia en campo se ha solicitado el instrumento aforador sin cuello del laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la universidad José Carlos Mariátegui.

Se ha realizado el aforo en el río Moquegua a la altura del puente el Rayo al frente del poder judicial del malecón riveroño, en el distrito de Moquegua, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua.

El presente caso práctico se realizó para determinar el caudal del río Moquegua por el método de aforador sin cuello.

En la figura N° 48 se muestra la ubicación donde se realizó el aforo por el método de aforador sin cuello en el río Moquegua, el cual es el mismo sector donde se realizó el aforo por el método del flotador.

Para la medición del caudal por el método de aforador sin cuello se utilizaron los siguientes materiales que se muestran en la figura N° 52 y 53.

- Aforador sin cuello
- Nivel de mano
- Wincha de cinco metros
- Cámara Fotográfica
- Plástico
- Calculadora
- Regla metálica de 0,60 metros
- Regla metálica de 0,30 metros



Figura 52. Materiales utilizados para aforo con aforador sin cuello



Figura 53. Medición del aforador sin cuello

Nota: En la figura se muestra el equipo aforador sin cuello y el plástico que se ha utilizado para el caso práctico

En la figura N° 54 se muestra la calibración del aforador en campo, en donde se ha colocado el aforador sin cuello en el centro del río con respecto al eje del flujo del río.



*Figura 54.* Aforador en el río con respecto al eje de flujo del río

En la figura N° 55 se muestra la que el aforador sin cuello ha sido colocado sobre la superficie del río y se ha realizado el nivelado con el nivel.



*Figura 55.* Nivelado del aforador sin cuello con nivel en el río

Se ha realizado la conducción del flujo posible para el aforo con el aforador sin cuello.

Así mismo en las figuras N°53, 54 y 55 se nota que no todo el flujo fue aforado ya que hubo fugas y pérdidas y se utilizó plásticos para el aforo, como se aprecia no todo el flujo fue aforado.

Para el presente caso práctico se realizará de acuerdo al procedimiento descrito en (MINAGRI, 2004).

Se realizaron cinco lecturas con intervalos de 10 minutos el día sábado 15 de setiembre de 2018 a partir de las 3:00 pm. Hasta las 3:40 pm., en la figura N° 56 y 57 se muestran las alturas de Ha y Hb obtenidas en el caso práctico.

En la figura N° 56 se muestra la foto tomada de la altura Ha.

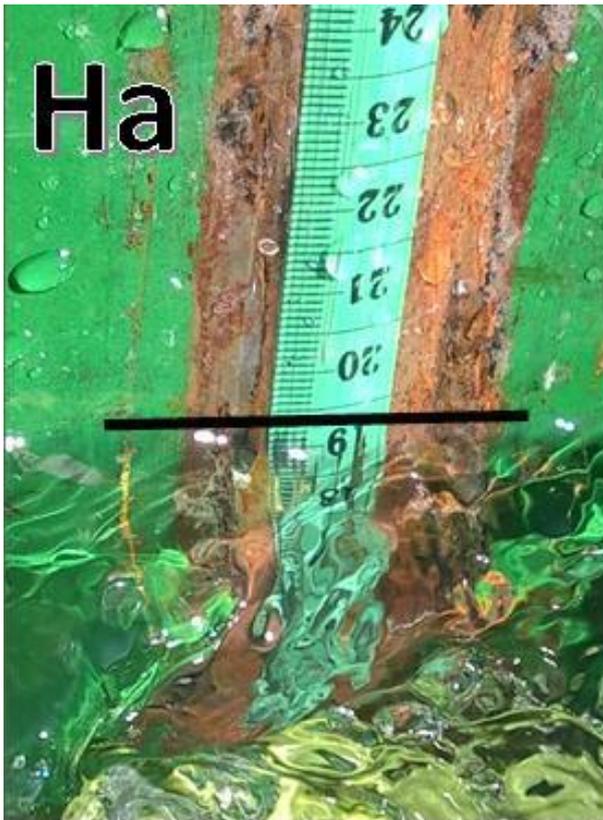


Figura 56. Lectura tomada de Ha

En la figura N° 57 se muestra la foto tomada de la altura Hb.



Figura 57. Lectura tomada de Hb

En la tabla N° 27 se muestra los resultados de las lecturas obtenidas en campo, la fecha y la hora en la que se tomaron las lecturas, así como la obtención de la lectura promedio que viene a ser la sumatoria de las cinco lecturas dividido entre cinco.

**Tabla 27**  
*Lecturas obtenidas del aforo y lecturas promedio*

<b>Lecturas</b>	<b>Ha (cm)</b>	<b>Ha (m)</b>	<b>Hb (cm)</b>	<b>Hb (m)</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
Primera lectura	19,00	0,190	12,50	0,125	15/09/2018	3:00 pm
Segunda lectura	19,20	0,192	12,60	0,126	15/09/2018	3:10 pm
Tercera lectura	18,80	0,188	12,40	0,124	15/09/2018	3:20 pm
Cuarta lectura	19,00	0,190	12,40	0,124	15/09/2018	3:30 pm
Quinta lectura	19,10	0,191	12,50	0,125	15/09/2018	3:40 pm
Lectura promedio	19,00	0,190	12,50	0,125		

En la tabla N° 28 se ha calculado el grado de sumergencia para las cinco lecturas y la lectura promedio.

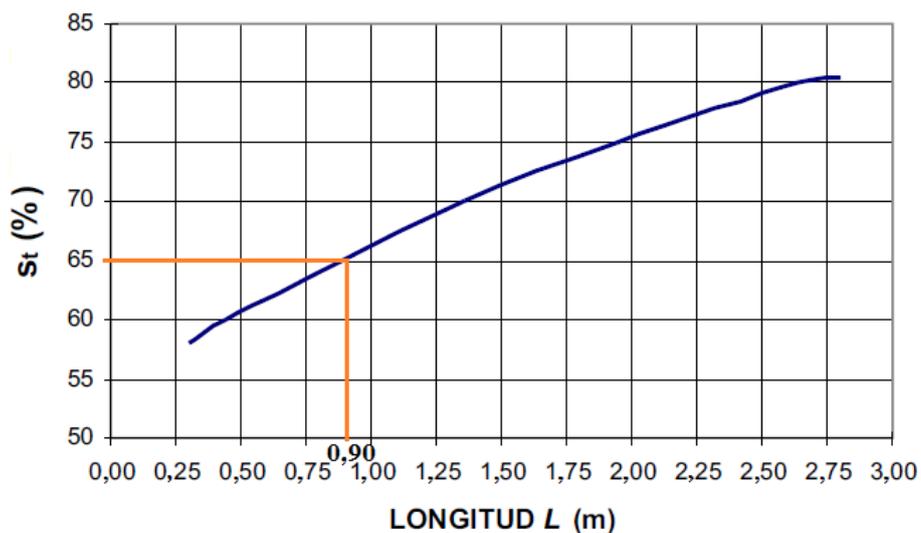
Hallándose el grado de sumergencia S:

$$S = 0,658 = 65,8 \%$$

**Tabla 28**  
*Cálculo del grado de sumergencia*

Lecturas	Ha (m)	Hb (m)	S=Hb/Ha
Primera lectura	0,190	0,125	0,658
Segunda lectura	0,192	0,126	0,656
Tercera lectura	0,188	0,124	0,660
Cuarta lectura	0,190	0,124	0,653
Quinta lectura	0,191	0,125	0,654
Lectura promedio	0,190	0,125	0,658

En la figura N° 58 se muestra la relación del grado de sumergencia transitoria St versus longitud de aforador sin cuello, por lo que el resultado de St es el siguiente:



*Figura 58.* Relación grado sumergencia St vs longitud aforador  
Fuente: MINAGRI, 2004

Por lo que:

$$S > St$$

$$65,8\% > 65\%$$

Entonces el grado de sumergencia  $S$  hallado de las lecturas de campo del caso práctico en el río Moquegua es mayor que el grado de sumergencia transitoria  $St$  entonces asegura que el flujo que pasa por el aforador sin cuello es sumergido.

Ahora procedemos a hallar los valores del  $K_s$ ,  $n_s$ ,  $n$ ,  $C_s$  y  $Q$ ; los valores  $K_s$  y  $n_s$  lo hallamos de la figura N° 59 se muestra la relación entre el coeficiente de longitud para flujo sumergido  $k_s$  y el exponente de flujo sumergido  $n_s$  respecto a la longitud del aforador sin cuello, por lo que de la figura se ha hallado los resultados:

$$k_s = 2,18$$

$$n_s = 1,48$$

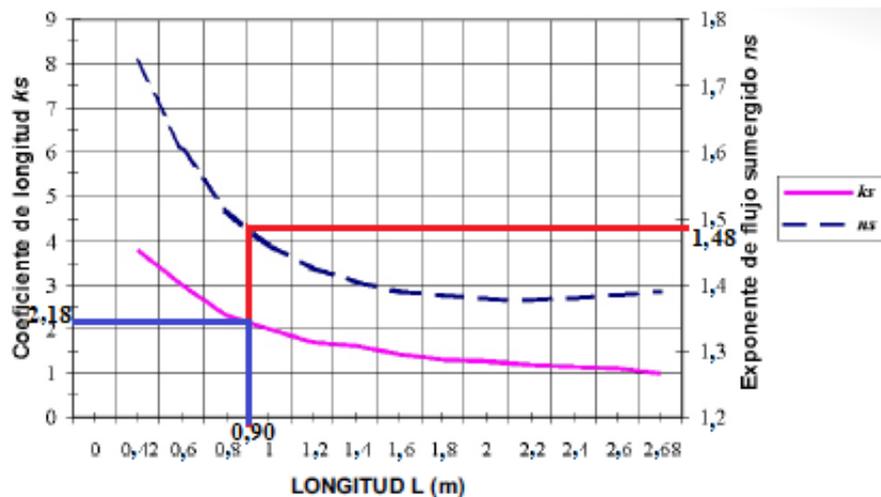


Figura 59. Relación entre  $K_s$  y  $n_s$  respecto a  $L$

Nota: Esta figura muestra la relación entre el coeficiente de longitud para flujo sumergido  $k$  y el exponente de flujo sumergido  $n_s$  respecto a la longitud  $L$  del aforador sin cuello

Fuente: MINAGRI, 2004

El valor n se halla de la figura N° 60 que muestra la relación entre el coeficiente de longitud para flujo libre k y el exponente de flujo libre n con respecto a la longitud L del aforador sin cuello, por lo que en la figura se ha hallado el resultado:

$$n = 1,84$$

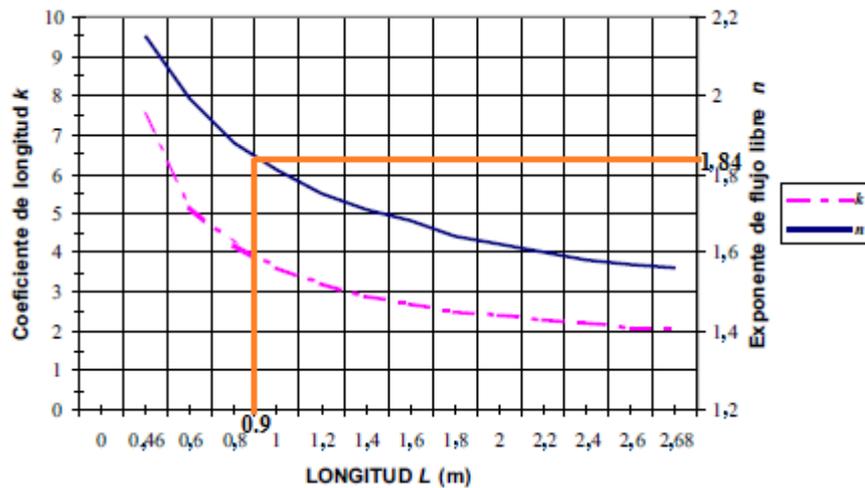


Figura 60. Relación de flujo libre k y flujo libre n respecto a L  
 Nota: Esta figura muestra la relación entre el coeficiente de longitud para flujo libre k y el exponente de flujo libre n con respecto a la longitud L del aforador sin cuello  
 Fuente: MINAGRI, 2004

En la ecuación N° 39, hallamos el valor de coeficiente de descarga Cs

$$Cs = Ks * (w)^{1,025} \dots\dots\dots (Ecuación 39)$$

Donde:

Cs = Coeficiente de descarga.

ks = Coeficiente de longitud para flujo sumergido.

w = Ancho de la garganta del aforador sin cuello.

