

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Evaluación del Caudal de Agua en el Arroyo La Encantada de Saltillo y Ramos
Arizpe, Coahuila.

Por:

JOSÉ ALEJANDRO COVARRUBIAS CANCINO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

NOVIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Evaluación del Caudal de Agua en el Arroyo La Encantada de Saltillo y Ramos
Arizpe.

Por:

JOSÉ ALEJANDRO COVARRUBIAS CANCINO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

Aprobada por el comité de Asesoría:


Dr. Luis Samaniego Moreno
Asesor Principal


Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho
Coasesor


Dr. Jorge Méndez González
Coasesor


M.C. Aarón Isaín Melendres Álvarez
Coasesor

Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"



Coordinación de la División
de Ingeniería


Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

NOVIEMBRE DE 2017

AGRADECIMIENTOS

A mi **Alma Mater** por haberme dado la oportunidad de ser parte de esta gloriosa y noble institución, y convertirme en Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

Al **Departamento de Riego y Drenaje** por haberme brindado las herramientas necesarias para mi formación académica y ser un lugar donde forje grandes amistades.

De igual manera les agradezco a todos y cada uno de los **Profesores** en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), los cuales me brindaron su conocimiento.

A mis **Asesores** por su apoyo y disponibilidad prestada en el procesamiento, interpretación y revisión de la información necesaria para realizar este trabajo que representa el fin de una etapa más en mi vida profesional.

Al **Dr. Luis Samaniego Moreno** por haber sido un excelente profesor y un buen amigo, por darme la oportunidad de trabajar con usted, por la confianza brindada y por todo el apoyo que me proporciono en la realización de este proyecto de tesis.

Les quisiera agradecer a los Asesores: **Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho, Dr. Jorge Méndez Gonzales y M. C. Aarón Isaín Melendres Álvarez** por su desinteresada colaboración, al realizar las pequeñas y muy grandiosas observaciones en la presente Tesis. (Gracias)

A mis Compañeros de la **Generación CXXII**, por su amistad y apoyo. Les deseo mucho éxito en su vida profesional y personal.

A mis amigos **Arias, Alexis, Jarocho, ady Monzón, pepe nacho, Ramiro, Matehuala, wicho, calucha, Puca y mingo**, sin duda conocerlos resulta ser algo muy grato para mí y han dejado huella, gracias por formar parte de mi vida, por aguantarme, y estar conmigo en momentos felices y tristes. Estoy seguro que seguiremos en contacto.

GRACIAS !!!

“ALMA TERRA MATER”

DEDICATORIAS

A mi madre

Amalia Cancino Reyes

Tu que siempre estuviste al pie del cañón, admiro tu fortaleza y tenacidad espero algún día recompensarte tantas noches de desvelo y las preocupaciones que algún día te hice y te sigo haciendo pasar.

En resumen este pequeño logro se los dedico a usted mi motor en la vida, no tengo palabras para agradecerle todo lo que ha hecho por mí, porque a pesar de las adversidades de la vida nunca me faltó nada, porque sin usted no sería nada, le debo todo lo que hasta hoy he logrado, siempre ha creído en mí y me ha apoyado incondicionalmente a pesar de mis errores y tropiezos, siempre estuvo a mi lado brindándome su amor y cariño.

A mis hermanos **Israel, Missael, Rene, Amalia, Lucero y Chabelo** gracias por estar siempre conmigo y apoyarme siempre cuando más los necesito y por su comprensión, le doy gracias a la vida por haberme dado unos hermanos tan maravillosos, espero nunca nos distanciamos y siempre convivamos de la mejor manera, nos tenemos el uno a otro y siempre será así lo quiero mucho hermanos gracias.

A mis sobrinos **Cindy, Brayan, Cristian, Karolt, Sebastián, Judith, Carlitos e Iván** que me han dado muchos momentos de alegría recuerden que los quiero mucho y que a pesar de los obstáculos que les ponga la vida tratare de estar ahí para ustedes. Espero ser una inspiración y un ejemplo para ustedes. Recuerden que todo es posible cuando se lo proponen no importa cuántas veces fallen sean constantes y lo lograra.

A **Rubí** que sin duda ha sido una persona importante en este trayecto, siempre te voy agradecer la fortaleza que me has brindado, tu confianza y siempre tenderme la mano cuando más la necesito, por todo el apoyo que me das, muchas pero muchas gracias.

Al señor **Ricardo** (†) que fue como mi padre una persona admirable, espero que donde te encuentres estés de lo mejor gracias por ser un gran pilar en la familia, te fuiste y aun nos haces mucha falta, espero que podamos honrar tu memoria siendo buenas personas, gracias a tus consejos y apoyo esto es posible, espero que te sientas orgulloso de mí.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	iii
INDICE DE CONTENIDO	iii
INDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE CUADROS	vii
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Escasez del agua	3
2.2. Aguas residuales	3
2.2.1. Vertidos de aguas residuales.....	4
2.3. Zonas Áridas	5
2.3.1. México en condición de aridez.....	5
2.3.2. La condición de aridez.....	5
2.3.3. Agricultura en las zonas áridas.....	5
2.4. Reutilización de aguas residuales en la agricultura	6
2.5. Hidrometría	6
2.6. Métodos de aforo	7
2.7. Métodos de aforo directo	9
2.7.1. Aforo volumétrico:.....	9
2.7.2. Aforo gravimétrico:.....	10
2.8. Métodos indirectos	10

2.8.1. Métodos área – velocidad	10
2.8.2. Flotadores	11
2.8.3. Método de molinete	13
2.8.4. Método químico	16
2.8.5. Electromagnéticos	18
2.8.6. Carga Piezometrica	20
2.8.7. Vertederos	20
2.8.8. Vertedor Rectangular.....	22
2.8.9. Vertedor Trapezoidal o Cipolletti.....	23
2.8.10. Vertedero triangular	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Localización del área de estudio	26
3.2. Generalidades de Coahuila	27
3.2.1. Ubicación geográfica	27
3.2.2. Superficie	27
3.2.3. Límites	27
3.2.4. Orografía.....	27
3.2.5. Hidrografía	28
3.2.6. Clima y temperatura.....	28
3.3. Generalidades de Saltillo	28
3.3.1. Localización	28
3.3.2. Orografía.....	29
3.3.3. Edafología.....	29
3.3.4. Geología	29
3.3.5. Tipo de vegetación.....	29

3.4. Generalidades de Ramos Arizpe	30
3.4.1. Localización	30
3.4.2. Extensión	30
3.4.3. Orografía.....	30
3.4.4. Fisiografía	30
3.5. Visita de reconocimiento al Arroyo La Encantada.....	31
3.6. Puntos de muestreo.....	31
3.6.1. Aforo	31
3.7 Aplicación del método en el área de estudio.....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSION	37
5. CONCLUSION	46
6. RECOMENDACIONES.....	47
7. BIBLIOGRAFIA	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aforo Volumétrico (Monroy, 2010)	9
Figura 2 Esquema ilustrativo para el aforo con flotador (pérez R. M., 2013)	11
Figura 3 División en franjas de la selección transversal de una corriente (CONAGUA, 2007)	15
Figura 4 Procedimiento de inyección y muestreo en un aforo con trazador (Pérez R. M., 2013)	16
Figura 5 Estructura del medidor magnético (CONAGUA, 2007)	19
Figura 6 Partes que integran un vertedor (CONAGUA, 2007)	20
Figura 7 Vertedero rectangular (Monroy, 2010)	23
Figura 8 Vertedero trapezoidal (Cipolletti) (Monroy, 2010).....	24
Figura 9 Vertedero triangular (Monroy, 2010)	25
Figura 10 Ubicación del arroyo La Encantada y los puntos de muestreo.....	26
Figura 11 Perfil arroyo La Encantada.....	27
Figura 12 Puente Aamos Arizpe.....	33
Figura 13 Ejido Hierbabuena.....	33
Figura 14 Ejido Zertuche	34
Figura 15 Bocatoma Higo.....	34
Figura 16 Bocatoma Mesillas	35
Figura 17 Ejido Mesillas	35
Figura 18 Ejido San Rafael	36
Figura 19 Sección Ramos Arizpe	37
Figura 20 Sección Ejido Hierbabuena	38
Figura 21 Sección Ejido Zertuche	39
Figura 22 Sección Bocatoma Higo	40
Figura 23 Sección Bocatoma Mesillas	41
Figura 24 Sección Ejido Mesillas.....	42
Figura 25 Sección Ejido San Rafael.....	43

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Métodos de aforo.....	8
Cuadro 2 Valor del coeficiente k para flotadores según la profundidad del flujo (wáter measurement manual, 2001).	12
Cuadro 3 Ecuaciones de calibración para algunos modelos de molinetes. (Briones y García, 1997).	14
Cuadro 4 Puntos de muestreo y distancia entre un punto de aforo a otro del recorrido del arroyo La Encantada	32
Cuadro 5 Puntos de muestreo, que reúsan el agua residual de Saltillo y Ramos Arizpe	44

RESUMEN

La medición del agua en el mundo es de gran importancia ya que del conocimiento del volumen disponible depende en gran parte de las estrategias a seguir para mejorar su manejo ya sea en la agricultura, ganadería, industria, entre otros, y de esta manera incrementar la eficiencia en su uso.

Las aguas residuales municipales, tratadas o sin tratar, se están descargando en arroyos, ríos y mares, siendo aprovechada por comunidades o ejidos en la agricultura y ganadería sin conocer la calidad y cantidad.

El presente trabajo de investigación se realizó en el arroyo La Encantada, el cual tiene su inicio en Saltillo y su terminación en Paredón Coahuila, y consistió en medir los diferentes gastos de agua, en las diferentes comunidades que se encuentran en el lecho del arroyo, como son, Ramos Arizpe, Hierbabuena, Zertuche, Higo, Bocatoma Mesillas, Mesillas y San Rafael estas mediciones se llevaron a cabo con el método de molinete de hélice Modelo PFF211. Una vez realizados todos los aforos, se conoce la distribución de gastos por comunidad y se estima que el caudal total es de aproximadamente 821.4 L s^{-1} .

La cantidad de agua del arroyo La Encantada no es suficiente para las comunidades ya mencionadas ya que su fauna, flora, ganadería y agricultura se abastecen del cauce.

Entonces por lo tanto se recomienda tener un plan de actividades para incrementar la eficiencia en el uso del agua ya sea instalando sistemas de conducción esto para minimizar pérdidas de agua ya sea por fugas, infiltración, evaporación, desbordes, entre otros.

Palabras clave. Métodos de aforo, agua residual, uso eficiente, agricultura, riego agrícola.

1 INTRODUCCIÓN

La cantidad de agua que tenemos en el planeta no varía. Sin embargo, el lugar, la forma, y la calidad en que se encuentra si presentan variaciones. A nivel local no disponemos de una cantidad fija. Hay promedios históricos, pero desgraciadamente cada vez es menos el agua disponible tanto en cantidad como en calidad, debido a la sobreexplotación, el cambio climático, la contaminación y la deforestación que hemos provocado (CEMDA, 2012).

