

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**“DISEÑO, ENSAMBLE Y EVALUACIÓN DE UN EQUIPO DE  
INYECCIÓN MÚLTIPLE TIPO VENTURI PARA FERTIRRIGACIÓN”**

Presenta:

**CESAR JESÚS MAYA MARTINEZ**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para

Obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

BUENAVISTA. SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

MARZO 2016

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



DISEÑO, ENSAMBLE Y EVALUACIÓN DE UN EQUIPO DE INYECCIÓN  
MÚLTIPLE TIPO VENTURI PARA FERTIRRIGACIÓN

Presenta:  
CESAR JESÚS MAYA MARTINEZ

Que somete al H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el  
título de:  
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada  
Comité de asesoría.

M.C. Gregorio Briones Sánchez.  
Asesor Principal

Dr. Felipe de Jesús Ortega Rivera  
Coasesor

M.C. Carlos Rojas Peña  
Coasesor  
Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

Dr. Luis Samaniego Moreno  
Coordinador de la División de Ingeniería



Coordinación de  
Ingeniería

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.  
MARZO 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por todas las bendiciones que me ha otorgado, su ayuda y protección me permitió superar diversas adversidades y terminar este escalón en mi vida profesional, la familia en la cual me dejo nacer, por todo esto y más gracias.

A la familia Maya por todo su cariño y apoyo.

A mi asesores

M.C Gregorio Briones Sánchez gracias por brindarme las herramientas para la elaboración de este trabajo, por su ayuda y paciencia para la finalización del mismo.

Dr. Felipe de Jesús Ortega Rivera gracias por su asesoramiento para la finalización de este trabajo.

M.C. Carlos Rojas Peña gracias por su apoyo en la realización de este trabajo.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme las herramientas para terminar mis estudios profesionales.

A Yet, mi novia, mi amiga y compañera, gracias por todo este tiempo.

A todas las personas que me apoyaron para la realización de este trabajo, amigos y compañeros.

## DEDICATORIAS

A mis padres

**Constantino Maya Bautista**

**Ma. Magdalena Martínez Vázquez.**

Pa, gracias por creer siempre en mí, por estar conmigo y nunca dejarme solo, con tus consejos me has ayudado a tomar decisiones para enfrentar momentos difíciles de mi vida, pero sobre todo gracias por el amor tan grande que me has dado.

Mami, tu fortaleza ante la vida me ha animado a seguir adelante, eres el ángel que Dios mando a mi vida para cuidarme y guiarme, para darme esas palabras sabias para mis enojos, mis tristezas y mis alegrías, por ser mi amiga y cómplice en muchas ocasiones por todo esto y más te quiero mucho

A mis hermanos Julio Jacobo y Abigail Catalina, mis amigos de toda la vida

A mis tíos

Romeo Adán Amador Cruz

Ma. De los Ángeles Maya Bautista

Su apoyo fue muy importante, siempre han estado en los momentos más difícil de la familia gracias por todo su cariño.

A mis abuelos

Pedro Maya Santiago

Catalina Bautista Peralta

Daniel Martínez Santos

Guadalupe Vázquez Santiago

A mi abuelita Cata mi segunda mamá gracias por todo su amor, cuidados y consejos.

## INDICE GENERAL

	Pág.
INDICE GENERAL.....	I
INDICE DE FIGURAS .....	III
ÍNDICE DE CUADROS .....	IV
RESUMEN .....	V
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.2 Hipótesis .....	2
II. REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1 Definición y propiedades de los fluidos .....	3
2.1.1 Temperatura .....	3
2.1.2 Densidad y peso específico .....	3
2.1.3 Viscosidad.....	4
2.2 Presión .....	5
2.2.1 Presión de un fluido.....	6
2.3 Medidores de presión diferencial.....	6
2.3.1 Ventajas de los medidores de presión diferencial .....	9
2.3.2 Desventajas .....	9
2.4 Fertirrigación .....	9
2.5 Equipos de inyección.....	10
2.5.1 Clasificación de equipos .....	10
2.6 Efecto Venturi.....	13
2.6.1 Características y beneficios de inyectores Venturi.....	14
2.6.2 Aplicaciones del Venturi.....	14
III. MATERIALES Y METODOS .....	16
3.1 Lugar y fecha de establecimiento .....	16
3.2 Materiales y equipo requerido.....	16
3.3 Metodología.....	16
3.3.1 Procedimiento del ensayo. ....	16
3.3.2 Procedimiento de ensamble del equipo. ....	17