Entonces:

$$C_s = 2,18 * (0,4)^{1,025}$$

$$C_s = 0,8523$$

En la ecuación N° 40 hallamos el caudal Q con los valores hallados en el presente ítem, en lo cual el resultado que da es de 0,062 m³/s ó 62 L/s.

$$Q = \frac{C_s * (H_a - H_b)^n}{(C_{log})^{n_s}} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 40)}$$

$$Q = \frac{0,8523 * (0,190 - 0,125)^{1,84}}{(C_{log} 0,658)^{1,48}}$$

$$Q = 0,070 \frac{m^3}{s} = 70 \frac{L}{s}$$

Para hallar gráficamente la curva de caudal para este caso práctico y teniendo la ecuación N° 21 del presente informe, despejamos el valor de Ha:

$$S = \frac{H_b}{H_a}$$

$$H_b = H_a * S$$

Por lo que la ecuación para hallar la curva de caudal sería la ecuación N° 41.

$$Q = \frac{C_s \cdot (H_a - H_a \cdot S)^n}{(\text{Colog } S)^{ns}} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 41)}$$

Según la tabla N° 29 se muestran los valores de los caudales para diferentes alturas de  $H_a$ , cabe precisar que los caudales de la tabla están en proporción a su caudal y al valor constante de  $S$ .

**Tabla 29**  
Cálculo de caudales según los valores de  $H_a$

<b><math>H_a</math></b>	<b><math>S=H_a/H_b</math></b>	<b><math>K_s</math></b>	<b><math>ns</math></b>	<b><math>w</math></b>	<b><math>n</math></b>	<b><math>C_s</math></b>	<b><math>Q</math></b>
0,05	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,006
0,10	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,021
0,15	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,045
0,19	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,070
0,20	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,076
0,25	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,115
0,30	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,161
0,35	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,214
0,40	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,273
0,45	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,340
0,50	0,658	2,18	1,48	0,4	1,84	0,8523	0,412

Según la figura N° 61 se muestra los valores de los caudales en función de la altura  $H_a$ .

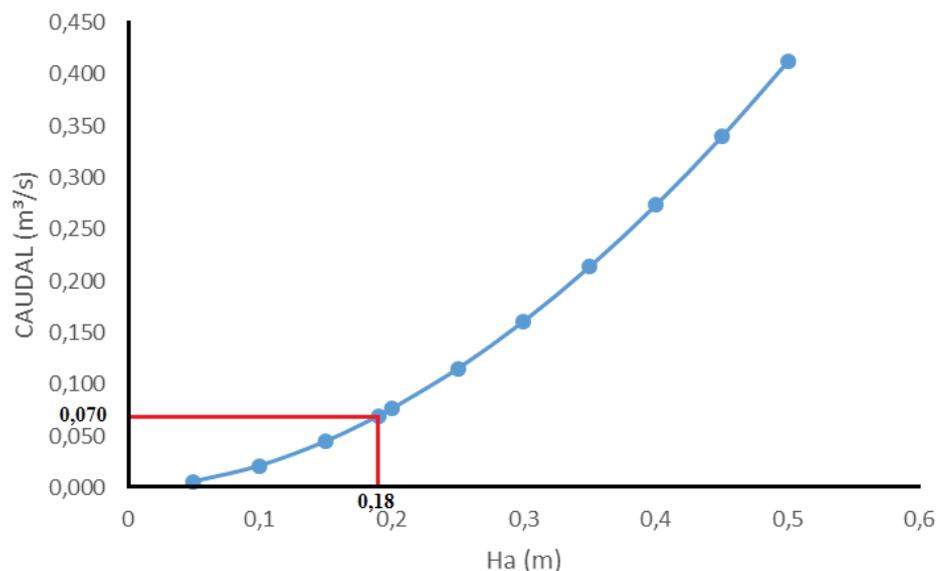


Figura 61. Curva de caudales según aforador sin cuello

### 3.2.6. Cálculos de persistencias al 75 % y 95 %

Para el presente caso práctico se realizó el cálculo de persistencias de los ríos Tumilaca, Torata y Huaracane, al 75 % y 95 % por los métodos:

- Método Weibull que es el cálculo de la persistencia mediante interpolación con valores adyacentes, para el cálculo del método Weibull se utilizó según (Sihuacollo, 2018).
- Uso del software excel mediante la función percentil.

Los cálculos de persistencias se han trabajado con los datos brindados de descargas medias mensuales por el ALA Moquegua, con registros históricos desde el año 1956 hasta el año 2017.

#### 3.2.6.1. Cálculo de persistencias en río Tumilaca

Para el cálculo de persistencias al 75 % y 95 % del río Tumilaca se han trabajado con los registros históricos que fueron solicitados a el ALA Moquegua, el mismo

que se encuentra en el apéndice A del presente informe. En la tabla A 1 se muestra la serie original de los registros históricos de descargas medias mensuales del río Tumilaca en el punto de aforo estación Chivaya expresado en m<sup>3</sup>/s.

Se utilizó el método Weibull que utiliza la ecuación N°4 que es la ecuación propuesta por Weibull el año 1939.

$$P = \frac{m}{N + 1}$$

Este procedimiento de cálculo consiste en agrupar los datos históricos por meses del registro histórico de varios años (en este caso 62 años de registro histórico) de mayor a menor por columnas; los datos para m son el número de registros históricos de uno hasta m (en este caso de uno hasta 62 describiéndolos por número de orden); los datos para N son el número total de años (para este caso el número total N es 62).

En la tabla N° 30 se muestra los resultados obtenidos por el método Weibull o método de interpolación para caudales medios mensuales al 75 %, en este caso la persistencia o probabilidad de ocurrencia según los cálculos NO ha dado exactamente los caudales al 75 % de persistencia por lo que para hallar los caudales se tuvo que calcular interpolando los caudales adyacentes para hallar el caudal al 75 % de persistencia, el cálculo se describe a continuación:

**Tabla 30**  
*Cálculo de persistencias al 75 % río Tumilaca (Weibull)*

P=m/N+1	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
74,60	0,644	1,384	1,135	0,725	0,581	0,564	0,526	0,523	0,496	0,433	0,416	0,484	0,739
<b>75,00</b>	<b>0,642</b>	<b>1,377</b>	<b>1,117</b>	<b>0,716</b>	<b>0,581</b>	<b>0,551</b>	<b>0,517</b>	<b>0,523</b>	<b>0,495</b>	<b>0,431</b>	<b>0,416</b>	<b>0,483</b>	<b>0,736</b>
76,19	0,635	1,357	1,064	0,689	0,581	0,510	0,490	0,521	0,490	0,426	0,416	0,479	0,729

De igual forma en la tabla N° 31 se muestra los resultados de los caudales obtenidos por el método Weibull o método de interpolación para caudales medios mensuales al 95 % de persistencia, de igual forma para el cálculo se trabajó calculando la persistencia al 95 % interpolando los caudales adyacentes.

**Tabla 31**  
*Cálculo de persistencias al 95 % río Tumilaca (Weibull)*

P=m/N+1	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
93,65	0,414	0,475	0,688	0,484	0,406	0,337	0,382	0,305	0,358	0,302	0,295	0,343	0,534
<b>95,00</b>	<b>0,393</b>	<b>0,459</b>	<b>0,577</b>	<b>0,483</b>	<b>0,376</b>	<b>0,310</b>	<b>0,340</b>	<b>0,217</b>	<b>0,325</b>	<b>0,296</b>	<b>0,294</b>	<b>0,336</b>	<b>0,506</b>
95,23	0,389	0,456	0,557	0,483	0,371	0,305	0,332	0,201	0,319	0,295	0,294	0,335	0,501

En la tabla A 2 en el apéndice A se muestra los resultados de los caudales obtenidos por el método Weibull con el cálculo de persistencias al 75 % y 95 % insertados en la tabla de registros históricos para una mejor interpretación de los caudales obtenidos por interpolación y su ubicación en la tabla.

En la figura N° 62 se muestra los caudales medios mensuales con persistencia al 75 % y 95 %, en la figura se muestra que el caudal al 75 % de persistencia su mes más bajo es en noviembre con un caudal de 0,416 m<sup>3</sup>/s que vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para proyectos de irrigaciones que estén por debajo del caudal de persistencia al 75 %.

Así mismo para el 95 % de persistencia que es recomendado para el diseño de abastecimientos de agua potable y centrales hidroeléctricas, el caudal más bajo se registra en el mes de agosto con 0,217 m<sup>3</sup>/s que también vendría a ser la oferta

con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para demanda de caudal que se encuentren por debajo de la persistencia al 95 %.

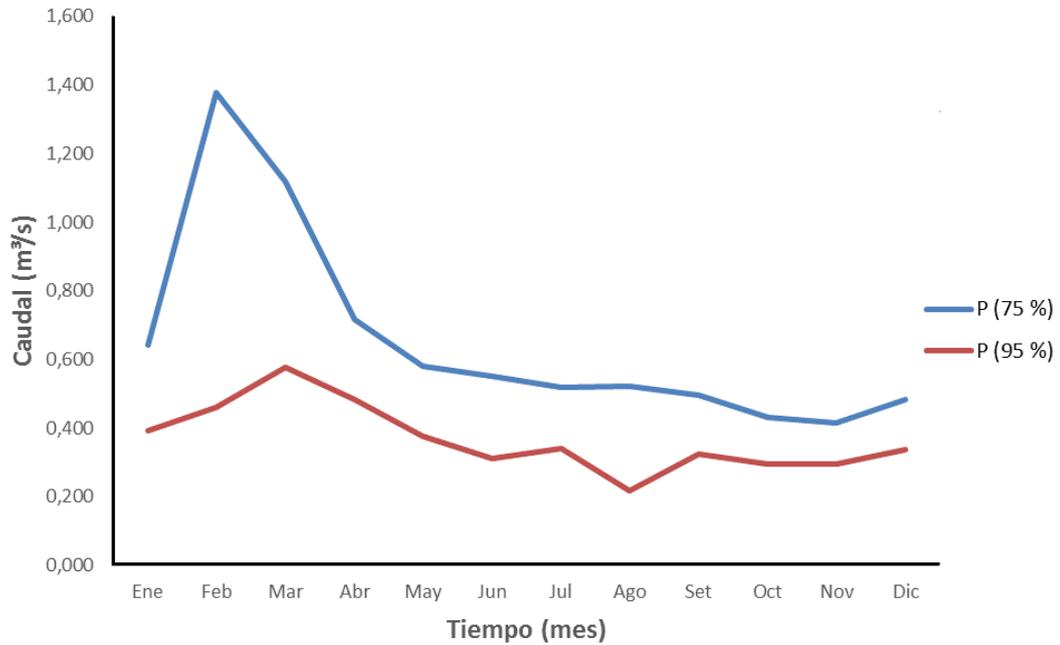


Figura 62. Cálculo de persistencias al 75 % y 95 % río Tumilaca (Weibull)

En la tabla N° 32 se muestra los resultados obtenidos utilizando el software de ofimática excel con la función percentil al 75 %.