Desde principios de nuestra era, ha sido fundamental y vital el uso del agua, con el pasar del tiempo este recurso natural ha sido utilizado en diferentes áreas, no solamente en el consumo para el ser humano, sino en generación de electricidad, sistemas de riego, entre otros; por tal motivo se ha visto la necesidad de estudiar sus características, la fuerza con la que se mueve en cada afluente y así cuantificar su consumo evaluando la disponibilidad del recurso hídrico. Esta ha sido la razón para que se empiece a desarrollar diferentes tipos de instrumentos de medida que registren el nivel, velocidad y caudal del agua (Diaz, 2011).

De otro lado, para el estudio de cualquier fenómeno de ocurrencia del agua en la superficie terrestre es imprescindible conocer el comportamiento del ciclo hidrológico, y en la concepción de proyectos de ingeniería hidráulica, tales como centrales hidroeléctricas, represas, embalses, diques, captaciones, puentes, sistemas de riego y sistemas de abastecimiento de agua, es esencial el estudio hidrológico de la cuenca, conocer el régimen de caudales de sus corrientes naturales, determinar los perfiles longitudinal y transversal de los cauces de éstas, medir niveles de aguas y planicies de inundación, el transporte de sedimentos y las características de calidad de aguas. (Pérez R. M., 2013)

1.1. OBJETIVOS

- Aforar en cada una de las comunidades el caudal de agua que utilizan del arroyo La Encantada.
- Evaluar el cambio en el gasto del arroyo La Encantada.
- Realizar recomendaciones de acuerdo al caudal disponible para el uso eficiente del agua residual en las comunidades Ramos Arizpe, Hierbabuena, Zertuche, Higo, Bocatoma Mesillas, Mesillas y San Rafael.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Escasez del agua

Winpenny (citado por FAO, 2013) definió la escasez de agua como un desequilibrio entre el suministro y la demanda bajo las condiciones existentes de precios y/o disposiciones institucionales; una demanda excesiva para el suministro disponible; un alto nivel de uso respecto al suministro disponible, especialmente si el potencial de suministro que queda es difícil o muy costoso de aprovechar. Esta definición tiene la ventaja de contar con el reconocimiento explícito de que la escasez de agua es un concepto relativo. Se han propuesto algunas variaciones de esta definición (FAO, 2013).

La agricultura es el sector económico en el que la escasez de agua tiene más relevancia. En la actualidad, la agricultura es responsable del 70% de las extracciones de agua dulce y de más del 90% de su uso consuntivo. Bajo la presión conjunta del crecimiento de la población y de los cambios en la dieta, el consumo de alimentos está aumentando en casi todas las regiones del mundo. Se espera que para el año 2050 sea necesario producir 1 billón de toneladas de cereal y 200 millones de toneladas de carne más al año para poder satisfacer la creciente demanda de alimentos (FAO, 2013) .

2.2 Aguas residuales

Por aguas residuales se entiende a la acción y efecto en la que el hombre introduce materias contaminantes, formas de energía o inducir condiciones en el agua de modo directo o indirecto; implica alteraciones perjudiciales de su calidad con relación a los usos posteriores o con su función ecológica. Estas aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. El agua residual

está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos; es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos (Díaz *et al.*, 2012).

2.2.1 Vertidos de aguas residuales

- Aguas residuales urbanas: las aguas residuales domésticas, o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial (Alianza por el Agua, 2014).
- Aguas residuales domésticas: las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas (Alianza por el Agua, 2014).
- Aguas residuales industriales: todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial (Alianza por el Agua, 2014).

2.3 Zonas Áridas

2.3.1 México en condición de aridez

La aridez es una condición natural en ciertos paisajes y ecosistemas. Consiste en la falta de agua en el suelo y una baja humedad en el entorno. El proceso natural que hace cambiar un terreno húmedo o templado hasta convertirlo en una zona árida se llama desertización. Ocurre a lo largo de miles de años y depende de factores diversos que incluyen los movimientos tectónicos y la deriva continental, los cambios en el clima o en las corrientes de chorro que circundan al planeta y la propia concentración biológica de un lugar, que se ve transformado luego de intensos periodos de sequía que dejan de ser atípicos para volverse una forma (SAGARPA, 2014).

2.3.2 La condición de aridez

La aridez es una condición natural de nuestro planeta. Consiste en la falta sustancial de precipitaciones en una determinada zona, de tal forma que la humedad en el suelo es siempre menor que la capacidad de retención del líquido. Esto da como resultado un clima seco que exige una adaptación diferente de los organismos vegetales y animales, los cuales se vuelven más eficientes en la retención de agua y dosificación de energía (SAGARPA, 2014).

2.3.3 Agricultura en las zonas áridas

La alimentación de millones de mexicanos depende en gran medida del vigor productivo en las zonas áridas donde la agricultura tecnificada es la norma. Ahí el clima es el principal reto de la producción. La aridez se extiende y la desertificación causada por la acción humana influye significativamente en el crecimiento y rendimiento de los cultivos en condiciones de falta de humedad. Es por ello que implementar y delinear

estrategias para mejorar las prácticas es vital para mantener los niveles de productividad de las regiones secas (SAGARPA, 2014).

2.4 Reutilización de aguas residuales en la agricultura

El uso en la agricultura de agua regenerada es una opción que se está dando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua, poblaciones urbanas y crecientes y con una mayor demanda de agua de riego. (FAO, 2013a)

2.2 Hidrometría

Es la parte aplicada de la Hidrodinámica que trata de los métodos de medición de la velocidad, el caudal y las fuerzas de los líquidos en movimiento. La hidrometría comprende también las mediciones de niveles de agua, concentración y transporte de sedimentos, y los levantamientos altimétricos de los perfiles longitudinal y transversal del cauce de las corrientes naturales y de masas de agua (Pérez R. M., 2013).

2.3 Métodos de aforo

La medición de gasto o caudal no es un fin en sí mismo, es una acción que se realiza con fines ajenos a la medición misma. Se mide para conocer la cantidad de agua que pasa por un cierto sitio porque se tiene una necesidad para hacerlo. Muchos y muy diversos son los motivos por los cuales se emprende el ejercicio de medir; por ejemplo, se requiere cobrar el agua que se entrega, o bien, se necesita medir la cantidad de agua extraída a una presa para dosificar extracción. (González, 2016)

De la reflexión anterior surge la primera recomendación: para evaluar la calidad de la medición, se debe establecer, como premisa, la claridad en la intención de medir, sus delimitaciones concretas y sus alcances reales y factibles. (González, 2016)

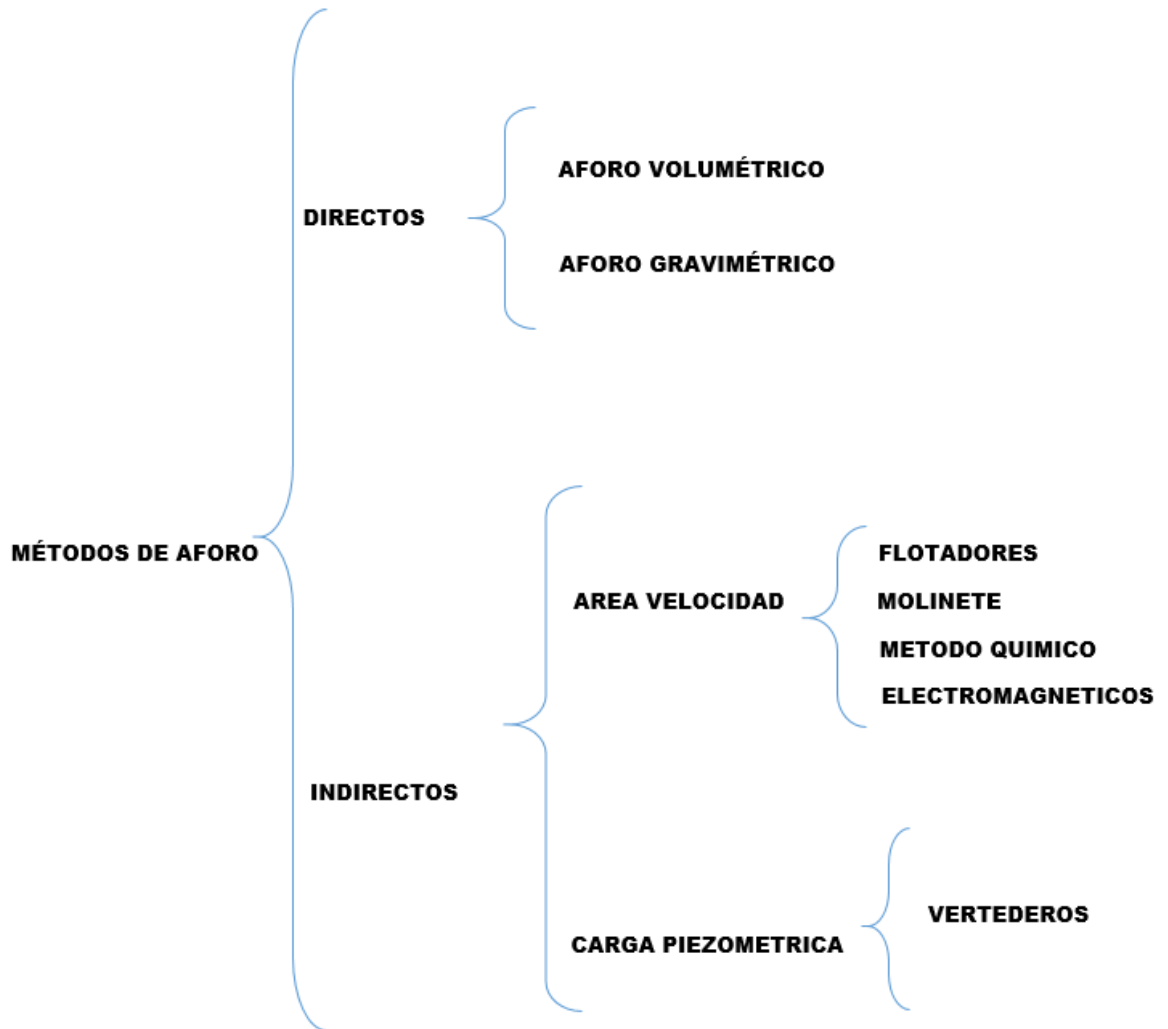
Encontrar la mejor coincidencia entre los requerimientos de medición, la problemática relacionada y la oferta de medidores en el mercado, se convierte en la esencia de esta etapa. Los requerimientos de medición imponen cierta calidad en el acto de medir para cumplir con dichos requerimientos. Un dispositivo de medición deberá contar con atributos tales que cumpla con los requerimientos y que supere la problemática relacionada. En esta etapa se debe revisar la oferta de dispositivos y técnicas que se tienen y que cumplen o cubren los requerimientos, para tener una medición de calidad. (González, 2016)

Los dispositivos para aforar deben ser: fáciles de leer e instalar, hidráulicamente eficientes, precisos, autolimpiables y resistentes al uso, con la finalidad de reducir su mantenimiento. (CONAGUA, 1992).