3.3.3 Toma de datos en campo con el equipo .....	18
3.3.4 Parámetros de observación .....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
4.1 Desempeño del equipo a diferentes presiones.....	22
4.2 Comparación del equipo Venturi contra orificios.....	25
4.3 Análisis de costo.....	27
V. CONCLUSIONES .....	28
VI. RECOMENDACIONES .....	29
VI. ANEXOS.....	30
Anexo 1. Especificaciones técnicas.....	31
Anexo 2. Minimac manual .....	32
VII. LITERATURA CITADA.....	33

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2. 1 Esquema de un sistema de inyección con bomba inyectora. ....	11
Figura 2. 2 Esquema de un sistema de tanque a presión.....	12
Figura 2. 3 Esquema de instalación a la succión de la bomba .....	12
Figura 2. 4 Inyector venturi conectado en paralelo a una válvula sencilla. ....	12
Figura 2. 5 Diagrama del efecto Venturi .....	13
Figura 3. 1 Ensamble del equipo de inyección múltiple con Venturi.....	18
Figura 3. 2 Esquema de instalación del equipo de inyección tipo Venturi. ....	19
Figura 3. 3 Equipo de inyección instalado en el jardín Hidráulico.....	20
Figura 3. 4 Equipo de inyección tipo Venturi succionando la solución.....	21
Figura 4. 1 Grafica de curvas de rendimiento de cada Venturi.....	23
Figura 4. 2 Grafica de curvas de rendimiento de los Venturis comparada con la curva de referencia de la marca .....	24
Figura 4. 3 Grafica de curvas de rendimiento del inyector tipo orificio.....	25
4. 4 Grafica de curvas de rendimiento del inyector tipo Venturi con relación al tipo orificios.....	26

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 3. 1 Formato para el registro de datos. ....	20
Cuadro 4. 1 Rendimiento de los inyectores Venturi instalados en el equipo...22	
Cuadro 4. 2 Prueba t de Student para medias de los Venturi 2 y 3. ....	23
Cuadro 4. 3 Prueba t de Student para medias de Venturis y Marca. ....	24
Cuadro 4. 4 Prueba t de Studet para inyector Venturi y Orificio. ....	27

# DISEÑO, ENSAMBLE Y EVALUACIÓN DE UN EQUIPO DE INYECCIÓN MÚLTIPLE TIPO VENTURI PARA FERTIRRIGACIÓN.

Por: Cesar J. Maya Martínez  
Clave del Proyecto: 38111-3641-573

## RESUMEN

Los equipos de fertirriego son una herramienta que ayuda a optimizar los recursos para la producción agrícola, pero los equipos comerciales son caros por esto se diseñó un equipo de inyección múltiple con 3 Venturi, que realice funciones similares a las que ofrecen los equipos comerciales, pero que tengan un precio menor para que sea accesible para los productores.

El diseño del equipo de inyección múltiple tipo Venturi funcionó eficientemente es sencillo y económico. La presión de operación mínima requerida por el equipo es de  $0.8 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que el mejor rendimiento del equipo de inyección tipo Venturi se obtiene con un diferencial de presión de  $1.65 \text{ Kg/cm}^2$ .

El equipo de inyección de control manual tiene un precio de \$ 1 648.50 pesos siendo económico, mientras que un equipo comercial tiene un costo de \$ 78 057.92 pesos por esto es difícil de adquirir para un pequeño productor.

Se comparó el equipo de inyección múltiple tipo Venturi con un equipo tipo orificios, obteniendo que con el mismo diferencial de presión ( $0.8 - 2.35 \text{ Kg/cm}^2$ ) el gasto succionado por el inyector tipo Venturi ( $1.3 - 2.9 \text{ L/min}$ ) es mayor con relación al tipo orificio ( $0.65 - 2.2 \text{ L/min}$ ) respectivamente, demostrando que el inyector Venturi es más eficiente.

Correo electronico; Cesar Jesús Maya Martínez, [cesarmaya10@gmail.com](mailto:cesarmaya10@gmail.com)

### Palabras claves

Inyector Venturi, equipo de inyección múltiple, diferencial de presión.