**Tabla 32**  
*Cálculo de persistencias al 75 % río Tumilaca (percentil)*

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P 75 %	0,647	1,394	1,138	0,725	0,582	0,566	0,529	0,527	0,497	0,436	0,422	0,485

De igual forma en la tabla N° 33 se muestra los resultados obtenidos utilizando el software de ofimática excel con la función percentil al 95 %.

**Tabla 33**  
*Cálculo de persistencias al 95 % río Tumilaca (percentil)*

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<b>P 95 %</b>	0,415	0,477	0,689	0,485	0,407	0,340	0,383	0,308	0,358	0,303	0,298	0,344

En la tabla A 3 en el apéndice A se muestra los resultados de los caudales obtenidos usando el software de ofimática excel utilizando la función percentil para los caudales medios mensuales al 75 % y 95 % de persistencia del río Tumilaca.

En la figura N° 63 se muestra los caudales medios mensuales con persistencia al 75 % y 95 %, en la figura se muestra que el caudal al 75 % de persistencia su mes más bajo es en noviembre con un caudal de 0,422 m<sup>3</sup>/s que vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para proyectos de irrigaciones que estén por debajo del caudal de persistencia al 75 %.

Así mismo para el 95 % de persistencia que es recomendado para el diseño de abastecimientos de agua potable y centrales hidroeléctricas, el caudal más bajo se registra en el mes de noviembre con 0,298 m<sup>3</sup>/s que también vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para demanda de caudal que se encuentren por debajo de la persistencia al 95 %.

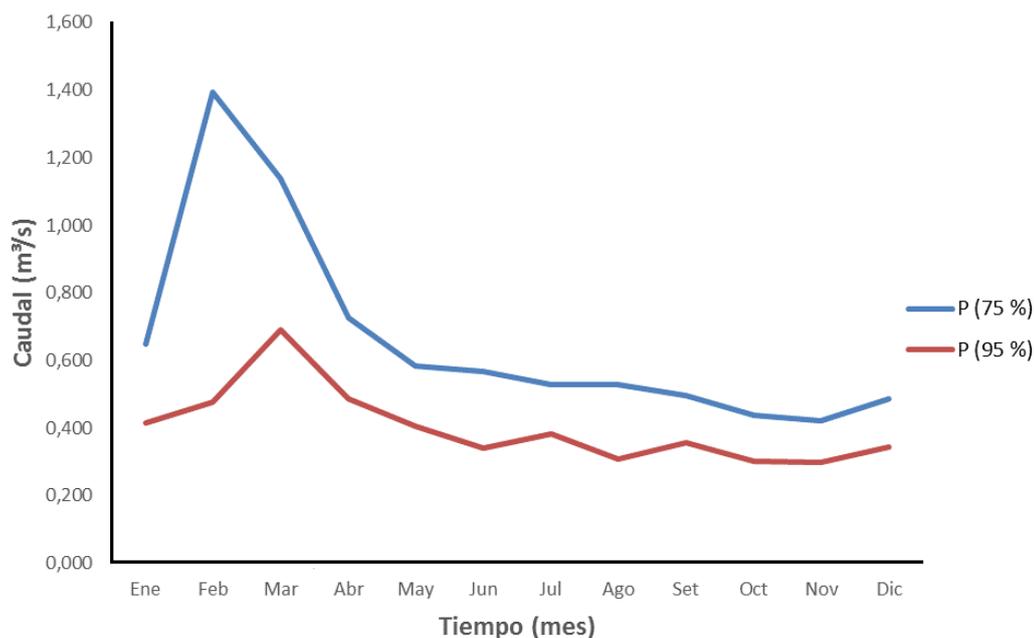


Figura 63. Cálculo de persistencias al 75 % y 95 % río Tumulaca (percentil)

### 3.2.6.2. Cálculo de persistencias en el río Torata

Para el cálculo de persistencias al 75 % y 95 % del río Tumulaca se han trabajado con los registros históricos que fueron solicitados al ALA Moquegua, el mismo que se encuentra en el apéndice del presente informe, la tabla A 4 en el apéndice A se muestra los registros históricos de descargas medias mensuales del río Torata en el punto de aforo estación Ichupampa expresado en m<sup>3</sup>/s.

Se utilizó el método Weibull que utiliza la ecuación N°4 que es la ecuación propuesta por Weibull el año 1 939.

$$P = \frac{m}{N + 1}$$

Este procedimiento de cálculo consiste en agrupar los datos históricos por meses del registro histórico de varios años (en este caso 62 años de registro histórico) de mayor a menor por columnas; los datos para m son el número de registros históricos de uno hasta m (en este caso de uno hasta 62 describiéndolos por número de orden); los datos para N son el número total de años (para este caso el número total N es 62).

En la tabla N° 34 se muestra los resultados obtenidos por el método Weibull o método de interpolación para caudales medios mensuales al 75 %, en este caso la persistencia o probabilidad de ocurrencia según los cálculos NO ha dado exactamente los caudales al 75 % de persistencia por lo que para hallar los caudales se tuvo que calcular interpolando los caudales adyacentes para hallar el caudal al 75 % de persistencia, el cálculo se describe a continuación:

**Tabla 34**  
*Cálculo de persistencias al 75 % río Torata (Weibull)*

P=m/N+1	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
74,60	0,529	0,747	0,808	0,525	0,431	0,450	0,432	0,443	0,395	0,372	0,363	0,390	0,577
<b>75,00</b>	<b>0,526</b>	<b>0,730</b>	<b>0,797</b>	<b>0,520</b>	<b>0,427</b>	<b>0,447</b>	<b>0,432</b>	<b>0,435</b>	<b>0,392</b>	<b>0,370</b>	<b>0,359</b>	<b>0,390</b>	<b>0,577</b>
76,19	0,517	0,680	0,763	0,503	0,415	0,438	0,430	0,410	0,384	0,363	0,346	0,388	0,577

De igual forma en la tabla N° 35 se muestra los resultados de los caudales obtenidos por el método Weibull o método de interpolación para caudales medios mensuales al 95 % de persistencia, de igual forma para el cálculo se trabajó calculando la persistencia al 95 % interpolando los caudales adyacentes.

**Tabla 35**  
*Cálculo de persistencias al 95 % río Torata (Weibull)*

P=m/N+1	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
93,65	0,388	0,397	0,436	0,370	0,275	0,312	0,296	0,304	0,302	0,287	0,268	0,302	0,394
<b>95,00</b>	<b>0,317</b>	<b>0,391</b>	<b>0,371</b>	<b>0,364</b>	<b>0,229</b>	<b>0,306</b>	<b>0,288</b>	<b>0,284</b>	<b>0,297</b>	<b>0,273</b>	<b>0,237</b>	<b>0,300</b>	<b>0,389</b>
95,24	0,305	0,390	0,360	0,363	0,221	0,305	0,286	0,280	0,296	0,271	0,231	0,300	0,389

En la tabla A 5 en el apéndice A se muestra los resultados de los caudales obtenidos por el método Weibull con el cálculo de persistencias al 75 % y 95 % insertados en la tabla de registros históricos para una mejor interpretación de los caudales obtenidos por interpolación y su ubicación en la tabla.

En la figura N° 64 se muestra los caudales medios mensuales con persistencia al 75 % y 95 %, en la figura se muestra que el caudal al 75 % de persistencia su mes más bajo es en noviembre con un caudal de 0,359 m<sup>3</sup>/s que vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para proyectos de irrigaciones que estén por debajo del caudal de persistencia al 75 %.

Así mismo para el 95 % de persistencia que es recomendado para el diseño de abastecimientos de agua potable y centrales hidroeléctricas, el caudal más bajo se registra en el mes de noviembre con 0,237 m<sup>3</sup>/s que también vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para demanda de caudal que se encuentren por debajo de la persistencia al 95 %.

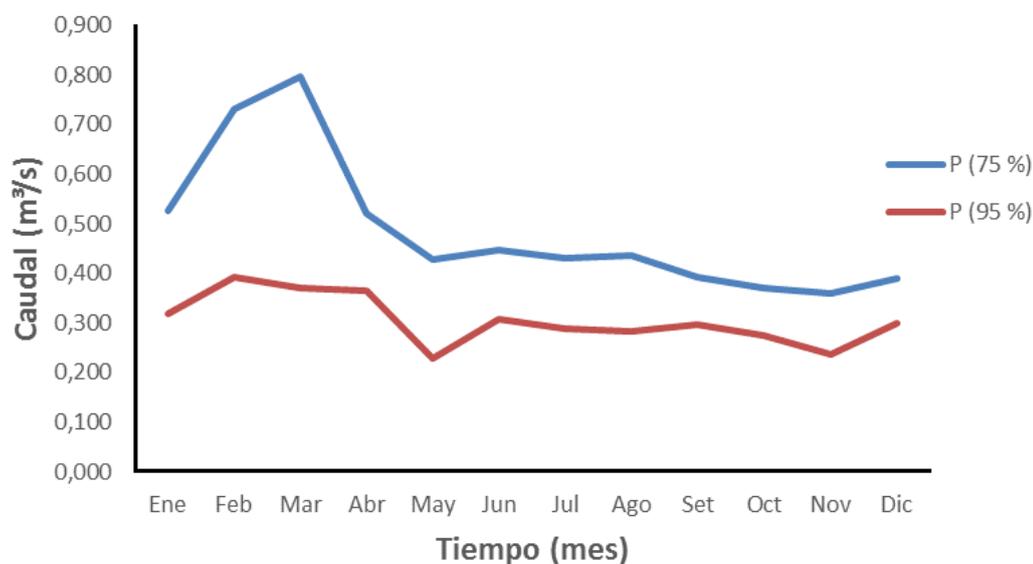


Figura 64. Cálculo de persistencia al 75 % y 95 % río Torata (Weibull)

En la tabla N° 36 se muestra los resultados obtenidos utilizando el software de ofimática excel con la función percentil al 75 %.

**Tabla 36**

*Cálculo de persistencias al 75 % río Torata (percentil)*

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<b>P 75 %</b>	0,529	0,787	0,809	0,527	0,435	0,452	0,437	0,446	0,398	0,372	0,365	0,395

De igual forma en la tabla N° 37 se muestra los resultados obtenidos utilizando el software de ofimática excel con la función percentil al 95 %.

**Tabla 37**

*Cálculo de persistencias al 95 % río Torata (percentil)*

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<b>P 95 %</b>	0,389	0,398	0,437	0,371	0,278	0,314	0,299	0,306	0,302	0,288	0,269	0,302

En la tabla A 6 en el apéndice A se muestra los resultados de los caudales obtenidos usando el software de ofimática excel utilizando la función percentil para los caudales medios mensuales al 75 % y 95 % de persistencia del río Torata.

En la figura N° 65 se muestra los caudales medios mensuales con persistencia al 75 % y 95 %, en la figura se muestra que el caudal al 75 % de persistencia su mes más bajo es en noviembre con un caudal de 0,365 m<sup>3</sup>/s que vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para proyectos de irrigaciones que estén por debajo del caudal de persistencia al 75 %.

Así mismo para el 95 % de persistencia que es recomendado para el diseño de abastecimientos de agua potable y centrales hidroeléctricas, el caudal más bajo se registra en el mes de noviembre con 0,269 m<sup>3</sup>/s que también vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para demanda de caudal que se encuentren por debajo de la persistencia al 95 %.