El método más confiable es el volumen – tiempo, pero su aplicación es limitada por que no se pueden llevar al campo grandes tanques o recipientes para captar el agua.

Por lo anterior se aplican otros métodos como lo del siguiente cuadro sinóptico.

CUADRO 1 MÉTODOS DE AFORO



2.7 Métodos de aforo directo

Este tipo de aforos son los más recomendables, debido a que en la práctica de los mismos, se puede tener mayor control sobre la determinación de las variables que intervienen en la obtención del gasto. La clasificación de los aforos directos se debe principalmente a la manera en que se determina la velocidad media en la expresión hidráulica, ya que esta última se puede definir con menos posibilidades de error mediante sondeos o un levantamiento topográfico (Bernabe, 2005).

Este método se usa para medir el gasto en conductos pequeños como los sifones o en tubos cortos de descarga de agua en un surco o melga. Expresan el gasto como una función del volumen sobre tiempo ($Q = V / t$). Entre ellos están:

2.7.1 Aforo volumétrico:

Se emplea por lo general para caudales muy pequeños y se requiere de un recipiente de un volumen conocido para coleccionar el agua. El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen (Monroy, 2010).

$$Q=V/t$$

Donde:

Q = Caudal (l/s)

V = Volumen (l)

t = Tiempo (s)

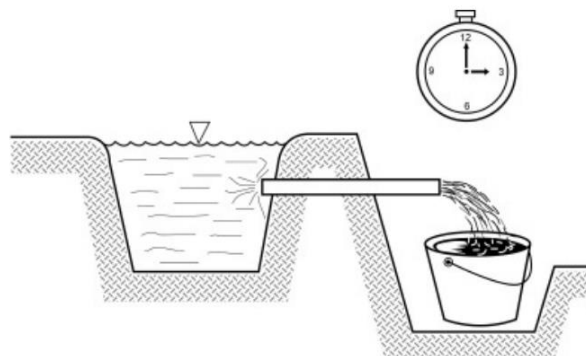


FIGURA 1 AFORO VOLUMÉTRICO (MONROY, 2010)

2.7.2 Aforo gravimétrico:

Se pesa el volumen colectado ($w = v \cdot d$) y el tiempo (t) se registra como en el método anterior. Se corrige el peso restando la tara del recipiente (Pérez N. N., 2014).

$$Q = w / (d \cdot t)$$

d: peso específico del fluido

2.8 Métodos indirectos

Como métodos indirectos se tendrán aquellos en que la determinación de la velocidad del agua se realiza empleando formulas hidráulica aplicables a cada caso especial; ya sea un rio, un canal, un vertedor, un orificio, entre otros. (Bernabe, 2005).

2.8.1 Métodos área – velocidad

Una forma de medir el caudal pasante en un cauce es a través de mediciones independientes de la velocidad media del flujo, v, y del área de escurrimiento, A. Es importante notar que la velocidad considerada es aquella que es normal al área, por lo que al existir componentes tangenciales de magnitud importante se cometen errores que afectan los aforos (Valdes, 2007).

Considerando lo anterior se puede obtener el caudal a través de la siguiente relación:

$$Q = A \cdot v$$

Donde:

A: área de la sección de aforo.

v: velocidad media de escurrimiento.

2.8.2 Flotadores

El flotador es un elemento natural que esté en condiciones de flotar, y ser arrastrado por aguas ya sea parcial o totalmente sumergido en ella (Díaz, 2011).

Para la ejecución del aforo se procede de la siguiente forma (véase la Figura 2): Se toma un trecho de la corriente, de longitud L ; se mide el área A , de la sección, y se lanza un cuerpo que flote, aguas arriba del primer punto de control, y al paso del cuerpo por dicho punto se inicia la toma del tiempo que dura el viaje hasta el punto de control, corriente abajo (Pérez R. M., 2013).

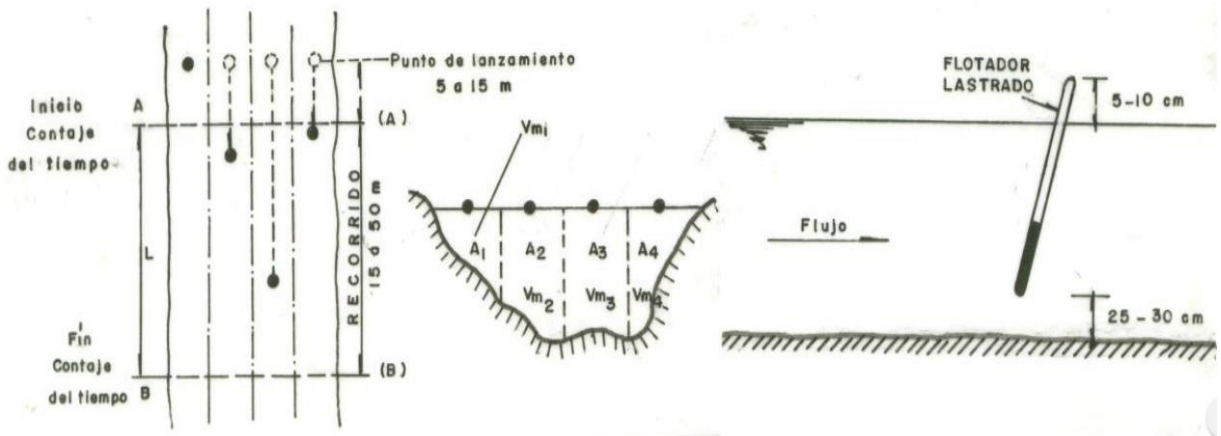


FIGURA 2 ESQUEMA ILUSTRATIVO PARA EL AFORO CON FLOTADOR (PÉREZ R. M., 2013)

Al utilizar un flotador para estimar la velocidad del flujo se estará midiendo la velocidad superficial en el cauce en la línea de corriente respectiva. Debido a esto será necesario utilizar un factor k que transforme esta velocidad en velocidad media según el perfil vertical de velocidades. El valor que debe tomar este coeficiente k se puede ver en el cuadro 2. La velocidad media del flujo estimada a partir de un flotador podrá ser calculada de la siguiente forma:

$$v = k * \frac{L}{t}$$

Donde:

v: velocidad media del flujo en la vertical.

k: coeficiente de transformación.

L: distancia entre las secciones de control.

t: tiempo de viaje entre secciones de control.

CUADRO 2 VALOR DEL COEFICIENTE K PARA FLOTADORES SEGÚN LA PROFUNDIDAD DEL FLUJO (WÁTER MEASUREMENT MANUAL, 2001).

Profundidad Promedio del Flujo (m)	Valor del Coeficiente k
0,31	0,66
0,61	0,68
0,92	0,70
1,22	0,72
1,53	0,74
1,83	0,76
2,75	0,77
3,66	0,78
4,58	0,79
>6,10	0,80

El método de estimación de velocidades con flotadores puede entregar, si las condiciones son favorables, resultados con errores de hasta 10 %. Entre los factores que pueden influir en la exactitud de las estimaciones encontramos: el viento, la falta de precisión en la elección del coeficiente k , variaciones de la profundidad del flujo a lo largo del tramo, flujos oblicuos, falta de uniformidad de la sección a lo largo del tramo, entre otros. Si la estimación de la velocidad del flujo se hace en condiciones desfavorables se pueden obtener errores de más del 30% (Valdes, 2007).

2.8.3 Método de molinete

Este método muy usado en los distritos y las unidades de riego, es aplicable a todo tipo de corrientes (CONAGUA., 2007).

Existen dos tipos de molinetes; el molinete de cazoletas (Figura 3), de eje vertical, y el molinete de hélice (Figura 4), de eje horizontal.

En ambos caso, el molinete posee un tipo de interruptor en su rotor, el cual por cada giro que efectuó generar un pulso eléctrico; estos pulsos pueden ser visualizados en un conector electrónico que será el encargado de captar las pulsaciones por cada revolución del rotor en un tiempo determinado.

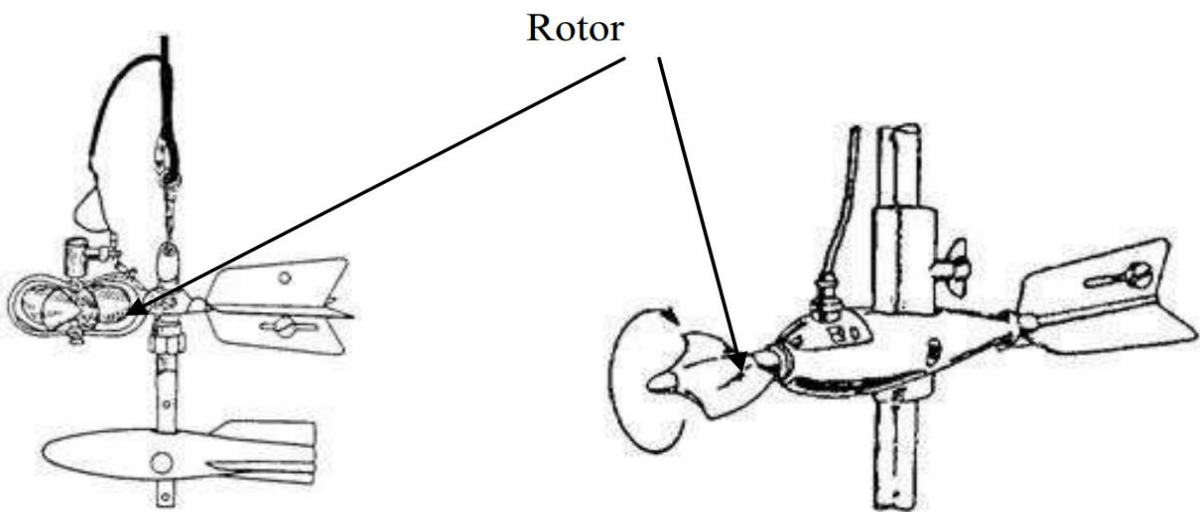


FIGURA 3 MOLINETE DE CAZOLETAS

FIGURA 4 MOLINETE DE HÉLICE

CUADRO 3 ECUACIONES DE CALIBRACIÓN PARA ALGUNOS MODELOS DE MOLINETES. (BRIONES Y GARCÍA, 1997).

Método del molinete	Ecuación de calibración
Molinetes de cazoletas:	
Gurley – 622	$V = 0.690904*rps + 0.014694$
SIW – 017	$V = 6.658*rps + 0.0090$
Price – 622	$V = 0.6735*rps + 0.0091$
Molinete tipo hélice:	
Medidor Hoff	$V = 0.296*rps$

Para obtener el gasto que pasa por la sección transversal mediante el molinete, se procede de la siguiente manera.