## I. INTRODUCCION

El ser humano ha provocado innumerables cambios en el medio ambiente, la sobrepoblación ha provocado que los espacios para la producción agrícola, sean cada vez más reducidos y retirados de las poblaciones, las plagas y enfermedades, la escases de agua, entre otros, han provocado que día a día la agricultura sea una actividad más riesgosa y a veces no rentable para el productor.

Estos cambios ha provocado que la agricultura tenga que producir más con menos, para esto requiere optimizar los recursos, con la ayuda de la tecnología se ha diseñado herramientas, equipos y sistemas de riego que ayudan a optimizar el riego y las actividades ligadas a él, tales como fertilización y la aplicación de agroquímicos.

La fertirrigación, es el proceso mediante el cual los fertilizantes o elementos nutritivos que necesita una planta son aplicados junto con el agua de riego. Cuando además de fertilizante se aplica otro tipo de productos químicos como herbicidas, insecticidas, fumigantes de suelo, acondicionadores de suelo y compuestos que permiten el buen funcionamiento de los sistemas de riego presurizados, se le llama quimigación (Martínez, 1998).

Los equipos de fertirriego comerciales son caros y por ende inaccesible para los pequeños y medianos productores, por ello se requiere desarrollar equipos que realicen funciones similares a las que ofrecen los equipos comerciales, pero que tengan un precio menor para que sean accesibles para los productores.

## 1.1 Objetivos

Objetivo general:

- Diseñar, ensamblar y evaluar el desempeño de un inyector múltiple tipo Venturi, aplicando los principios de la hidráulica, empleando en su construcción partes y accesorios comerciales.

Objetivos específicos:

- Construir el prototipo de inyector ensamblando 3 Venturis en el múltiple de alimentación del sistema.
- Cuantificar pérdidas en el sistema.
- Evaluar el desempeño del prototipo a diferentes diferenciales de presión.
- Comparar el prototipo contra un inyector múltiple de orificios.

## 1.2 Hipótesis

$H_0$ : El inyector múltiple Venturi es más eficiente que un inyector múltiple de orificios.

$H_a$ : El inyector múltiple de orificios es más eficiente que el Venturi.

## II. REVISION DE LITERATURA

Las moléculas de cualquier sustancia presentan cierta resistencia a su movimiento relativo. La *deformación* de un sólido, es decir, el desplazamiento relativo de sus moléculas, requiere esfuerzos mecánicos finitos. Los fluidos son sustancias que se deforman bajo la acción de esfuerzos tangenciales exteriores, por pequeños que estos sean, y presentan resistencia solo mientras se realiza la deformación. No se trata pues de una resistencia a la deformación absoluta ya producida, sino a la velocidad con que se produce (Losada 2009).

### 2.1 Definición y propiedades de los fluidos

#### 2.1.1 Temperatura

La magnitud de la temperatura se puede relacionar con la actividad molecular que resulta de la transferencia de calor. Las escalas de medida se definen en términos de la expansión volumétrica de ciertos líquidos. El cero absoluto de cualquier escala de temperatura se fija por la condición de que cese la actividad molecular, producto de la transferencia de calor. Así mismo menciona que ciertas magnitudes físicas dependen de los efectos termostáticos y termodinámicos, además de la temperatura y calor equivalentes en energía mecánica, su energía calorífica se mide en joule dentro del sistema métrico absoluto y en BTU para el sistema ingles absoluto(Sotelo, 2003).

#### 2.1.2 Densidad y peso específico

La *densidad absoluta*  $\rho$  de una sustancia homogénea, bajo unas condiciones dadas, a la masa contenida en su unidad de volumen. Al considerar una partícula elemental, se tiene:

$$\rho = \frac{dm}{dV}$$

En función de las dimensiones fundamentales, las de la densidad son  $[M][L]^{-3}$ .

Se llama *peso específico o absoluto*  $\gamma$  de una sustancia homogénea, bajo unas condiciones dadas, al peso de su unidad de volumen. Se tiene, pues:

$$\gamma = \frac{dF_g}{dV}$$

En función de las dimensiones fundamentales, las del peso específico son  $[M][L]^{-2}[T]^{-2}$ .