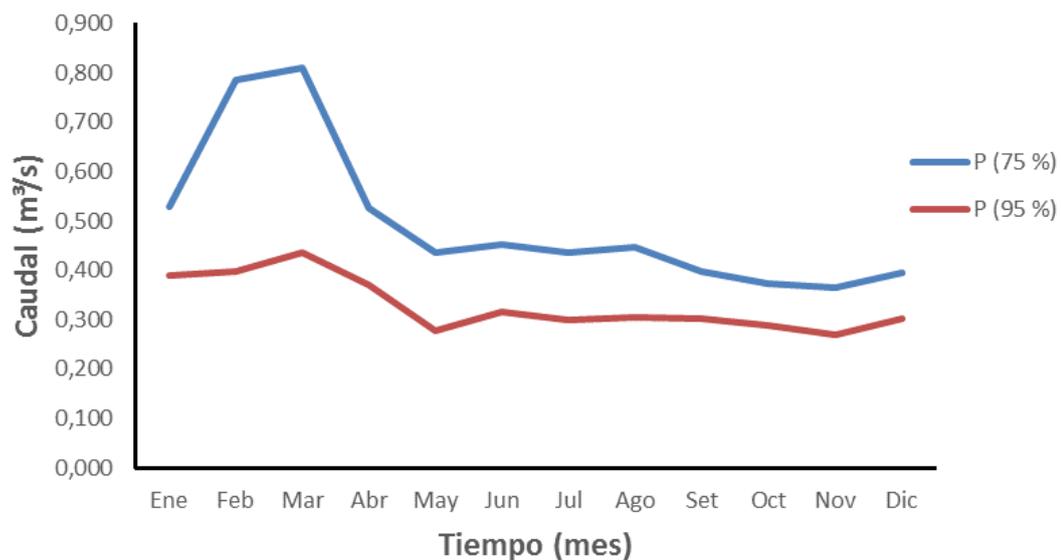


Figura 65. Cálculo de persistencia al 75 % y 95 % río Torata (percentil)

### **3.2.6.3. Cálculo de persistencias en río Huaracane**

Para el cálculo de persistencias al 75 % y 95 % del río Huaracane se han trabajado con los registros históricos que fueron solicitados al ALA Moquegua, el mismo que se encuentra en el apéndice del presente informe, la tabla A 7 se muestra los registros históricos de descargas medias mensuales del río Huaracane en el punto de aforo estación Samatelo expresado en m<sup>3</sup>/s.

Se utilizó el método Weibull que utiliza la ecuación N<sup>o</sup>4 que es la ecuación propuesta por Weibull en el año 1939.

$$P = \frac{m}{N + 1}$$

Este procedimiento de cálculo consiste en agrupar los datos históricos por meses del registro histórico de varios años (en este caso 62 años de registro histórico) de mayor a menor por columnas; los datos para m son el número de registros históricos de uno hasta m (en este caso de uno hasta 62 describiéndolos por número de orden); los datos para N son el número total de años (para este caso el número total N es 62).

En la tabla N<sup>o</sup> 38 se muestra los resultados obtenidos por el método Weibull o método de interpolación para caudales medios mensuales al 75 %, en este caso la persistencia o probabilidad de ocurrencia según los cálculos NO ha dado exactamente los caudales al 75 % de persistencia por lo que para hallar los caudales se tuvo que calcular interpolando los caudales adyacentes para hallar el caudal al 75 % de persistencia, el cálculo se describe a continuación:

**Tabla 38**  
*Cálculo de persistencias al 75 % río Huaracane (Weibull)*

P=m/N+1	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
74,60	0,170	0,229	0,202	0,139	0,120	0,120	0,118	0,112	0,112	0,115	0,116	0,117	0,161
<b>75,00</b>	<b>0,168</b>	<b>0,229</b>	<b>0,202</b>	<b>0,138</b>	<b>0,120</b>	<b>0,120</b>	<b>0,118</b>	<b>0,112</b>	<b>0,111</b>	<b>0,115</b>	<b>0,115</b>	<b>0,116</b>	<b>0,161</b>
76,19	0,163	0,227	0,201	0,135	0,119	0,120	0,117	0,110	0,109	0,114	0,112	0,113	0,160

De igual forma en la tabla N° 39 se muestra los resultados de los caudales obtenidos por el método Weibull o método de interpolación para caudales medios mensuales al 95 % de persistencia, de igual forma para el cálculo se trabajó calculando la persistencia al 95 % interpolando los caudales adyacentes.

**Tabla 39**  
*Cálculo de persistencias al 95 % río Huaracane (Weibull)*

P=m/N+1	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
93,65	0,111	0,102	0,120	0,101	0,089	0,093	0,078	0,085	0,075	0,074	0,073	0,081	0,110
<b>95,00</b>	<b>0,110</b>	<b>0,099</b>	<b>0,115</b>	<b>0,100</b>	<b>0,073</b>	<b>0,092</b>	<b>0,075</b>	<b>0,077</b>	<b>0,075</b>	<b>0,071</b>	<b>0,073</b>	<b>0,079</b>	<b>0,109</b>
95,24	0,110	0,099	0,114	0,100	0,070	0,092	0,074	0,076	0,075	0,071	0,073	0,079	0,108

En la tabla A 8 se muestra los resultados de los caudales obtenidos por el método Weibull con el cálculo de persistencias al 75 % y 95 % insertados en la tabla de registros históricos para una mejor interpretación de los caudales obtenidos por interpolación y su ubicación en la tabla.

En la figura N° 66 se muestra los caudales medios mensuales con persistencia al 75 % y 95 %, en la figura se muestra que el caudal al 75 % de persistencia su mes más bajo es en setiembre con un caudal de 0,111 m<sup>3</sup>/s que vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para proyectos de irrigaciones que estén por debajo del caudal de persistencia al 75 %.

Así mismo para el 95 % de persistencia que es recomendado para el diseño de abastecimientos de agua potable y centrales hidroeléctricas, el caudal más bajo se registra en el mes de octubre con 0,071 m<sup>3</sup>/s que también vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para demanda de caudal que se encuentren por debajo de la persistencia al 95 %.

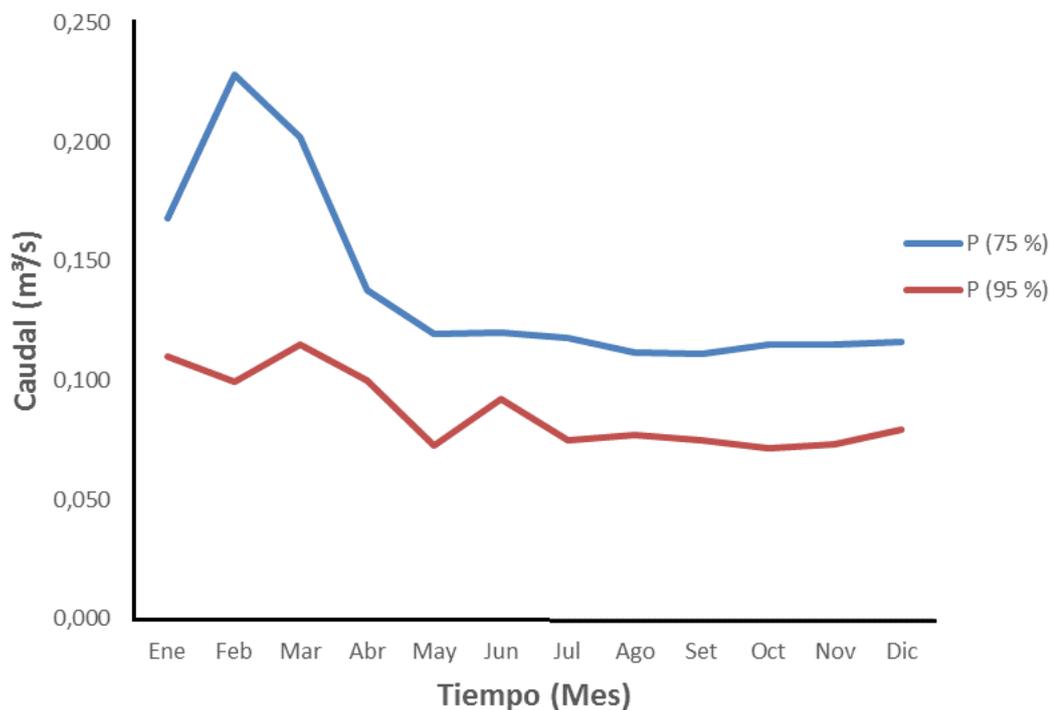


Figura 66. Cálculo de persistencia al 75 % y 95 % río Huaracane (Weibull)

En la tabla N° 40 se muestra los resultados obtenidos utilizando el software de ofimática excel con la función percentil al 75 %.

**Tabla 40***Cálculo de persistencias al 75 % río Huaracane (percentil)*

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P 75 %	0,173	0,230	0,204	0,140	0,121	0,120	0,119	0,112	0,113	0,116	0,117	0,117

De igual forma en la tabla N° 41 se muestra los resultados obtenidos utilizando el software de ofimática excel con la función percentil al 95 %.

**Tabla 41***Cálculo de persistencias al 95 % río Huaracane (percentil)*

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P 95 %	0,111	0,102	0,120	0,101	0,089	0,093	0,078	0,085	0,075	0,074	0,073	0,081

En la tabla A 9 se muestra los resultados de los caudales obtenidos usando el software de ofimática excel utilizando la función percentil para los caudales medios mensuales al 75 % y 95 % de persistencia del río Huaracane, los resultados se muestran a continuación:

En la figura N° 67 se muestra los caudales medios mensuales con persistencia al 75 % y 95 %, en la figura se muestra que el caudal al 75 % de persistencia su mes más bajo es en agosto con un caudal de 0,112 m<sup>3</sup>/s que vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para proyectos de irrigaciones que estén por debajo del caudal de persistencia al 75 %.

Así mismo para el 95 % de persistencia que es recomendado para el diseño de abastecimientos de agua potable y centrales hidroeléctricas, el caudal más bajo

se registra en el mes de noviembre con 0,073 m<sup>3</sup>/s que también vendría a ser la oferta con que se cuenta en la cuenca, estando en la capacidad de suministrar caudales para demanda de caudal que se encuentren por debajo de la persistencia al 95 %.

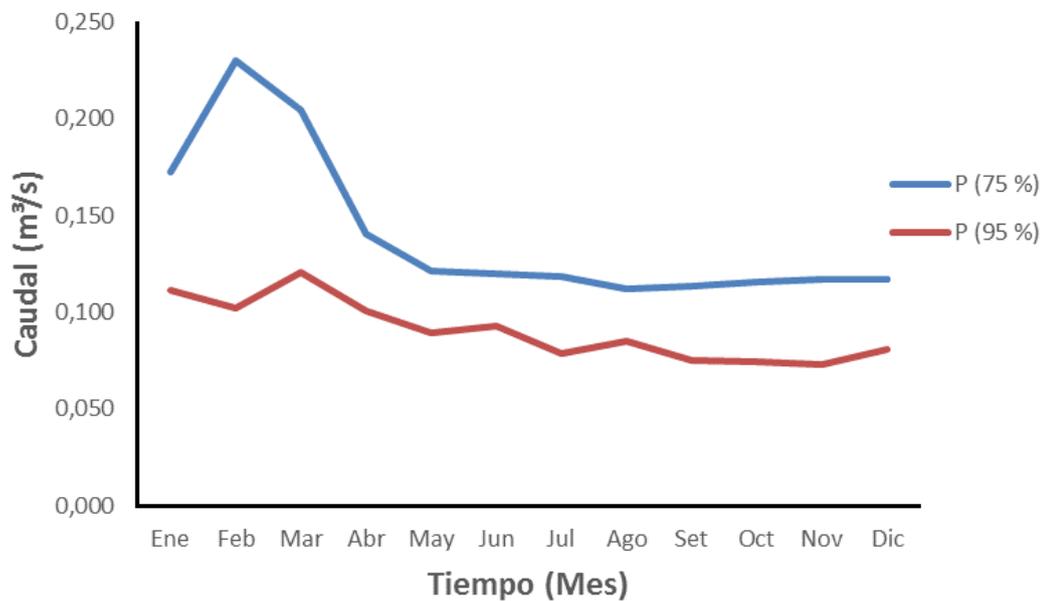


Figura 67. Cálculos de persistencia al 75 % y 95 % río Huaracane (percentil)

#### 3.2.6.4. Balance hídrico de la cuenca del río Moquegua

En este ítem describiremos el balance hídrico de la cuenca del río Moquegua y la importancia del cálculo de las persistencias al 75 % con la finalidad de operar las entradas la oferta y las salidas, la demanda, y nos permite administrar el agua para diferentes meses del año para diferentes años, el uso de agua puede ser para riego agrario o uso poblacional con el agua potable en el departamento de Moquegua.