Se divide la sección transversal en franjas verticales, Figura 5. Para cada franja se calcula el área (a_i) y con el molinete y su tabla de velocidades, se calcula la velocidad media de esa franja (v_i), lo anterior se repite para cada una de las franjas en que se haya dividido la sección transversal. Para obtener el gasto parcial (q_i) en cada franja, se multiplica el área y la velocidad correspondiente a esa franja (CONAGUA, 2007).

Para obtener el gasto total en la sección transversal se suman todos los gastos parciales obtenidos, esto se puede plantear matemáticamente con la siguiente expresión:

Donde:

$$Q = \sum_{i=1}^n a_i v_i = \sum_{i=1}^n q_i$$

Q= Gasto total (m³/s.)

a_i= Área de la franja (m²)

v_i= Velocidad media en la franja i (m/s.)

q_i= Gasto en la franja i (m³/s.)

i= 1,2,3,..n franja

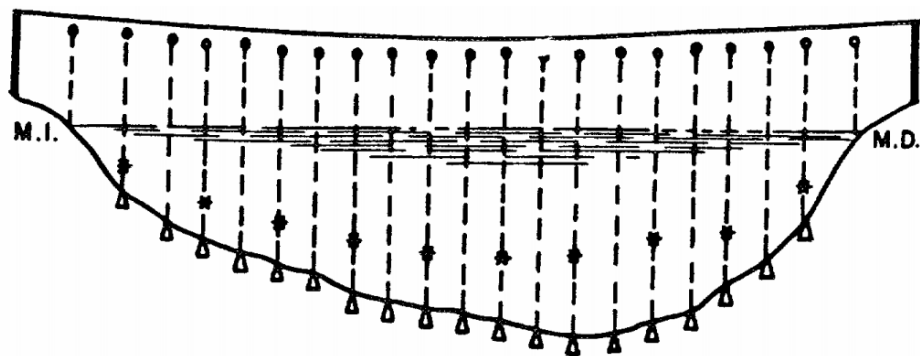


FIGURA 3 DIVISIÓN EN FRANJAS DE LA SELECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA CORRIENTE (CONAGUA, 2007)

2.8.4 Método químico

Pérez R. M., (2013) menciona que es un método muy apto para corrientes turbulentas como las de montaña. Estos trazadores se utilizan de dos maneras: como aforadores químicos, esto es, para determinar el caudal total de una corriente, y como medidores de velocidad de flujo.

En los aforos químicos y radioactivos, se inyecta una tasa constante, q_t , de la sustancia química, radioactiva o trazador, de concentración conocida, C_{ti} , a la corriente cuyo caudal, Q , desee determinarse y cuya concentración de la sustancia, C_a , en la corriente, también se conoce. A una distancia corriente abajo, suficientemente grande para asegurar que se han mezclado totalmente el trazador y el agua, se toman muestras de ésta, y se determina la concentración de la sustancia química o radioactiva, C_t . Véase la Figura 6.

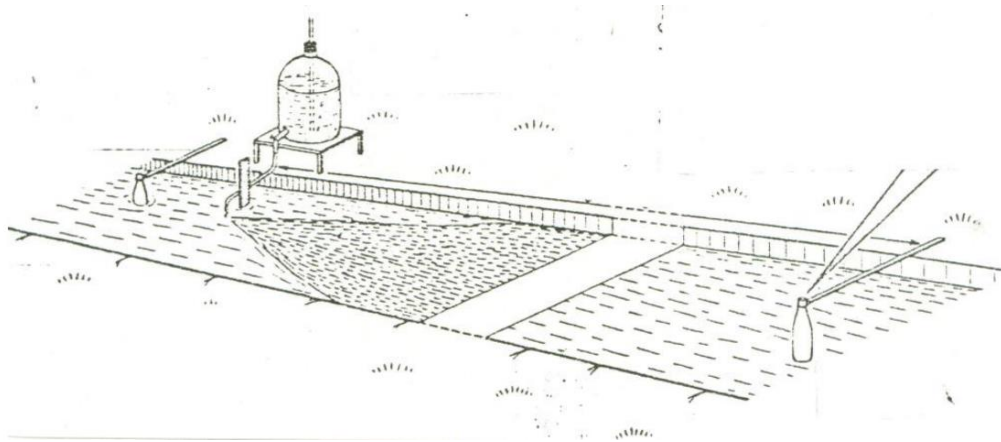


FIGURA 4 PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN Y MUESTREO EN UN AFORO CON TRAZADOR (PÉREZ R. M., 2013)

El caudal de la corriente se puede determinar, entonces, empleando la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{Q_t (C_{ti} - C_t)}{C_t - C_a}$$

En su empleo como medidores de velocidad, los trazadores químicos y radioactivos se inyectan aguas arriba del primer punto de control de la corriente. Se calcula el tiempo de paso del prisma de agua que contiene el trazador entre dicho punto de control y otro situado aguas abajo a una distancia previamente determinada. El cociente entre esta distancia y el tiempo de paso es la velocidad media de la corriente (Pérez R. M., 2013).

Cuando se emplea la sal común (NaCl) como trazador químico, se mide el tiempo de paso entre los dos puntos de control, utilizando electrodos conectados a un amperímetro, esto es, un conductivímetro. Este método de medición es posible debido a que la sal inyectada aumenta la concentración de sólidos disueltos y, por lo tanto, la conductividad del agua.

Las sustancias químicas o radioactivas empleadas para medición de caudales deben reunir las siguientes condiciones:

- Deben mezclarse fácil y homogéneamente con el agua, para lo cual se requiere de una fuerte turbulencia en el trayecto comprendido desde donde se inyecta la sustancia al cauce, hasta donde se recogen las muestras.
- Debe ser barato, soluble en agua, inocuo, no corrosivo, ni tóxico.
- Debe ser fácilmente detectable en el agua, aún en concentraciones pequeñas.
- Debe estar ausente o presente en pequeñas cantidades en la corriente natural de agua.

- Debe ser conservativo, es decir, no degradable, ni reactivo, entre el momento de la inyección y el momento del análisis final de las muestras.
- Debe ser foto estable, es decir, no decolorable, ni reactivo ante la acción de la luz.

Pérez R. M., (2013) señala que los aforos con isótopos radioactivos son demasiados costosos, ya que requieren de equipos y personal altamente especializados.

2.8.5 Electromagnéticos

El medidor magnético de flujo utiliza la Ley de Faraday para medir la velocidad media del agua en la forma siguiente: dos bobinas colocadas una a cada lado del cuerpo del medidor, son excitadas por una corriente alterna, produciendo un campo magnético uniforme a través de la parte interna del tubo, conforme pasa el agua a través del cuerpo del medidor, corta el campo magnético, generando una inducción de voltaje que es percibida por dos electrodos diametralmente opuestos y perpendiculares al campo magnético (CONAGUA, 2007).

Como es aplicada al diseño de los Caudalímetros magnéticos, la ley de Faraday indica que el voltaje de la señal (E), fuerza electromotriz depende de la velocidad promedio del líquido (v), del ancho del campo magnético (B), y la longitud del conductor, (es la distancia entre los electrodos (Pérez N. N., 2014).

$$I = \frac{E_s}{E_r}$$

Donde:

Er: voltaje de referencia al 100%

En cuanto a su estructura, el medidor magnético consiste en un tubo metálico, que generalmente es de acero inoxidable o aluminio, ya que las propiedades magnéticas de estos materiales son bajas, recubierto con neopreno, plástico, teflón, cerámica o cualquier material no magnético y no conductor (CONAGUA, 2007).

Alrededor del tubo se encuentran una serie de bobinas de diseño parecido al devanado de un motor, y con un núcleo semejante a los que se usan en un transformador, siendo las que producen el campo magnético, también cuenta con un par de electrodos que detectan la fuerza electromotriz que genera el agua a su paso por el campo magnético, enviando la señal para medición a un registrador que traduce la señal en información de caudales o volúmenes, Figura 7.

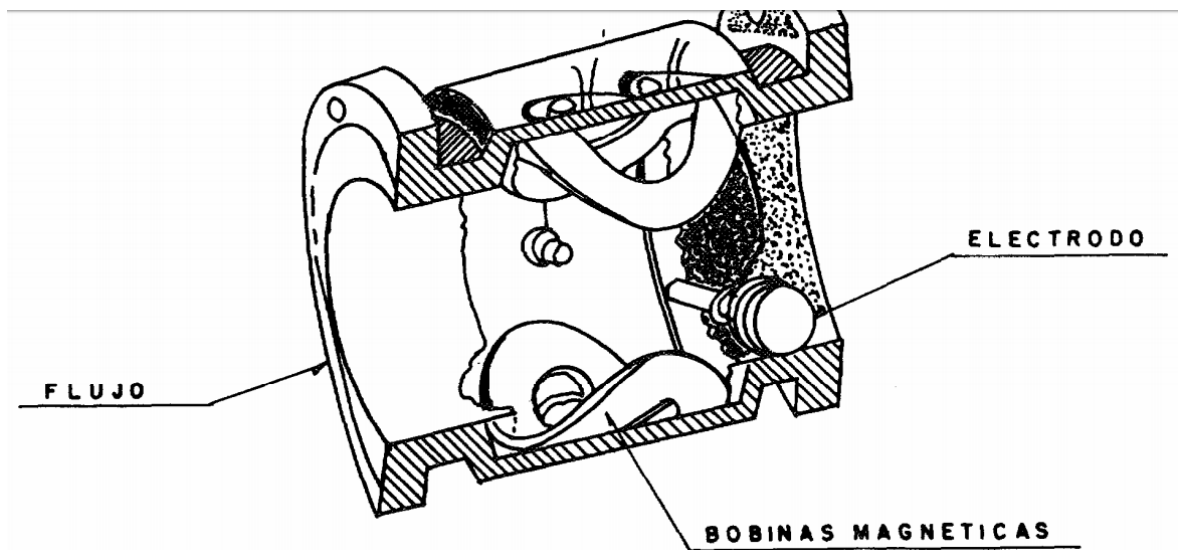


FIGURA 5 ESTRUCTURA DEL MEDIDOR MAGNÉTICO (CONAGUA, 2007)

2.8.6 Carga Piezométrica

2.8.7 Vertederos

Es un dispositivo usado para medir caudales en canales, consta básicamente de una sección transversal de geometría definida, por la cual escurre el líquido, manteniéndose la superficie libre, (Figura 8).