Aplicando la relación resulta:

$$\gamma = \rho g$$

Que relaciona la densidad y el peso específico absolutos de una sustancia. La densidad y el peso específico se pueden medir también en valores relativos, respecto a los de otras sustancias que se tome como tipo de comparación. Si  $\rho$  y  $\gamma$  son los valores absolutos correspondientes a una sustancia y  $\rho_c$  y  $\gamma_c$  los de la sustancia de comparación, se tiene:

$$\left. \begin{array}{l} \gamma = \rho g \\ \gamma_c = \rho_c g \end{array} \right\} \quad \frac{\gamma}{\gamma_c} = \frac{\rho}{\rho_c} = d$$

El numero adicional  $d$ , cuyo valor es independiente de la constante gravitatoria, mide pues la densidad y el peso específico relativo de cualquier sustancia. Es la llamada *densidad relativa*.

### 2.1.3 Viscosidad

La *viscosidad* de un fluido es una medida de su resistencia a fluir, como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas. Si se considera el movimiento de un flujo sobre una frontera sólida fija, donde las partículas se mueven en líneas rectas paralelas, se puede suponer que el flujo se produce en forma de capas o láminas de espesor diferencial cuyas velocidades varían con la distancia  $y$ , normal a dicha frontera.

De acuerdo al perfil de velocidades, el esfuerzo cortante generado entre el fluido y la pared es mayor al que hay entre las capas de fluido adyacente. Los

llamamos *newtonianos* se comportan conforme esta ley: en cambio, en los *no newtonianos* es distinto, pues en este grupo quedan comprendidos diferentes tipos. En los casos extremos se encuentran: el *fluido no viscoso* con viscosidad  $\mu = 0$  y, el *elástico*, con viscosidad  $\mu = \infty$ .

Las dimensiones de la viscosidad dinámica, en el sistema absoluto, con  $[M][L]^{-1} [T]^{-1}$ .

La viscosidad dinámica es función, principalmente, de la temperatura y la presión. La dependencia respecto de la presión es prácticamente despreciable para los líquidos y pequeña o despreciable para la mayoría de los gases y vapores, a menos que la presión resulte muy grande. En tanto que la viscosidad de los líquidos disminuye con la temperatura, la de los gases aumenta.

Para los cálculos prácticos es más conveniente relacionar la viscosidad dinámica del fluido y su densidad, con la fórmula.

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde  $v$  es la *viscosidad cinemática*.

## 2.2 Presión

Presión es la fuerza normal por unidad de área, y está dada por:

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde  $P$  es la fuerza de presión,  $F$  es la fuerza normal es decir perpendicular a la superficie y  $A$ , es el área donde se aplica la fuerza.

### 2.2.1 Presión de un fluido

Un sólido es un cuerpo rígido y puede soportar que se le aplique fuerza sin que cambie sensiblemente su forma, un líquido solo puede soportar que se le aplique fuerza en una superficie o frontera cerrada si el fluido no está restringido en su movimiento, empezará a fluir bajo el efecto del esfuerzo cortante en lugar de deformarse elásticamente.

La fuerza que ejerce un fluido sobre las paredes del recipiente que lo contiene actúa siempre en forma perpendicular a las paredes. Los líquidos ejercen presión en todas direcciones. La presión de un líquido a cierta profundidad es la misma en todo el fluido a esa profundidad y es igual al peso de la columna del fluido a esa altura.

### 2.3 Medidores de presión diferencial

Borguer (2003) comenta que cualquier restricción de fluido produce una caída de presión después de esta, lo cual crea una diferencia de presión antes y después de la restricción. Esta diferencia de presión tiene relación con la velocidad del fluido y se puede determinar aplicando el Teorema de Bernoulli, y si se sabe la velocidad del fluido y el área por donde está pasando se puede determinar el caudal.

La relación de descarga fundamental para el medidor de presión diferencial se describe como sigue: Se considera un flujo continuo que ocurre a través de un ducto circular, que se encuentra con el orificio restrictivo de área  $A_0$ , y continúa como un chorro corriente abajo. Corriente abajo de la restricción, las líneas de corriente convergen y forman un área de flujo mínima  $A_c$ , denominada contracción de la vena fluida. En dos posiciones se localizan insertos de presión: corriente arriba de la restricción en la región de flujo no perturbado y corriente abajo en algún lugar cerca de la contracción de la vena fluida.