“El balance hídrico es la relación existente entre la totalidad de los recursos hídricos que entran a un sistema y la totalidad de recursos que salen del mismo sistema en un cierto período de tiempo” (Pérez y Merino, 2016).

En este caso un sistema hídrico puede ser una laguna, un río, una represa. Si tomamos el caso de la cuenca del río Moquegua las entradas de los recursos hídricos es a través de sus ríos aportantes a lo largo de toda la cuenca, así como las lluvias, el aporte de agua subterránea y las salidas vendría a ser el agua que se utilizan para riego agrario, consumo poblacional, evaporación, etc.

La cuenca del río Moquegua se forma por los aportes de tres ríos principales, el río Huaracane, el río Torata y el río Tumulaca que se unen a la altura de la ciudad de Moquegua. Desde su origen en la parte alta hasta su desembocadura en el mar, el río recorre aproximadamente 69 Km.

En la cuenca del río Moquegua en años anteriores el agua fue muy escasa, e irregular por lo reducido de su cuenca húmeda, por esta razón se construyó en la parte alta del río Vizcachas el embalse Pasto Grande (200 millones de metros cúbicos de capacidad útil), aguas que son derivadas al río Moquegua.

La gestión de agua en la cuenca está organizada por:

- ALA Moquegua
- Junta de usuarios de Torata
- Junta de usuarios de Moquegua
- PERPG

Su consumo está destinado para:

- Poblacional
- Agrario
- Minero
- Industrial

La cuenca del río Moquegua es una cuenca seca, para su afianzamiento se necesita de los afluentes de la cuenca del Alto Tambo.

En la figura N° 68 se muestra el mapa hídrico de la región Moquegua donde se muestra la cuenca del río Moquegua, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

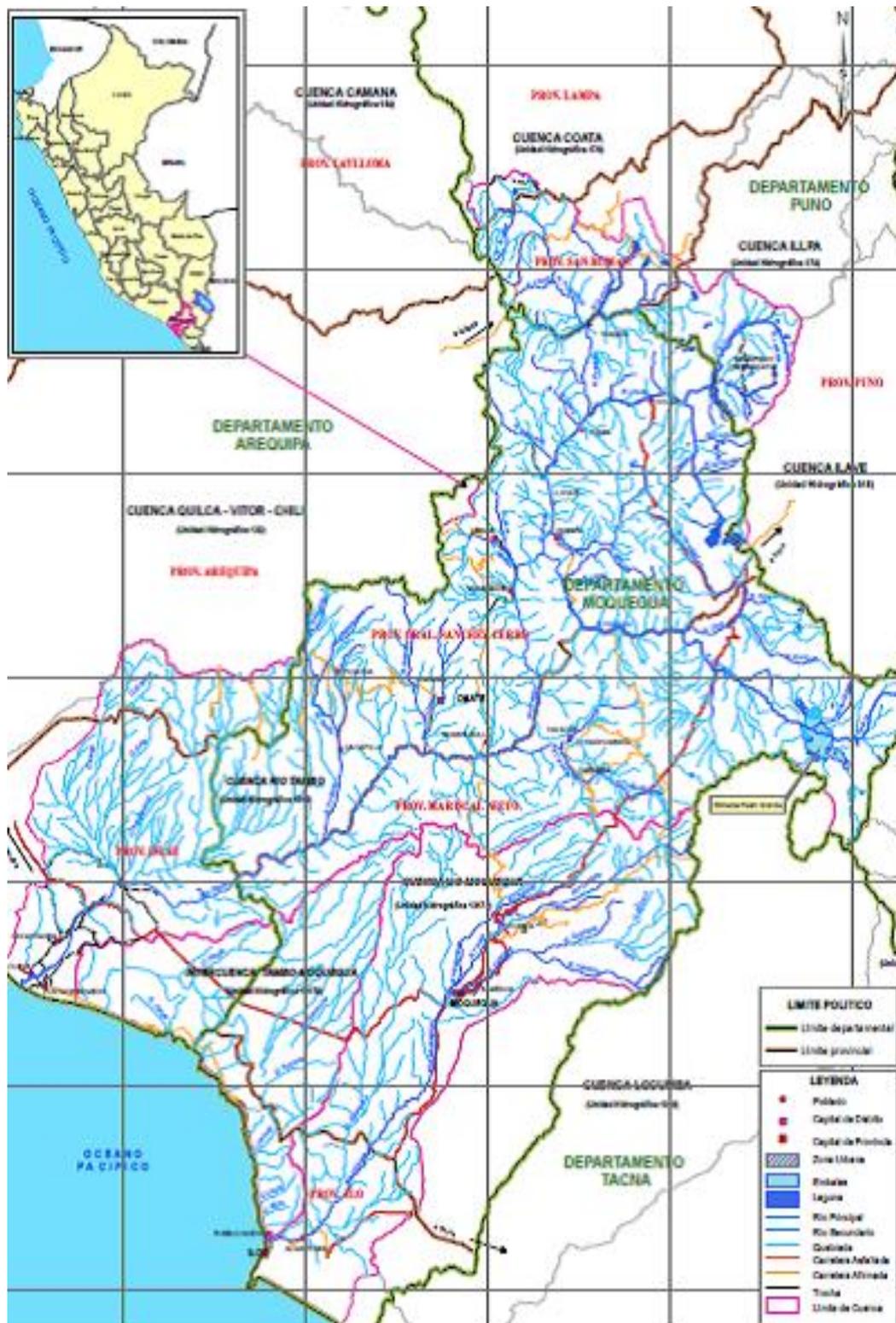


Figura 68. Mapa hídrico de la región Moquegua  
Fuente: INEI, 2012

En la figura N° 69 se muestra el diagrama hídrico del PERPG, según la Gerencia de Proyectos y Desarrollo Agrícola del Proyecto Especial Regional Pasto Grande (GEPRODA - PERPG).

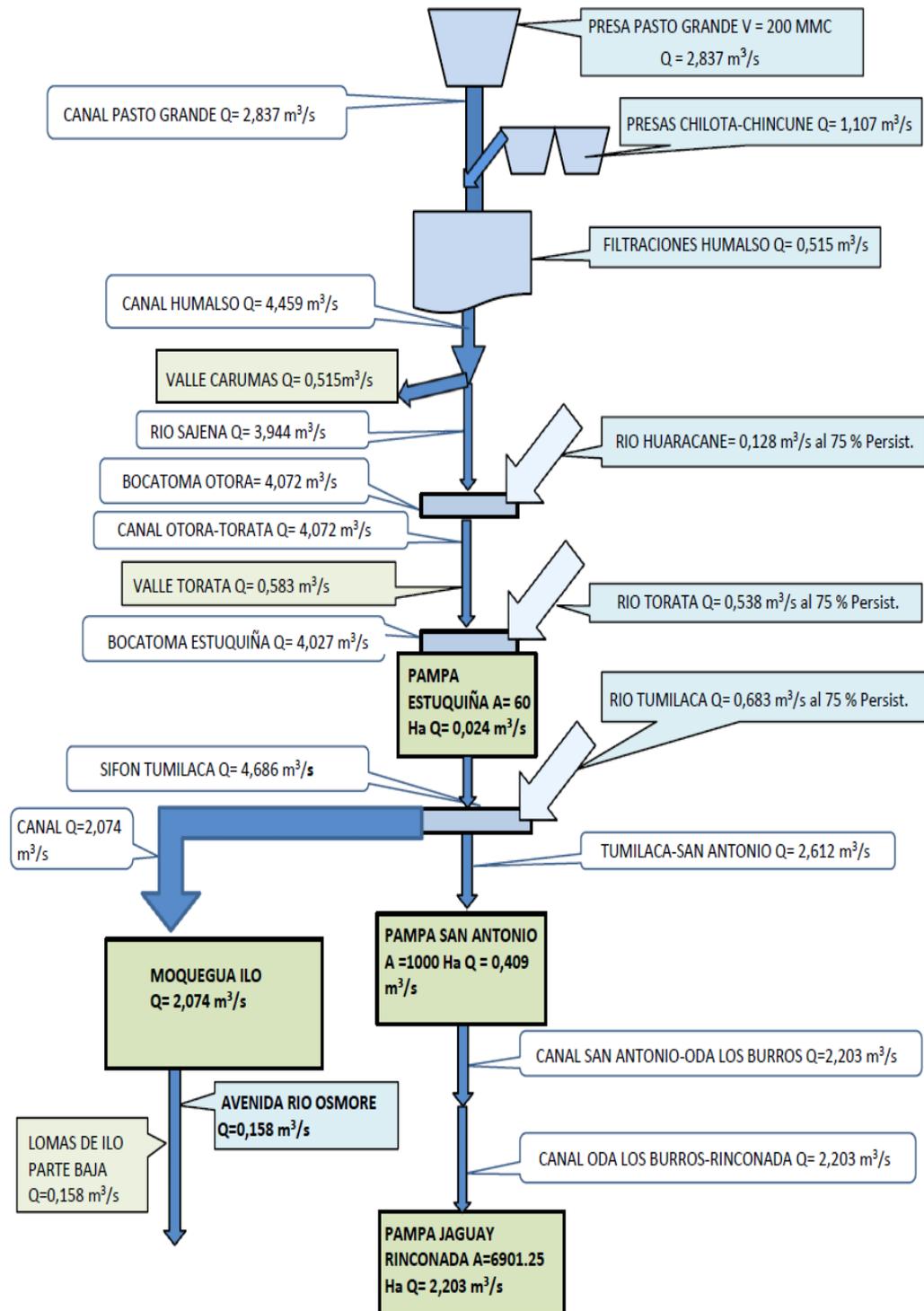


Figura 69. Diagrama hídrico PERPG  
Fuente: GEPRODA-PERPG, 2007

En la figura N° 70 se muestra el diagrama topológico del sistema regulado para la Pampa Jaguay y Rinconada, según GEPRODA - PERPG.