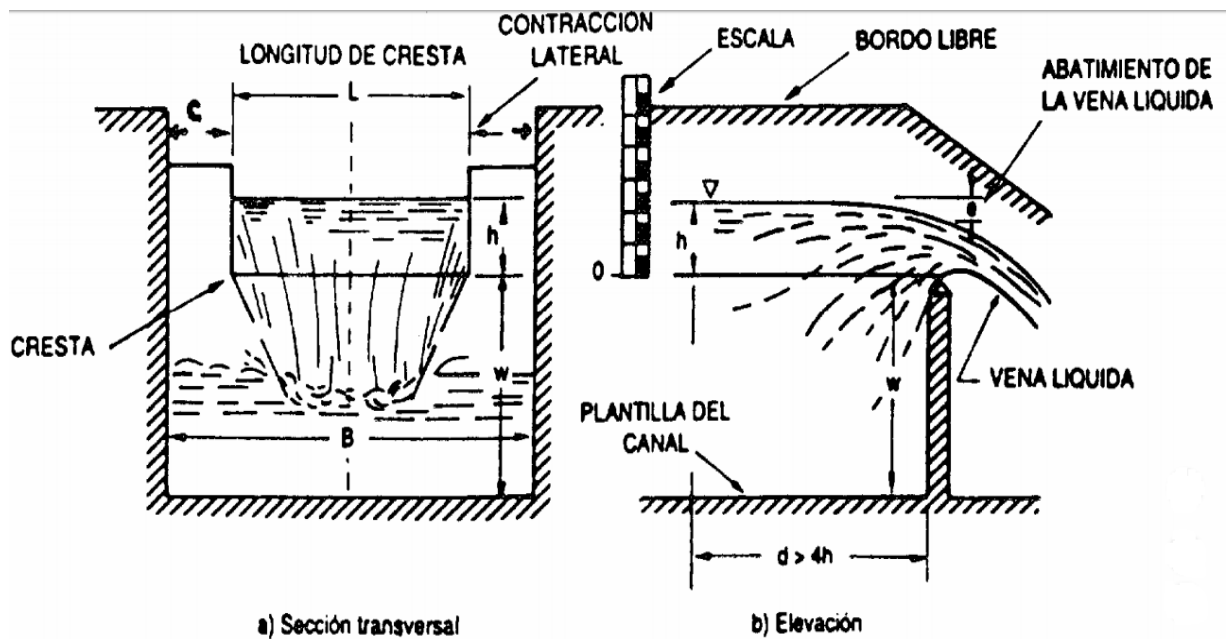


FIGURA 6 PARTES QUE INTEGRAN UN VERTEDOR (CONAGUA, 2007)

De acuerdo a CONAGUA (2007) existe una variedad de formas geométricas para la construcción de vertedores, en este tema se verán:

- Vertedor Rectangular.
- Vertedor Trapezoidal o Cipolletti.
- Vertedor Triangular.

Altura (W)

Es la diferencia de cotas entre el fondo del canal de aproximación y la cresta, medida aguas arriba y junto al vertedero.

Carga Hidráulica (h)

Es la altura alcanzada por el agua, medida desde la cota de la cresta del vertedor.

Contracción Lateral (c)

En un vertedor de pared delgada, es la reducción del ancho efectivo de la vena líquida, como consecuencia de su angostamiento lateral con relación al ancho del canal de aproximación.

Cresta

Es el punto más bajo del corte, en el vertedor triangular la cresta es el vértice y en el vertedor rectangular, la cresta es el borde horizontal.

Lámina de Agua

Es la vena líquida que pasa por encima del vertedor.

2.8.8 Vertedor Rectangular.

El vertedero rectangular es uno de los más sencillos para construir y por este motivo es uno de los más utilizados.

Es un vertedero con una sección de caudal en forma de rectángulo con paredes delgadas, de metal, madera o algún polímero resistente, con una cresta biselada o cortada en declive, a fin de obtener una arista delgada.

La precisión de la lectura que ofrece está determinada por su nivel de error que oscila entre un 3 y 5 % (Monroy, 2010).

La ecuación general propuesta por Francis para obtener el gasto en este tipo de vertedores es la siguiente:

$$Q = 1.84 (L - (0.1 n H)) H^{3/2}$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m^{3/s}

L = Ancho de la cresta, en m

H = Carga del vertedero, en m

n = Número de contracciones (0, 1, o 2)

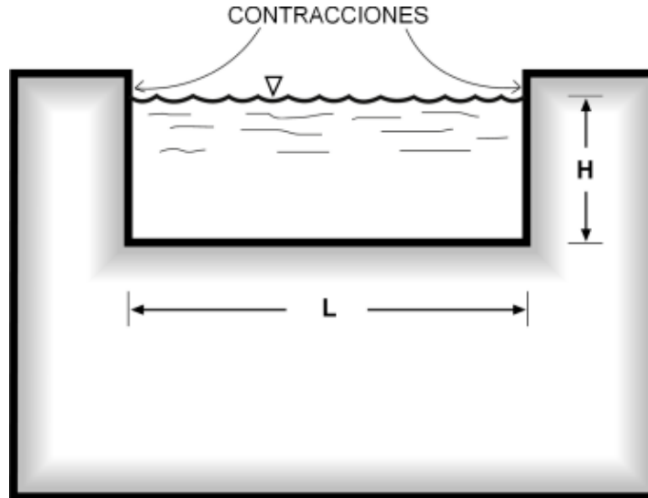


FIGURA 7 VERTEDERO RECTANGULAR (MONROY, 2010)

2.8.9 Vertedor Trapezoidal o Cipolletti.

Es un vertedero como su nombre lo indica con forma trapezoidal en su abertura, también conocido como vertedero Cipolletti en honor a su inventor, el Ingeniero italiano Cesare Cipolletti (Monroy, 2010).

Cipolletti procuró determinar un vertedero que compensara el decrecimiento del caudal debido a las contracciones laterales por medio de las partes triangulares del vertedero, con la ventaja de evitar la corrección en los cálculos (Monroy, 2010).

Para estas condiciones, el talud será 1:4 (1 horizontal para 4 vertical). Este vertedero es de construcción más difícil que los dos anteriores, razón por la cual es menos utilizado (Monroy, 2010).

Para el cálculo del caudal se utiliza frecuentemente la fórmula de Francis para m^3/s .

$$Q = 1.859 L H^{3/2}$$

Aplicando conversión para obtener caudales en l/s:

$$Q = 0.01859 L H^{3/2}$$

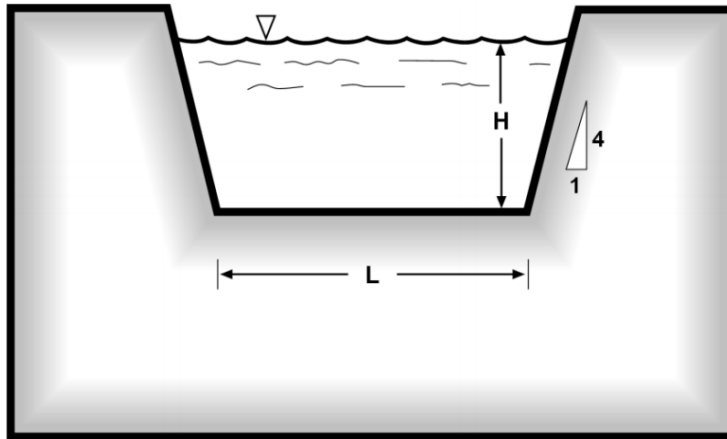


FIGURA 8 VERTEDERO TRAPEZOIDAL (CIPOLLETTI)
(MONROY, 2010)

2.8.10 Vertedero triangular

Los vertederos triangulares permiten obtener medidas más precisas de las alturas de carga (H) correspondientes a caudales reducidos. Por lo general son construidos de placas metálicas (Monroy, 2010).

En la práctica únicamente se utilizan los que tienen forma isósceles, siendo los más usuales los de 90°. Para estos vertederos se adapta la fórmula de Thomson obteniendo caudales en m³/s:

$$Q = 1.4 H^{5/2}$$

Para obtener caudales en l/s se realiza la conversión a la fórmula descrita anteriormente:

$$Q = 0.014 H^{5/2}$$

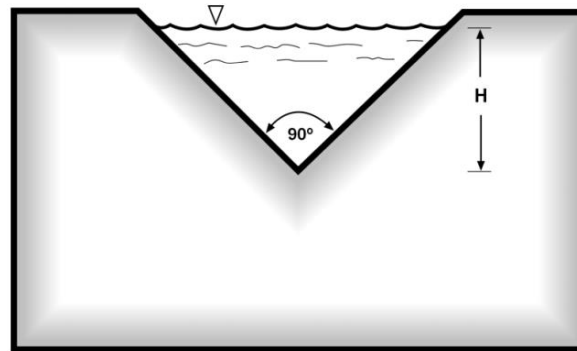


FIGURA 9 VERTEDERO TRIANGULAR (MONROY, 2010)

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

El arroyo La Encantada se localiza en el sureste del estado de Coahuila, entre las coordenadas geográficas 25°57'53.55" latitud norte, 100°55'59.40" longitud oeste y 25°23'56.07" latitud norte y 101° 2'17.03"O longitud oeste, a una altura de 1757 msnm al inicio del arroyo y 791 msnm al final. La corriente se forma en la parte sur de Saltillo en el poblado denominado La Encantada y en las sierras del Municipio de Arteaga, pasando por el este de Saltillo y Ramos Arizpe, terminando en el poblado de Paredón, con una longitud de 77 Km, hasta su confluencia con el Arroyo Patos.

Sus escurrimientos se usan para la agricultura en los Ejidos del municipio de Ramos Arizpe tales como: Hierba Buena, Zertuche, Higo y Mesillas además, San Rafael, Paredón y San Francisco Paredón, son abastecidos por los yacimientos Mesillas y San Rafael.

La Figura 12 y 13 muestra la ubicación y el perfil de elevaciones del arroyo La Encantada, respectivamente.

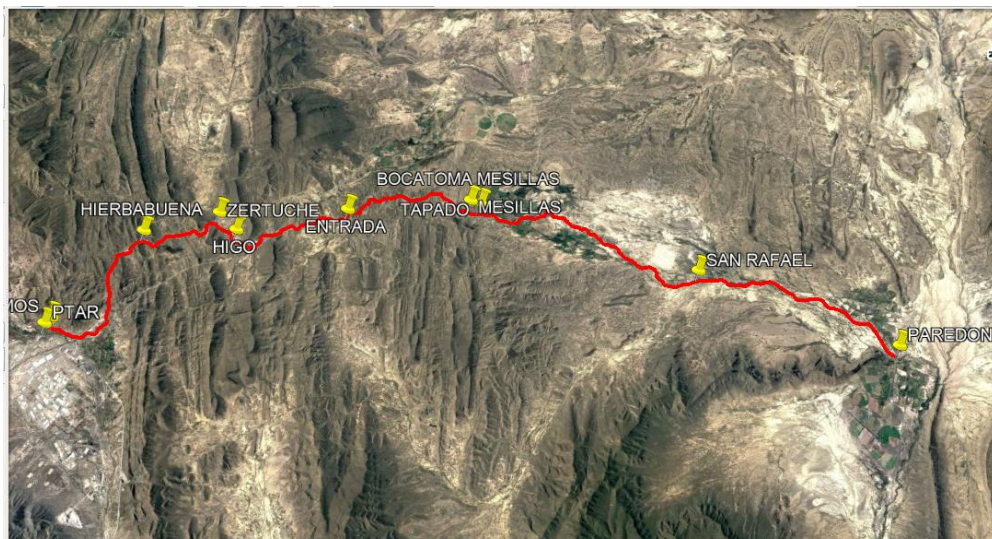


FIGURA 10 UBICACIÓN DEL ARROYO LA ENCANTADA Y LOS PUNTOS DE MUESTREO



FIGURA 11 PERFIL ARROYO LA ENCANTADA

3.2 Generalidades de Coahuila

3.2.1 Ubicación geográfica

Ubicación geográfica Situado en la región norte de la República Mexicana, entre los paralelos 24°32 y 29°57 de latitud norte y 103°57 de longitud oeste (SAGARPA, 2015).