Rivera (2011) describe cómo obtener el gasto, suponiendo que es un fluido incompresible ideal, sin fricción, la ecuación de Bernoulli aplicada a lo largo de la línea de corriente central a partir del lugar corriente arriba hasta la contracción de la vena fluida es:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_c^2}{2g} + \frac{P_c}{\gamma} + Z_c \quad (2.0)$$

Así mismo, la ecuación de continuidad es

$$V_1 A_1 = V_c A_c \quad (2.1)$$

Si se combinan las ecuaciones 1 y 1.1 y se resuelven para  $V_c$  se obtiene

$$V_c = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_c)}{1 - (A_c/A_1)^2}} \quad (2.2)$$

En la cual

$$h_1 = \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \quad h_c = \frac{P_c}{\gamma} + Z_c \quad (2.3)$$

La descarga ideal  $Q_i$  es igual al área multiplicada por la velocidad promedio en la contracción de la vena fluida:

$$\begin{aligned} Q_i &= A_c V_c \\ &= \frac{A_c}{\sqrt{1 - (A_c/A_1)^2}} \sqrt{2g(h_1 - h_c)} \end{aligned} \quad (2.4)$$

La descarga difiere de la ideal por dos razones principales. A causa del flujo de fluido real, la fricción provoca que la velocidad en la línea media sea mayor que la velocidad promedio en cada sección transversal. En segundo lugar, la carga piezométrica  $h_c$ , evaluada en la contracción de la vena fluida en la relación, es

sustituida por  $h_2$ , la lectura conocida en el inserto de presión corriente abajo. Además como el área de contracción de la vena fluida no es conocida, en la ecuación 1.4 conviene reemplazar  $A_c$  con  $C_c A_0$ , donde  $C_c$  es el coeficiente de contracción. Estas anomalías son tomadas en cuenta con la introducción de un coeficiente de descarga  $C_d$ , el cual es el producto del coeficiente de contracción y un coeficiente de velocidad, de modo que la descarga  $Q$  está dada por la relación

$$Q = \frac{C_d A_0}{\sqrt{1 - (C_c A_0 / A_1)^2}} \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \quad (2.5)$$

Para una sección transversal circular, la cual es típica de la mayoría de los medidores de presión diferencial, conviene introducir la relación de diámetro

$$\beta = \sqrt{\frac{A_0}{A_1}} = \frac{D_0}{D} \quad (2.6)$$

Donde  $D$  es el diámetro del tubo. Una forma conveniente de expresar la ecuación 1.6 es

$$Q = K A_0 \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \quad (2.7)$$

En la cual  $K$  es el coeficiente del flujo

$$K = \frac{C_d}{\sqrt{1 - C_c^2 \beta^4}} \quad (2.8)$$

Un análisis dimensional revela que  $C_d$  y  $K$  dependen del número de Reynolds.

### 2.3.1 Ventajas de los medidores de presión diferencial

- Sencillez y robustez de construcción.
- Su funcionamiento se comprende con facilidad.
- No son caros, particularmente si se instalan en tuberías de diámetros grandes.
- Pueden utilizarse para la mayoría de los fluidos.
- Abundante literatura sobre sus diferentes usos.

### 2.3.2 Desventajas

- Algunos pueden producir grandes pérdidas de carga para el sistema.
- Tienen una menor capacidad de medida que otros tipos de medidores.
- Deben respetarse unos tramos rectos de tubería aguas arriba y aguas abajo del medidor que, según el trazado de la tubería y los accesorios existentes, pueden ser grandes.
- La precisión suele ser menor que la de medidores más modernos, especialmente si, como es habitual, el medidor se entrega sin calibrar

## 2.4 Fertirrigación

La fertirrigación es el aprovechamiento del flujo de agua del sistema de riego para transportar los elementos nutritivos que necesita la planta hasta el lugar donde se desarrollan las raíces, con lo cual se optimiza el uso del agua, los fertilizantes y la energía, y reduciendo la contaminación si se maneja de una forma adecuada.

En los programas de fertirrigación se aplican los nutrientes primarios (N, P, K), secundarios (Ca, Mg, S), micronutrientes y ácidos para el ajuste del pH, a veces, dependiendo de las condiciones agroquímicos por lo mismo se inyectan:

- Mezcla previamente preparada.
- Inyección de cada producto de forma individual.