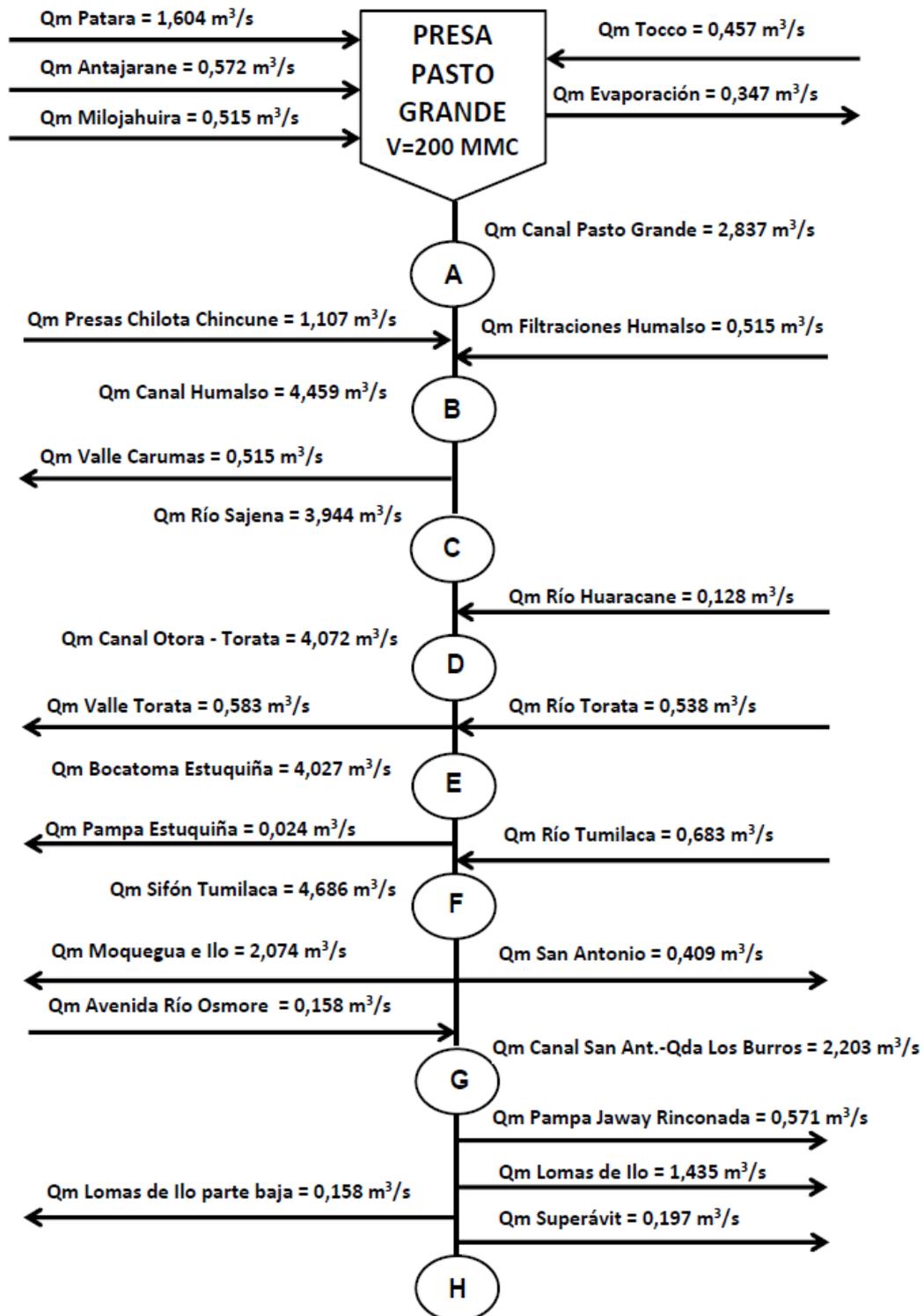


Figura 70. Diagrama topológico pampa Jaguay y Rinconada  
Fuente: GEPRODA-PERPG, 2007

En las figuras N° 69 y N° 70 la finalidad es visualizar las entradas y salidas de los caudales de entradas y salidas del PERPG.

En la tabla N° 42 se muestra las fuentes de agua con que cuenta el río Moquegua y en los ríos principales se toman los aportes de los ríos con una persistencia al 75 %.

**Tabla 42**  
*Fuentes de agua de la cuenca del río Moquegua*

Descripción	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (hm <sup>3</sup> )
1. Río Tumilaca (75 % persistencia)	0,680	21,446
2. Río Torata (75 % persistencia)	0,534	16,844
3. Río Huaracane (75 % persistencia)	0,126	3,988
4. Manantiales valle Moquegua	0,360	11,353
5. Aguas subterráneas acuíferos Moquegua	0,250	7,884
6. Aguas subterráneas acuíferos Ilo	0,150	4,730
7. Río Vizcachas (regulado en embalse Pasto Grande)	2,161	68,156
8. Río Chilota (75 % persistencia)	0,887	27,985
9. Río Chincune (75 % persistencia)	0,216	6,801
<b>Total</b>	<b>5,365</b>	<b>169,187</b>

Fuente: PERPG, 2008

En la tabla N° 43 se muestra los usos de agua de la región Moquegua.

**Tabla 43**  
*Usos de agua en la región Moquegua*

Descripción	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (hm <sup>3</sup> )
1. Uso poblacional Torata, Samegua, Moquegua e Ilo, año 2 041	0,748	23,593
2. Mejoramiento valle de Torata (1 224.5 ha)	0,583	18,370
3. Mejoramiento valle de Moquegua (2 914.5 ha)	1,386	43,694
4. Mejoramiento valle de Ilo (401.5 ha)	0,124	3,910
5. Ampliación pampa Estuquiña (60 ha)	0,019	0,601
6. Ampliación pampa San Antonio (828 ha)	0,263	8,288
7. Ampliación lote "T"-San Antonio (22 ha).	0,007	0,220
8. Ampliación anexo A-San Antonio (150 ha).	0,048	1,501
9. Ampliación pampa Jaguay Rinconada (1 800 ha)	0,571	18,017
10. Ampliación lomas de Ilo (5 000 ha)	1,616	50,976
<b>Total</b>	<b>5,364</b>	<b>169,171</b>

Fuente: PERPG, 2008

En la tabla N° 44 se muestra el balance hídrico de la cuenca del río Moquegua.

**Tabla 44**  
*Balance hídrico de la cuenca del río Moquegua*

Descripción	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (hm <sup>3</sup> )
Fuentes de agua	5,365	169,187
Usos de agua	5,364	169,171
<b>Balance hídrico</b>	0,001	0,016

Fuente: PERPG, 2008

### 3.3. Representación de resultados

En este ítem representaremos los resultados registrados durante la experiencia con cada uno de los diferentes métodos de aforo realizados y los describimos a continuación.

#### 3.3.1. Aforo en río Osmore, estación Chivaya y irrigación San Antonio

En la experiencia realizada en el río Osmore provincia de Ilo, estación Chivaya en Tumilaca y en la tres empresas de irrigación de las pampas de San Antonio en los canales de irrigación Coprocop, Cambrune y Siglo XXI se ha trabajado con el aforo por el método del correntómetro que es un método exacto y confiable de resultados y el método de aforo con flotador en el canal Siglo XXI, a continuación, se muestran los resultados en las visitas de campo. En la tabla N° 45 se muestra los resultados del aforo realizado en el río Osmore en sus estaciones de aforo.

**Tabla 45**  
*Resultados de aforo en el río Osmore*

Puntos de Aforo	Caudal m <sup>3</sup> /s
Estación Espejos	0,287
Estación Canuto	0,328
Canal de Captación EPS Ilo	0,172
Estación Algarrobal	0,050
Estación Boca del Río	0,040

En la tabla N° 46 se muestra el resultado del aforo realizado en la estación Chivaya.

**Tabla 46***Resultado del aforo realizado en la estación Chivaya*

<b>Puntos de Aforo</b>	<b>Caudal m<sup>3</sup>/s</b>
Estación Chivaya	0,403

En la tabla N° 47 se muestra el resultado del aforo realizado en las tres empresas de las irrigaciones de las pampas de San Antonio.

**Tabla 47***Aforo en los canales irrigación San Antonio*

<b>Puntos de Aforo</b>	<b>Q Correntómetro m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Q Flotador m<sup>3</sup>/s</b>
Canal Coprocop	0,118	-
Canal Cambrune	0,082	-
Canal Siglo XXI	0,100	0,095

En el canal Siglo XXI se ha obtenido dos caudales, uno por el método del correntómetro con 0,100 m<sup>3</sup>/s y el segundo por el método de flotador con 0,095 m<sup>3</sup>/s, con resultados casi similares por ambos métodos de medición, siendo más exacto la medición de aforo por el método del correntómetro.

Cuando no se pueda realizar el aforo por el método del correntómetro por diversas razones el método a emplearse sería el método del flotador.

### **3.3.2. Aforo con correntómetro y flotador en EPS Moquegua**

En la experiencia realizada en la EPS Moquegua con los métodos de aforo con correntómetro y flotador tenemos los resultados siguientes, por el método de aforo con correntómetro se ha obtenido el caudal de 0,107 m<sup>3</sup>/s ó 107 L/s y por el método con flotador con 0,102 m<sup>3</sup>/s ó 102 L/s., en el aforo con ambos métodos realizados los resultados son casi similares siendo el método por correntómetro el más exacto; pero cuando no se tenga el equipo correntómetro para realizar el aforo del canal se puede utilizar también el método de aforo por flotador.

En la figura N° 71 se muestra en la EPS Moquegua el día que se realizó el aforo por correntómetro y flotador se visualizó un equipo electrónico que marcaba la salida del caudal de producción de agua potable y registraba un caudal de 109,7 L/s.



Figura 71. Equipo electrónico de medición de aforo en la EPS

En la figura N° 72 se muestra un sensor de medición en la EPS Moquegua, el día que se realizó el aforo por correntómetro y flotador se visualizó un equipo sensor que registraba la lectura de 108 L/s aproximadamente, esto se encuentra a un costado del canal parshall de concreto en el canal de la planta de captación EPS Moquegua.

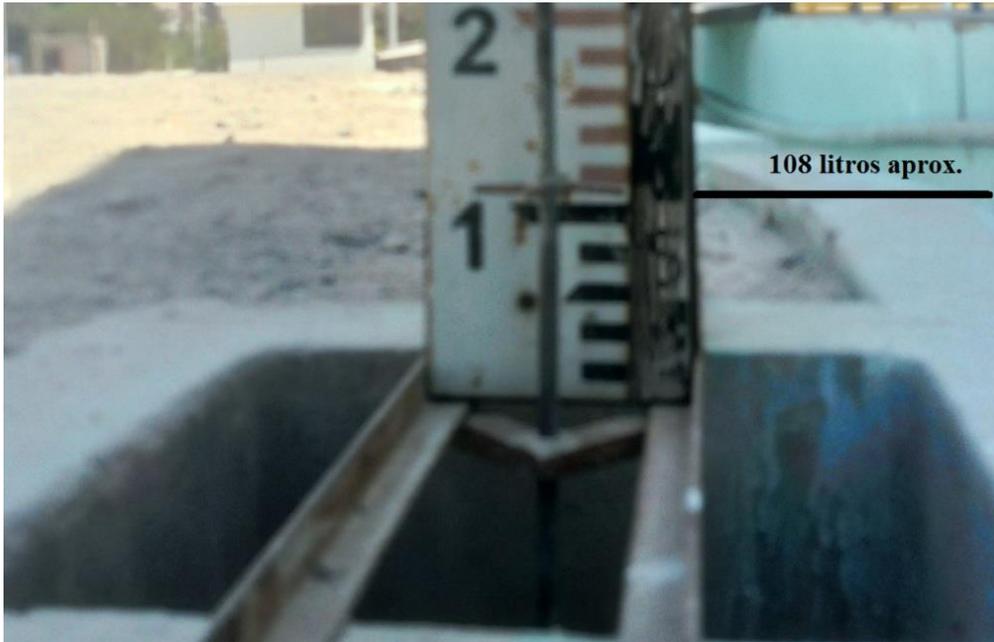


Figura 72. Aparato sensor para medición de caudal

En la tabla N° 48 se muestra la producción de agua potable registrado en caudales L/s en la EPS Moquegua desde octubre de 2016 hasta agosto de 2018.