3.2.2 Superficie

151,571 kilómetros cuadrados (7.7% del área total del país) (SAGARPA, 2015).

3.2.3 Límites

Limita al norte con Estados Unidos de América; al este con Estados Unidos y Nuevo León; al sur con Nuevo León, Zacatecas y Durango; al oeste con Durango, Chihuahua y Estados Unidos.

3.2.4 Orografía

Los límites de Coahuila encierran áreas que corresponden a tres provincias fisiográficas de México: Sierras y Llanuras del Norte, Sierra Madre Oriental y Grandes Llanuras de Norteamérica; esta cadena de montañas mejor conocidas como Sierra Madre Oriental entra a Coahuila por dos lados, formando los dos grupos de serranías que hay en la entidad, uno de estos grupos se localiza al sur de Saltillo, con una abrupta cordillera de crestas altas y cumbres boscosas, muchas de ellas arriba de los

3,000 metros de altitud, y que continúa a lo largo de las sierras de Parras, Viesca y otras menores, hasta las cercanías de Torreón (SAGARPA, 2015).

3.2.5 Hidrografía

Las principales fuentes hidrológicas de la entidad la constituyen, en la región norte el río Bravo y sus afluentes, el San Diego, San Rodrigo, El Escondido y la zona de manantiales de Morelos, Zaragoza y Allende; en la centro norte los ríos Sabinas, Álamos y Nadadores; en la Centro, el mismo río Nadadores, El Salado y los manantiales de Cuatrociénegas y San Buenaventura; en la sur, el río Patos, aunque la principal fuente es el agua del subsuelo y pequeños manantiales en el municipio de Parras y Arteaga (SAGARPA, 2015).

3.2.6 Clima y temperatura

La temperatura promedio anual fluctúa entre 18° y 24 °C. La precipitación pluvial media anual es mayor en las regiones centro-norte, noreste y extremo oriental del sureste, con 500 a más de 600 milímetros, y disminuye gradualmente hacia el sur, suroeste, oeste y noroeste con menos de 100 a 200 milímetros. La evaporación potencial y la evapotranspiración en general exceden en todos los meses a la precipitación mensual (SAGARPA, 2015).

3.3 Generalidades de Saltillo

3.3.1 Localización

El municipio de Saltillo capital del estado, se localiza en el sureste del estado de Coahuila, en las coordenadas geográficas extremas al norte 25 31' al sur 24 32' de latitud norte, al este 100 43' al oeste 101 37' de longitud oeste, a una altura de 1,600 metros sobre el nivel del mar (IDEAL, 2006).

3.3.2 Orografía

Al oeste se localiza la sierra Playa Madero, que abarca también la parte sureste de parras de la fuente. En el suroeste se localiza la sierra El Laurel, que forma parte también de Parras de la Fuente. La sierra Zapalinamé se levanta al este del municipio y la sierra Hermosa está localizada en el suroeste (IDEAL, 2006).

3.3.3 Edafología

Sobre el tipo de suelo, las mayores extensiones de superficie municipal están compuestas por Calcisol (36.3%) y por Litosol (29.9%). Estos son suelos caracterizados por encontrarse en abundancia a lo largo del territorio nacional, en ellos se puede sustentar cualquier tipo de vegetación, según el clima, siendo predominantemente utilizados para uso forestal, ganadero y excepcionalmente agrícola. Son suelos muy delgados que descansan sobre un estrato duro y continuo (IDEAL, 2006).

3.3.4 Geología

El suelo se encuentra compuesto por rocas que datan en su mayoría del período cuaternario (60%), y en cantidades menores está compuesto por rocas de los períodos Cretácico (33%), Jurásico (3%), Paleógeno (2.9%), Terciario (1%), y en una cantidad muy pequeña por rocas del período Neógeno (0.1%) (IDEAL, 2006).

3.3.5 Tipo de vegetación

La Vegetación en el municipio es predominantemente matorral, la cual ocupa el 59.5% del territorio, a esta le sigue la vegetación boscosa, compuesta principalmente de encinos y pinos, con un 13.6% del territorio y el 12% restante lo comprende vegetación del tipo pastizal natural y algunas zonas de pasto inducido (IDEAL, 2006).

3.4 Generalidades de Ramos Arizpe

3.4.1 Localización

Se encuentra localizado en las coordenadas geográficas extremas al norte $26^{\circ} 24'$, al sur $25^{\circ} 27'$ de latitud norte, al este $100^{\circ} 35'$ al oeste $101^{\circ} 53'$ a una altura de 1380 msnm.

3.4.2 Extensión

Cuenta con una superficie de 5,306.0 km², que representan el 3.5% del total de la superficie del estado.

3.4.3 Orografía

Al lado oeste se encuentra la sierra La Paila, abarcando todo el suroeste y gran parte del noroeste del municipio, así también la sierra Agua del Toro, Sierra la Grava, Cerro Santa Teresa y Sierra Chata. Al este se encuentra la sierra Las Cuatas en los límites de Nuevo León.

3.4.4 Fisiografía

Los límites del municipio de Saltillo están contemplados en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, derivándose las subprovincias Pliegues de Saltillo – Parras y sierras Transversales.

3.5 Visita de reconocimiento y aforo del Arroyo La Encantada

La primera visita de estudio se realizó el 17 de Mayo del 2017, la segunda visita se realizó el 20 de Junio del 2017, orientado a la evaluación del caudal de agua conducido en el arroyo La Encantada.

3.6 Puntos de muestreo

3.6.1 Aforo

Para conocer el caudal del agua derivado por cada uno de los usuarios del agua residual del arroyo La Encantada (Cuadro 5), se realizó el aforo por el método del molinete hélice Modelo PFF211, siguiendo una serie de pasos, qué son:

- Se localizó el punto de muestreo, y se tomó el punto con GPS.
- Antes de medir la longitud del canal, se puso atención a las fugas.
- Se detectó en cada bocatoma una longitud mayor al ancho de la corriente, lo más recta posible y con ausencia de olas.
- Se midió el ancho del canal.
- Para la profundidad del canal se usó un estadal.
- Las medidas que se tomaron fueron cada 20 cm al ancho del canal.
- Para determinar la velocidad se usó el molinete de hélice Modelo PFF211.
- Se determinó el área de sección transversal del canal y la velocidad, para multiplicarlos y obtener el caudal que pasa por la sección en $m^3 s^{-1}$ ó $L s^{-1}$.

CUADRO 4 PUNTOS DE MUESTREO Y DISTANCIA ENTRE UN PUNTO DE AFORO A OTRO DEL RECORRIDO DEL ARROYO LA ENCANTADA

NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	COORDENADAS UTM ZONA R14		DISTANCIA (KM)
	X	Y	
PUENTE DE RAMOS ARIZPE	305248	2831308	0
HIERBABUENA	301213	2835246	7.95
ZERTUCHE	300410	2838761	4.3
HIGO	301277	2839569	1.27
BOCATOMA MESILLAS	300073	2850633	13.7
MESILLAS	300115	2850654	0.52
SAN RAFAEL	303893	2861287	13.1
PAREDON	307755	2870324	11.0

3.7 Aplicación del método en el área de estudio.

Una vez ingresando al área donde se encuentra situado el arroyo La Encantada se seleccionaron los puntos de aforo tomando en cuenta que el tramo estuviera recto y de pendiente uniforme.

La vista general de los sitios considerados para la realización de los aforos se muestra en las siguientes figuras.



FIGURA12 PUENTE RAMOS ARIZPE



FIGURA 13 EJIDO HIERBABUENA



FIGURA 14 EJIDO ZERTUCHE



FIGURA 15 BOCATOMA HIGO



FIGURA 16 BOCATOMA EN MESILLAS



FIGURA 17 EJIDO MESILLAS



FIGURA 18 EJIDO SAN RAFAEL

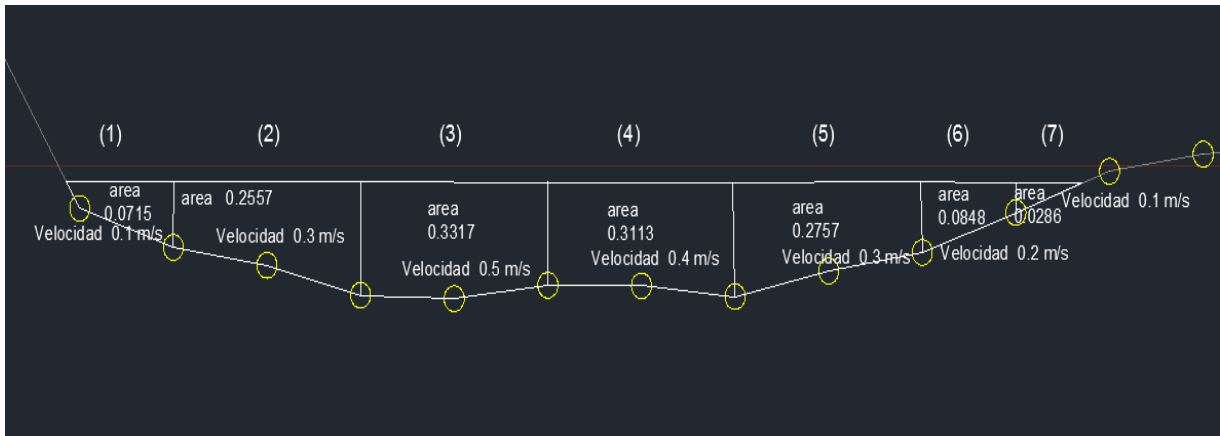
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta los resultados observados durante el aforo con el molinete de hélice modelo PFF211. Los cuales estas registrados en las siguientes figuras donde se incluyen los cálculos del área de la sección hidráulica, las velocidades de la corriente por segmento y el caudal o gasto de cada punto de aforo, cuyas formas geométricas se muestran en las siguientes figuras.