**Tabla 48**  
*Producción de agua potable en la EPS Moquegua*

Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18
136	133	123	121	134	132	116	103	101	108	113	100	108	100	101	89	82	84	78	76	79	86	85

Fuente: EPS Moquegua

En la figura N° 73 se muestra la gráfica de la producción de agua potable registrado en caudales L/s en la EPS Moquegua desde octubre de 2016 hasta agosto de 2018.

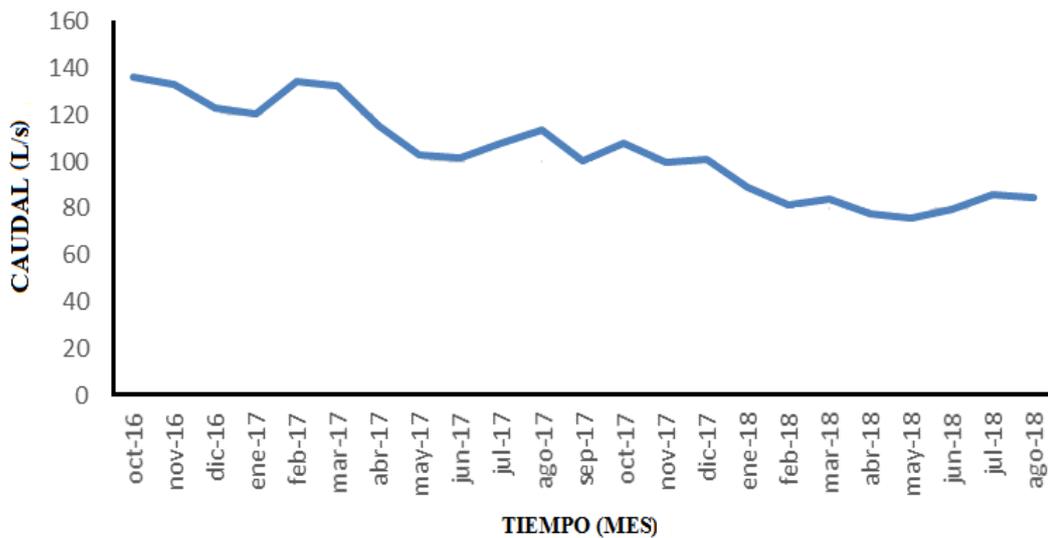


Figura 73. Producción de agua potable

### 3.3.3. Aforo con flotador y aforador sin cuello en río Moquegua

En el caso práctico realizado en el aforo del río Moquegua se realizó los métodos de aforo con aforador sin cuello y método de flotador, en el cual el método de aforador sin cuello realizado se ha solicitado el equipo aforador sin cuello de la Universidad José Carlos Mariátegui y se ha utilizado el procedimiento descrito en la referencia bibliográfica (MINAGRI, 2004) y la aplicación del método del flotador descrito en la referencia bibliográfica (Chamorro, 2011) que hace como referencia y utiliza el factor de corrección de la velocidad de 0,85; en este caso del presente informe el resultado obtenido por el método con flotador es 0,053 m<sup>3</sup>/s ó 53 L/s, y el resultado por el método de aforador sin cuello es 0,070 m<sup>3</sup>/s ó 70 L/s; en este caso se puede utilizar cualquiera de los dos métodos cuando no se tenga el equipo correntómetro para la medición del caudal.

### **3.3.4. Cálculo de las persistencias río Tumilaca, Torata y Huaracane**

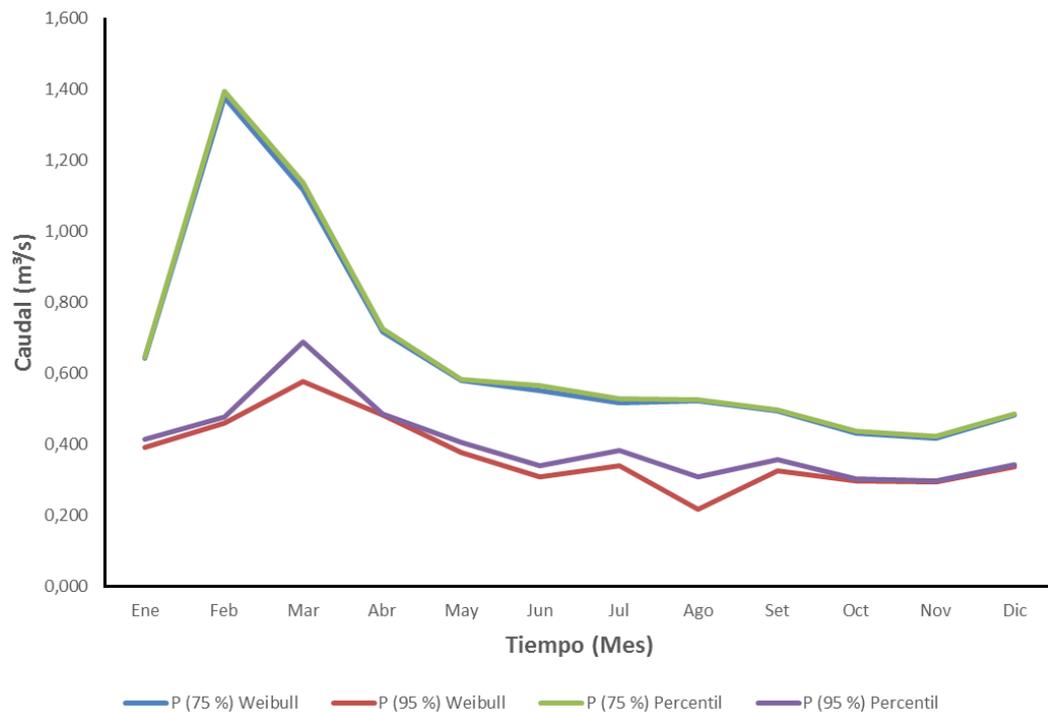
En el caso práctico realizado para obtener el cálculo de las persistencias de los registros históricos de los caudales medios mensuales del río Tumilaca – estación Chivaya, río Torata – estación Ichupampa, río Huaracane – estación Samatelo se puede apreciar los promedios anuales de los registros históricos de 62 años desde el año 1 956 hasta el año 2 017, y el cálculo de las persistencias halladas al 75 % y 95 % según los métodos de Weibull (o método de interpolación) y también por medio de la función percentil del excel en las cuales se obtienen resultados similares y en este informe los resultados son representados en tablas y gráficos para una mejor interpretación y visualización de la experiencia realizada, también mencionar que en la práctica se utiliza la función percentil como es el caso del PERPG y la Autoridad Nacional del Agua ANA por ser un método práctico y sencillo de realizar en el software de ofimática excel.

A continuación, representaremos los resultados de los cálculos de persistencias de los tres ríos Tumilaca, Torata y Huaracane:

En la tabla N° 49 y figura N° 74 se muestra los caudales medios mensuales con persistencia al 75 % y 95 % de los 02 métodos usados, mediante el método Weibull y el método percentil en los registros de los caudales medios mensuales del río Tumilaca, siendo para el gráfico de la persistencia al 75 % y 95 % casi similares ya que las dos curvas por el método Weibull y método percentil se superponen en el gráfico.

**Tabla 49***Cálculo de persistencias en río Tumulaca*

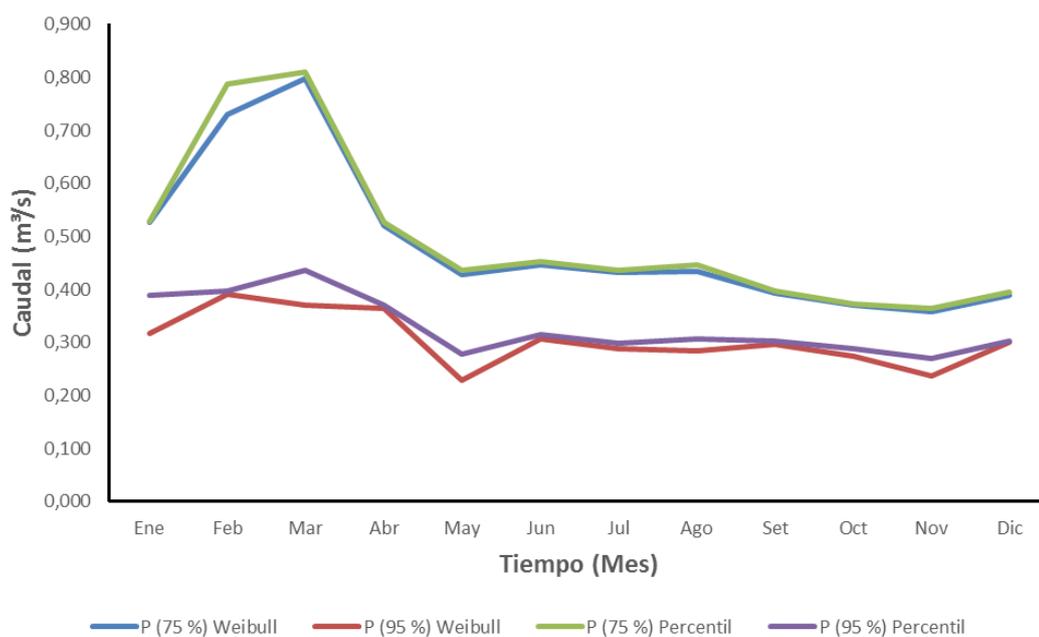
Método	Persistencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Weibull	P 75 %	0,642	1,377	1,117	0,716	0,581	0,551	0,517	0,523	0,495	0,431	0,416	0,483
Percentil	P 75 %	0,647	1,394	1,138	0,725	0,582	0,566	0,529	0,527	0,497	0,436	0,422	0,485
Weibull	P 95 %	0,393	0,459	0,577	0,483	0,376	0,310	0,340	0,217	0,325	0,296	0,294	0,336
Percentil	P 95 %	0,415	0,477	0,689	0,485	0,407	0,340	0,383	0,308	0,358	0,303	0,298	0,344

*Figura 74. Cálculo de persistencias río Tumulaca*

En la tabla N° 50 y figura N° 75 se muestra los caudales medios mensuales con persistencia al 75 % y 95 % de los dos métodos usados, mediante el método Weibull y el método percentil en los registros de los caudales medios mensuales del río Torata, siendo para el gráfico de la persistencia al 75 % y 95 % casi similares ya que las dos curvas por el método Weibull y Método percentil se superponen en el gráfico.

**Tabla 50***Cálculo de persistencias en río Torata*

Método	Persistencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Weibull	P 75 %	0,526	0,730	0,797	0,520	0,427	0,447	0,432	0,435	0,392	0,370	0,359	0,390
Percentil	P 75 %	0,529	0,787	0,809	0,527	0,435	0,452	0,437	0,446	0,398	0,372	0,365	0,395
Weibull	P 95 %	0,317	0,391	0,371	0,364	0,229	0,306	0,288	0,284	0,297	0,273	0,237	0,300
Percentil	P 95 %	0,389	0,398	0,437	0,371	0,278	0,314	0,299	0,306	0,302	0,288	0,269	0,302

*Figura 75. Cálculo de persistencias río Torata*

En la tabla N° 51 y figura N° 76 se muestra los caudales medios mensuales con persistencia al 75 % y 95 % de los dos métodos usados, mediante el método Weibull y el método percentil en los registros de los caudales medios mensuales del río Huaracane, siendo para el gráfico de las persistencia al 75 % casi similares ya que las dos curvas por el método Weibull y método percentil se superponen en el gráfico; en la persistencia al 95 % también las dos curvas son similares, en ambos casos las curvas son similares.