**PLANTA R. ARIZPE	
	area 2.3207 m2
(1) Area total * Velocidad	Velo prom 0.28 m3/s
Q= 0.0903 m2 * 0.1 m/s	Q= 0.6902 m3/s
Q= 0.00903 m3/s	(5) Area total * Velocidad
(2) Area total * Velocidad	Q= 0.4714 m2 * 0.1 m/s
Q= 0.2337 m2 * 0.2 m/s	Q= 0.04714m3/s
Q= 0.04674 m3/s	(6) Area total * Velocidad
(3) Area total * Velocidad	Q= 0.3970 m2 * 0.1 m/s
Q= 0.4192 m2 * 0.8 m/s	Q= 0.0397 m3/s
Q= 0.33536 m3/s	(7) Area total * Velocidad
(4) Area total * Velocidad	Q= 0.2030 m2 * 0.2 m/s
Q= 0.5050 m2 * 0.6 m/s	Q= 0.0406 m3/s
Q= 0.303 m3/s	
	QT= 0.82157 m3/s
	QT= 821.57 L

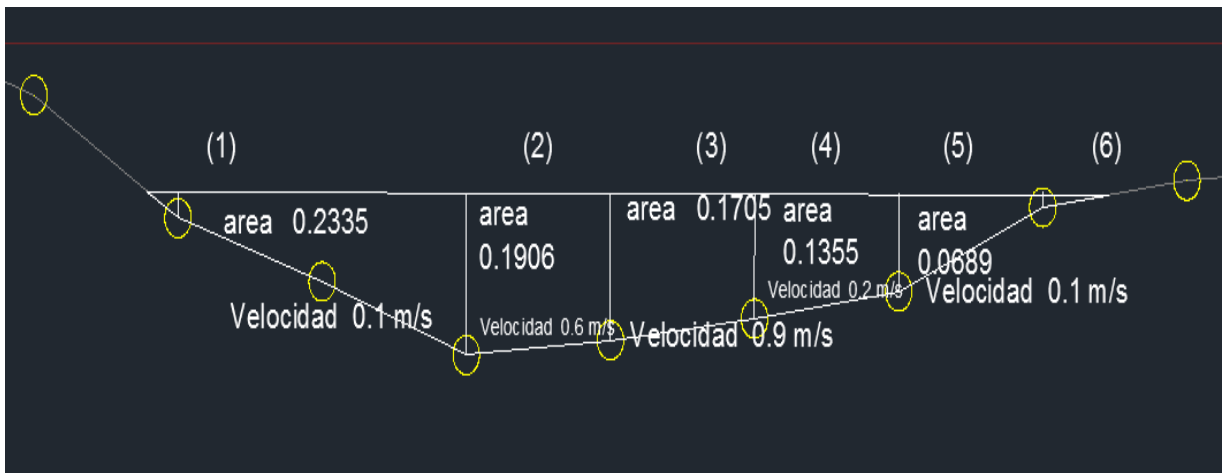
FIGURA 19 SECCIÓN RAMOS ARIZPE



****HIERBABUENA**

(1) Area total * Velocidad Q= 0.0715 m ² * 0.1 m/s Q= 0.00715 m³/s		(5) Area total * Velocidad Q= 0.2757 m ² * 0.3 m/s Q= 0.08271 m³/s
(2) Area total * Velocidad Q= 0.2557 m ² * 0.3 m/s Q= 0.07671 m³/s	+	(6) Area total * Velocidad Q= 0.0848 m ² * 0.2 m/s Q= 0.01696 m³/s
(3) Area total * Velocidad Q= 0.3317 m ² * 0.5 m/s Q= 0.16585 m³/s		(7) Area total * Velocidad Q= 0.0286 m ² * 0.1 m/s Q= 0.00286 m³/s
(4) Area total * Velocidad Q= 0.3113 m ² * 0.4 m/s Q= 0.12452 m³/s		
		QT= 0.47675 m³/s
		QT= 476.75 L

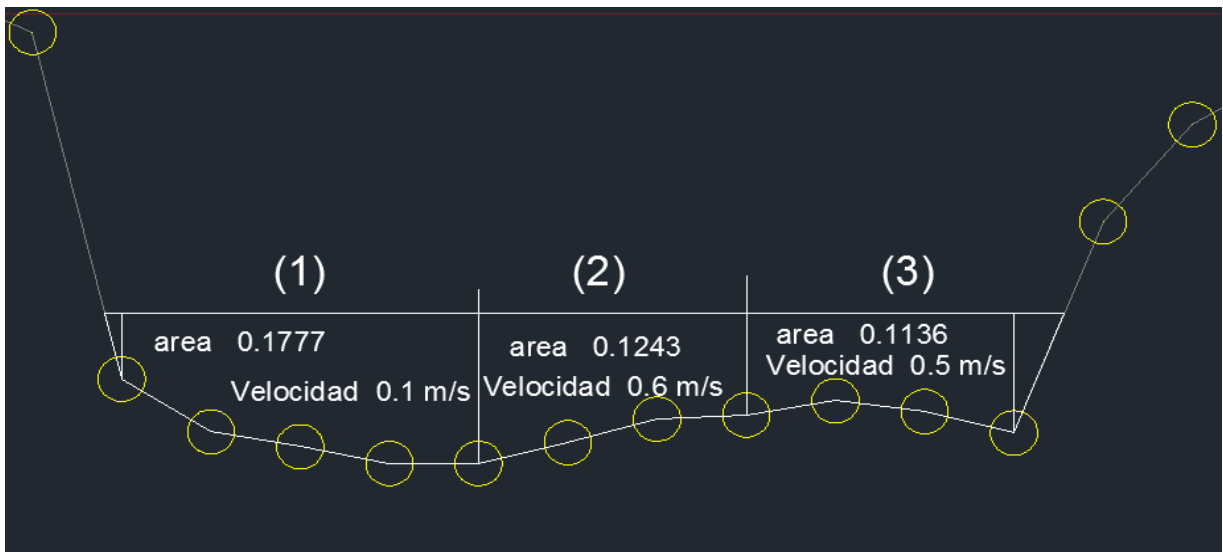
FIGURA 20 SECCIÓN EJIDO HIERBABUENA



****ZERTUCHE**

(1) Area total * Velocidad Q= 0.2335 m ² * 0.1 m/s Q= 0.02335 m³/s	area 0.7986 m ² Velo prom 0.38 m ³ /s Q= 0.3034 m ³ /s
(2) Area total * Velocidad Q= 0.1906 m ² * 0.6 m/s Q= 0.11436 m³/s	
(3) Area total * Velocidad Q= 0.1705 m ² * 0.9 m/s Q= 0.15345 m³/s	
	(4) Area total * Velocidad Q= 0.1355 m ² * 0.2 m/s Q= 0.0271 m³/s
	(5) Area total * Velocidad Q= 0.0689 m ² * 0.1 m/s Q= 0.00689 m³/s
QT= 0.32515 m³/s	
QT= 325.15 L	

FIGURA 21 SECCIÓN EJIDO ZERTUCHE



****HIGO**

area 0.4156 cm²
 Velo prom 0.4 m³/s
 Q= 0.16624 m³/s

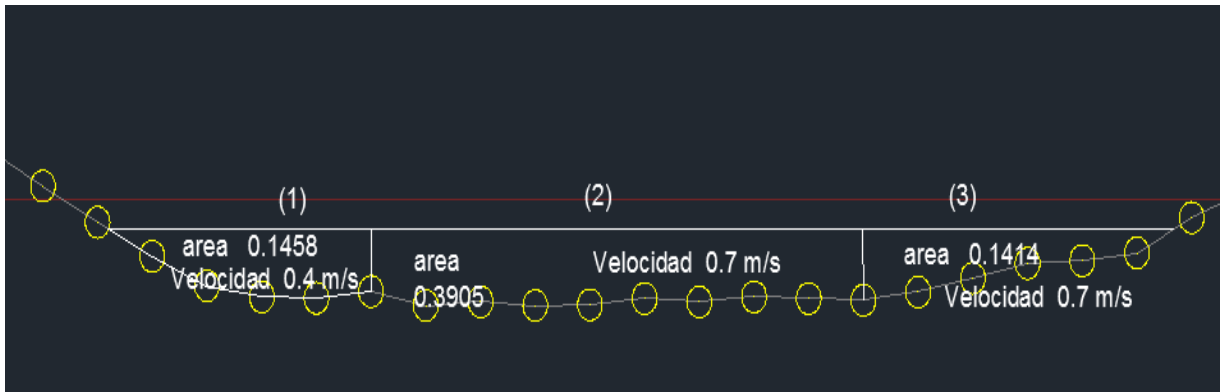
(1) $Q = 0.1777 \text{ m}^2 \cdot 0.1 \text{ m/s}$
 $Q = 0.01777 \text{ m}^3/\text{s}$

(2) Area total * Velocidad
 $Q = 0.1243 \text{ m}^2 \cdot 0.6 \text{ m/s}$
 $Q = 0.07458 \text{ m}^3/\text{s}$

(3) Area total * Velocidad
 $Q = 0.1136 \text{ m}^2 \cdot 0.5 \text{ m/s}$
 $Q = 0.0568 \text{ m}^3/\text{s}$

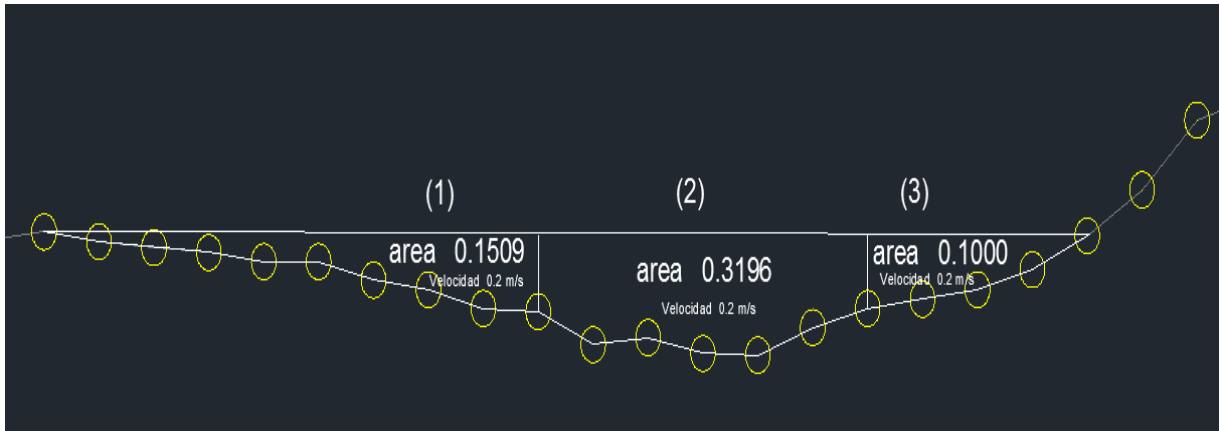
$QT = 0.14915 \text{ m}^3/\text{s}$
 $QT = 149.15 \text{ L}$