**Tabla 51**

*Cálculo de persistencias en río Huaracane*

Método	Persistencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Weibull	P 75 %	0,168	0,229	0,202	0,138	0,120	0,120	0,118	0,112	0,111	0,115	0,115	0,116
Percentil	P 75 %	0,173	0,230	0,204	0,140	0,121	0,120	0,119	0,112	0,113	0,116	0,117	0,117
Weibull	P 95 %	0,110	0,099	0,115	0,100	0,073	0,092	0,075	0,077	0,075	0,071	0,073	0,079
Percentil	P 95 %	0,111	0,102	0,120	0,101	0,089	0,093	0,078	0,085	0,075	0,074	0,073	0,081

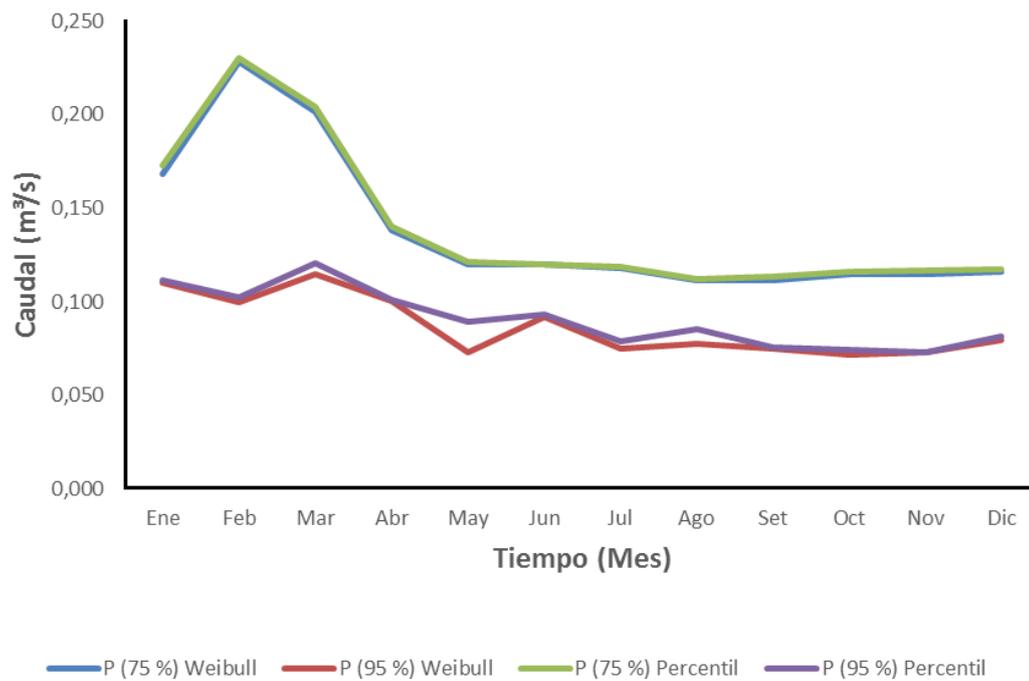


Figura 76. Cálculo de persistencias río Huaracane

Así mismo se ha mostrado las persistencias al 75 % que se usan para el balance hídrico en la cuenca del río Moquegua.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. Conclusiones**

**Primera.** Se concluye que se ha realizado la medición de aforo por el método de correntómetro en el río Osmore en sus diferentes puntos de estación de medición, así también se realizó la medición por correntómetro en la estación Chivaya y en las tres empresas de irrigación de las pampas de San Antonio Coprocop, Cambrune y Siglo XXI; así mismo se ha realizado el método del flotador en el canal Siglo XXI de la empresa de irrigación de San Antonio, en la experiencia realizada se ha logrado concluir que el método de correntómetro es el más usado y más exacto ya que el equipo electrónico correntómetro muestra la velocidad del caudal directamente, así mismo se ha realizado la comparación entre el aforo por el método del correntómetro y flotador en el canal Siglo XXI con resultados casi similares, siendo más exacto la medición del aforo con correntómetro.

**Segunda.** Se concluye que se ha realizado el aforo por el método de correntómetro y flotador en la EPS Moquegua, y se obtienen resultados relativamente similares siendo el aforo por el método con correntómetro el más exacto, se concluye que el aforo por el método del flotador es una buena alternativa cuando no se cuente con el equipo electrónico correntómetro.

**Tercera.** Se concluye que se realizó el aforo del río Moquegua por el método de aforador sin cuello y flotador, se concluye que para realizar el aforo con el aforador sin cuello la medida del caudal se tiene que realizar de la mejor manera posible y el aforo no es tan sencillo, se concluye también que en la experiencia del aforo ha habido fugas de agua, se consiguió obtener el resultado y la aplicación del procedimiento según el manual para obtener los resultados, los mismos que fueron comparados con el método del flotador.

**Cuarta.** Se concluye que se realizó el cálculo de persistencias al 75 % y 95 % de las descargas medias mensuales de los ríos Tumulaca – estación Chivaya, río Torata – estación Ichupamapa, río Huaracane – estación Samatelo, para una serie histórica de los caudales mensuales registrados desde los años 1956 al 2016, se ha realizado el análisis de las persistencias al 75 % y 95 % por los métodos Weibull llamado también método de interpolación y el método del percentil del software de ofimática excel con la función percentil, se han realizado las comparaciones gráficas para evaluar los resultados, se concluye que entre

uno y otro método los resultados son casi similares según las tablas y según los gráficos en algunos puntos las curvas se superponen y se concluye haber mostrado las persistencias al 75 % del balance hídrico de la cuenca del río Moquegua.

#### **4.2. Recomendaciones**

**Primera.** Se recomienda que para realizar el aforo con correntómetro y obtener resultados precisos y exactos el tramo de aforo debe ser estable, flujo uniforme, libre de turbulencias, libre de piedras grandes, libre de agentes extraños que puedan generar inconvenientes en la medición del caudal.

**Segunda.** Se recomienda para realizar el método de aforo por correntómetro en el canal de captación de la EPS se debe dividir el ancho del canal en tres partes iguales y realizar tres mediciones por ancho de sub sección para luego promediar y obtener los resultados esperados, además que para realizar una buena medición el correntómetro debe estar bien calibrado.

**Tercera.** Se recomienda para realizar el aforo con el método de aforador sin cuello realizar la instalación de forma correcta en el tramo de aforo colocando el aforador en el centro con respecto al eje del flujo del río, nivelar el aforador con respecto a la superficie del río, conducir todo el flujo posible para el aforo, evitar las fugas y pérdidas que puedan alterar los resultados de aforo.

**Cuarta.** Se recomienda utilizar para el cálculo de las persistencias el método Weibull y el método de la función percentil del excel, ya que con ambos métodos se obtienen resultados similares y en algunos casos las curvas de caudales se superponen, así también se recomienda administrar el suministro de agua en función al balance hídrico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrau, L. (s.f.). *Ingeniería del riego*. Recuperado de curso de ingeniería del riego - tema cálculo de crecidas: <https://docplayer.es/69404051-De-ingenieria-de-riego.html>
- Barreto, O. (mayo de 2014). *Eco-gestión: Una visión hacia el futuro*. Recuperado de <http://ecogestionvisionfutura.blogspot.com/2014/05/>
- Basán, M. (2008). *Aforadores de corrientes de agua*.
- Bello, M. y Pino, M. (2000). *Ministerio de Agricultura Chile*. Retrieved from Biblioteca INIA Chile: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25635.pdf>
- Blog Ingeniero Civil (s.f.). <http://www.ingenierocivilinfo.com>. Recuperado de blog ingeniero civil: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/aforo-gravimetrico.html>
- Cervantes, E. (12 de setiembre de 2014). *Práctica N° 2 - Curso hidrología general - Métodos de aforo*. Recuperado de métodos de aforo: <https://es.scribd.com/document/239493827/METODOS-DE-AFORO>
- Chamorro, G. (2011). *Guía de Hidrometría - Estimación del caudal por el método de flotadores*. Lima.
- Chereque, W. (s.f.). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima.
- Gerencia de Proyectos y Desarrollo Agrícola - Proyecto Especial Regional Pasto Grande GEPRODA-PERPG. (Noviembre de 2007). *Anexo 2 - Diagramas y esquemas topologicos.doc*. Recuperado de diagrama hídrico y topológico PERPG: <https://es.scribd.com/document/351615742/Anexo-2-Diagramas-y-esquemas-topologicos-doc>

- Hidalgo, L. (2017). *Guía práctica para aforar en canales y cauces naturales, utilizando instrumentación básica y de bajo costo*. Quito.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. (Agosto de 2012). *Mapa ubicación 2 - cuenca río Moquegua*. Recuperado de estudio hidrológico para la determinación del potencial hídrico de las cuencas de los ríos Tambo y Moquegua: <https://es.scribd.com/document/378188390/Mapa-Ubicacion-A2-cuenca-Moquegua7>
- Mejía, E. y Rosas, G. (2016). *Cálculo de la velocidad media y el caudal con base en la velocidad superficial del agua en pequeñas corrientes*. Bogotá.
- MINAGRI. (2004). *Manual programa de entrenamiento en servicio*. Lima.
- Ministerio de Agricultura. (2005). *Manual de Hidrometría*. Recuperado de hidrometría: <https://www.fing.edu.uy/imfia/cursos/hidrometria/material/hidrometria.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2014). *Manual N° 5 Medición de agua*. Lima.
- Ministerio de Agricultura. (2013). *Hidrometría*. Lima.
- Ortega, G. (2014). *Instrucción de medición de caudal Laboratorio de Calidad Ambiental*. Huaraz.
- Pedroza, E. (2001). *Canal Parshall*. México: IMTA.
- Pérez, J. y Merino, M. (2016). *Definición de balance hídrico*. Recuperado de <https://definicion.de/balance-hidrico/>
- Proyecto Especial Regional Pasto Grande PERPG. (2008). *Trabajo 7 - Excel hidrología*. Recuperado de fuentes de agua y usos de agua en la región Moquegua: <https://es.scribd.com/document/377561049/Trabajo-7-Excel-Hidrologia>

Rojas, O. (2006). *Manual básico para medir caudales - bivica - pdf*. Recuperado de <http://www.bivica.org/upload/medir-caudales-manual.pdf>

Sihuacollo, M. (2018). *Cálculo de caudales al 75 % de persistencia río Blanco*.

Recuperado de persistencia al 75 %:

[https://www.academia.edu/28095981/CALCULO\\_DE\\_CAUDALES\\_AL\\_75\\_DE\\_PERSISTENCIA\\_Caudales\\_medios\\_mensuales\\_Rio\\_Blanco\\_m\\_3\\_s\\_ordenados\\_de\\_mayor\\_a\\_menor](https://www.academia.edu/28095981/CALCULO_DE_CAUDALES_AL_75_DE_PERSISTENCIA_Caudales_medios_mensuales_Rio_Blanco_m_3_s_ordenados_de_mayor_a_menor)

Skertchly, L. (1988). *Manual de diseño de estructuras de aforo*. México: IMTA.

Villón, M. (2002). Hidrología. En M. Villón, *Hidrología*. Lima: Editorial Villón.

Vollman, E. (03 de 12 de 2012). *Aforadores sin cuello*. Recuperado de informe N°

028E-1/12 Aforador sin cuello - pdf: <https://www.riohuasco.cl/wp-content/uploads/2014/09/Informe-Huasco-028E-1-12.v3.pdf>