FIGURA 22 SECCIÓN BOCATOMA HIGO



**Mesillas Bocatoma		area 0.6982 m2
(1) Area total * Velocidad		Velo prom 0.6 m3/s
Q= 0.1458 m2 * 0.4 m/s		Q= 0.41892 m3/s
Q= 0.0583 m3/s		
(2) Area total * Velocidad	(3) Area total * Velocidad	
Q= 0.3905 m2 * 0.7 m/s	Q= 0.1414 m2 * 0.7 m/s	
Q= 0.2733 m3/s	Q= 0.0989 m3/s	
QT= 0.4305 m3/s		
QT= 430.5 L		

FIGURA 23 SECCIÓN BOCATOMA MESILLAS



	area 0.5705 m2
	Velo prom 0.2 m3/s
	Q= 0.1141 m3/s
**MESILLAS SECCION 2	
(1) Area total * Velocidad	
Q= 0.1509 m2 * 0.2 m/s	
Q= 0.03018 m3/s	
(2) Area total * Velocidad	QT= 0.1140 m3/s
Q= 0.3196 m2 * 0.2 m/s	QT= 114.0 L
Q= 0.0639 m3/s	
(3) Area total * Velocidad	
Q= 0.1000 m2 * 0.2 m/s	
Q= 0.02 m3/s	

FIGURA 24 SECCIÓN EJIDO MESILLAS



****San Rafael**

Area total * Velocidad

$Q = 0.4061 * 0.1 \text{ m/s}$

$Q = 0.04061 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q = 40.61 \text{ L}$

FIGURA 25 SECCIÓN EJIDO SAN RAFAEL

A continuación se presentan los resultados observados durante el aforo con el molinete de hélice Modelo PFF211, los cuales están registrados en el Cuadro 5 donde se incluyen los cálculos del área de la sección hidráulica.

CUADRO 5 PUNTOS DE MUESTREO, QUE REÚSAN EL AGUA RESIDUAL DE SALTILLO Y RAMOS ARIZPE

NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	LONG. (M)	AREA (M²)	GASTO (L/s)
PUENTE RAMOS ARIZPE	6.50	2.3199	821.4
HIERBABUENA	8.00	1.3593	476.5
ZERTUCHE	5.90	0.7940	324.9
HIGO	2.26	0.4156	149.0
BOCATOMA MESILLAS	4.00	0.6984	430.6
MESILLAS	3.90	0.5705	114.0
SAN RAFAEL	2.88	0.4063	40.5

LONG, AREA, GASTO: Longitud, área y gasto respectivamente de la sección considerada para la evaluación del gasto.

De acuerdo con los aforos realizados, se muestra en el Cuadro 5, que en el primer aforo se tiene un gasto de 821.4 L/s, se observa que en los siguientes poblados el gasto va disminuyendo, esto se debe a que el agua se desvía a los ejidos que aprovechan el agua residual para irrigar cultivos forrajeros y usarla en ganadería. También parte del agua que conduce el arroyo La Encantada se pierde por evaporación o infiltración en su trayecto.

El agua que abastece la bocatoma Mesillas, se observó en el Cuadro 5, que aumento con respecto al gasto anterior que se aforó. Analizando las imágenes de Google Earth se puede observar que hay aportaciones de agua al cauce principal, y de acuerdo a

un estudio previo relacionado a los caudales del arroyo La Encantada, se encontró el mismo comportamiento (Aguilera *et al.*, 2013).

Se recomienda incrementar el número de puntos de aforo en el cauce principal de la Encantada, para definir con más certeza las entradas y salidas de agua en el arroyo.

4. CONCLUSIONES

El arroyo La Encantada, durante su recorrido por las zonas urbanas de Saltillo y Ramos Arizpe, recibe las descargas de las aguas residuales municipales tratadas o no, de ambas ciudades.

Los agricultores de los ejidos Hierbabuena, Zertuche, Higo, Mesillas y San Rafael han estado usando aguas del arroyo La Encantada, cabe mencionar que al ejido Paredón no le llega agua, ya que en el transcurso del arroyo La Encantada se pierde por evaporación o infiltración en el trayecto de los 70 kms, que aproximadamente mide el tramo comprendido entre el sitio donde se ubica la planta tratadora de aguas residuales de Ramos Arizpe y el ejido Paredón.

Además, ya que los ejidos riegan por aniego (inundación de terreno), el cual es un método de riego poco eficiente, la forma en que se conduce y distribuye el agua del arroyo no es la mejor para su utilización.

El gasto estimado que circula por el arroyo La Encantada, en el punto de la salida de la planta tratadora de aguas residuales de Ramos Arizpe, es del orden de 821.4 L/s caudal que se distribuye de manera no equitativa entre los ejidos Hierbabuena, Zertuche, Higo, Mesillas y San Rafael. El caudal es estimado sobre la base de mediciones de ancho y profundidad del canal, velocidad del agua (medida con molinete de hélice Modelo PFF211) y se tiene que este gasto es muy escaso para la sustentabilidad de los ejidos y por lo que se requiere la implementación de métodos de riego más eficientes. Con esta implementación de métodos habrá un incremento en la eficiencia del riego y por consiguiente una mejor distribución, lo que permitirá el arribo del agua hasta el ejido Paredón, sin dejar de regar la superficie cultivada en los ejidos anteriores.

5. RECOMENDACIONES

Se debe considerar la implementación de métodos más eficientes para aplicar el agua a los campos de cultivo.

Realizar un plan de actividades para incrementar la eficiencia en el uso del agua y así hacerla más disponible a los agricultores usuarios. Instalar estructuras de aforo y control del gasto de entrada a cada ejido, administrando el agua del arroyo La Encantada.

Se recomienda incrementar el número de puntos de aforo en el cauce principal de la Encantada, para definir con más certeza las entradas y salidas de agua en el arroyo.

Se recomienda se intensifique los aforos, durante un año y de manera mensual para evaluar las variaciones de los gastos y contar con el dato de caudales mínimo y máximo, para que con esto se ponga más atención en la época crítica y de mayor necesidad de agua.

Instalar revestimientos de canales de derivación de agua, ya que con esta acción se podrá eliminar las pérdidas por infiltración, la prevención de la erosión, el ahorro en el tiempo de riego y con estas ventajas se tendrá un incremento en el rendimiento de agua.

Diseñar una red de canales por tuberías ya que la eficiencia de conducción puede ser cercana hasta un 98%, con este diseño se tiene una mejor flexibilidad y un mejor control de operación y de igual manera menores pérdidas de agua.

Es de mencionarse que estas recomendaciones tienen costo relativamente altos, por lo que los usuarios pueden acudir a fuentes de financiamiento de gobierno estatal y/o federal.

6. BIBLIOGRAFIA

- Aguilera, G. E. N., Tobón, E. G., Samaniego, M. L., Díaz, J. L., Carlos, H. S. y Valdés, R. A. 2013. Reúso de aguas residuales municipales tratadas en la región Saltillo – Ramos Arizpe – Arteaga. Editorial Valle de Candamo. Primera Edición. Saltillo, Coahuila. México. 102 p.
- Alianza por el Agua. 2014. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Monográficos agua en centroamerica. 261 p. En línea:
<http://alianzaporelagua.org/documentos/monografico3.pdf>
- Bernabé, P. C. 2005. Calibración de curvas elevaciones - gastos en estaciones de aforo, utilizando métodos de Hidraulica fluvial. Tesis de Posgrado. Universidad Nacional Autonoma de México. Facultad de Ingenieria . México. Febrero de 2006. 216 p. En línea: <http://132.248.9.195/ptb2005/01159/0343890/Index.html>
- Briones, S.G. y García C.I., 1997. Aforo del agua en canales y tuberías. TRILLAS, S.A: UAAAN, 2ª edición. Av. Rio Churubusco 285, Col. Pedro María Anaya. C.P. 03340. México, DF. 37-40 p.
- CEMDA. 2012. El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. Ed. Digital. Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua. 2016. 184 p. En línea:
https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-mexico_001.pdf
- CONAGUA.1992. Manual de Aforos. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Centro de consulta del Agua. México. 145 p.
- CONAGUA. 2007. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Selección e instalacion de equipos de macromedición. Comisión Nacional del Agua. 122 p. Diciembre del 2007.
- Díaz Cuenca, E., Alvarado Granados, A. R., & Camacho Calzada, K. E. 2012. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y

energía. Mexico: Quivera. En línea:
<http://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>

- Díaz, L. A. 2011. Construcción de un prototipo del molinete universal para la medición de la velocidad del agua en ríos, basado en el molinete universal utilizado en el Inamhi. Escuela Politécnica Nacional. Proyecto a la obtención del título de tecnológico en electromagnética. Quito. 171 p. Octubre de 2011. En línea: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4165/1/CD-3870.pdf>
- FAO. 2013. Afrontar la escasez de agua un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Organización de Las Naciones Unidas Para La alimentación y la agricultura. 97 p. Roma, 2013. En línea: <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>
- FAO. 2013a. Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. 144 p. Roma 2013 En línea: <http://www.fao.org/docrep/017/i1629s/i1629s.pdf>
- González, E. P. 2016. Medición de flujo volumétrico en presas, canales y pozos. 1ª. Ed. digital. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 184 p. México. 2016
- IDEAL. 2006. Manifestación de impacto ambiental modalidad particular del saneamiento integral de las aguas residuales del municipio de Saltillo, Coahuila. Impulsora del desarrollo y empleo en América Latina. IDEAL. Saltillo, Coahuila. 294 p.
- Monroy, M. A. 2010. Medidores de flujo en canales abiertos. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala. 138 p. En línea: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3165_C.pdf
- Pérez, N. N. 2014. Aforo del caudal conducido en la acequia del ejido Parras Coahuila por el método del molinete Gurley 622. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Ingeniería. Coahuila, México. 84 p. 2014. En línea: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1865/5146>

4%20MORALES%20PEREZ%2C%20NORMA%20NOEMI%20%20%20TESIS.
pdf?sequence=1

Pérez, R. M. 2013. Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. En hidrometría y aforo de corrientes naturales (pág. 37). Medellín Colombia. En línea:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/12697/68/3353962.2005.Parte%2013.pdf>

SAGARPA. 2015. Agenda técnica agrícola. En J. E. Roviroso, generalidades de Coahuila (segunda edición 2015 ed.). México.

SAGARPA. 2014. Atlas de las Zonas Áridas de México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA. México. 136 p.

Valdes, J. E. 2007. Métodos de aforo para la estimación de la recarga de acuíferos. Tesis de Licenciatura. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile. Junio 2007. 154 p. En línea:
http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/galecio_j/sources/galecio_j.pdf