La inyección de forma individual tiene algunas ventajas entre las cuales tenemos:

- Evita el sobrante de solución madre en el tanque de mezcla.
- La combinación de los productos ocurre dentro de la tubería de riego.
- Solo se extrae de los envases la cantidad que se inyecta en el momento.

## **2.5 Equipos de inyección**

Los equipos de inyección son una herramienta que permite la incorporación de gases, líquidos e incluso sólidos a un flujo principal, de una forma rápida y precisa con un bajo consumo de energía.

### **2.5.1 Clasificación de equipos**

Manzano (2008) clasifica los equipos de inyección por la forma en que produce la incorporación de producto químico, los principios en que se basa el funcionamiento del equipo y la fuente de energía, permiten su clasificación desde estos tres puntos de vista.

Atendiendo a la forma de realizar la inyección

1.- Caudal de inyección constante o casi constante, independiente del caudal de la red de riego.

2.- Caudal de inyección proporcional al de la red de riego y, por tanto, variable con este.

Según los principios de funcionamiento

1.- Inyección por diferencia de presión. La solución madre se incorpora a la corriente de riego creando una diferencia de presión entre esta y el depósito de almacenamiento.

2.- Inyección por bombeo. La solución madre se incorpora a la corriente de riego mediante una bomba.

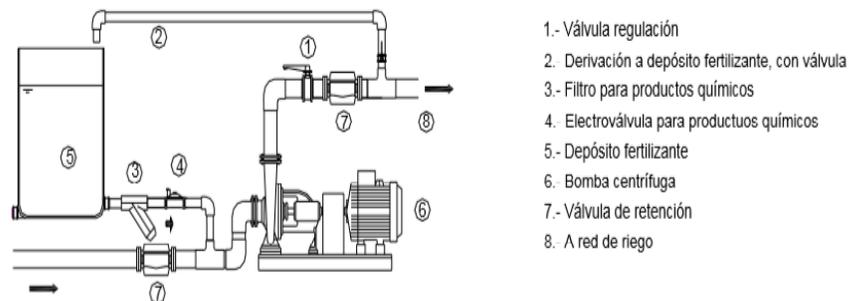
Según la fuente de energía usada.

1.- De accionamiento hidráulico, utilizando parte de la energía de la corriente de riego.

2.- De accionamiento eléctrico, utilizando este tipo de energía.

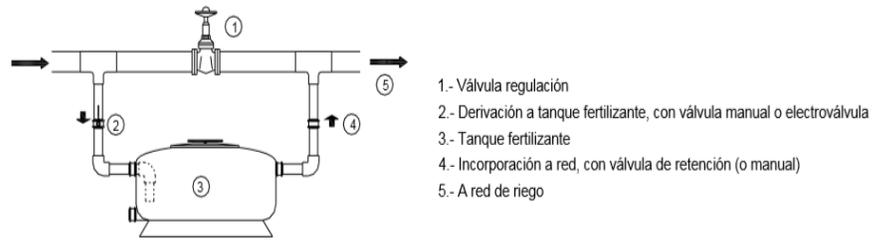
Martínez (1998) en su manual de fertirrigación menciona que son cuatro métodos los utilizados: El uso de bombas inyectoras, uso de tanques a presión, la inyección por succión positiva de la bomba y uso de inyectoros que utilizan la presión del agua en la red de tuberías (inyector tipo Venturi).

a) Bomba inyectora ver figura 2.1 (caudal constante o proporcional y de accionamiento hidráulico o eléctrico). Son dispositivos que introducen la solución contenida en un depósito accionados por una bomba eléctrica o hidráulica



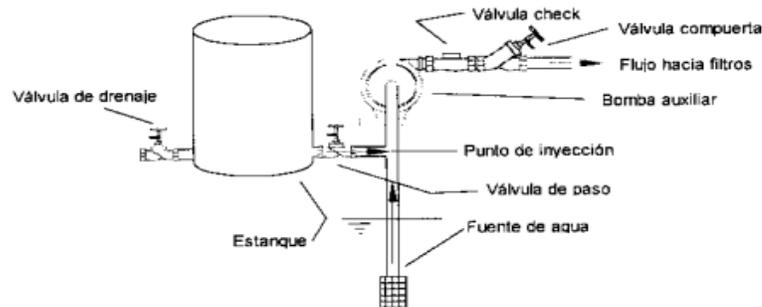
**Figura 2. 1 Esquema de un sistema de inyección con bomba inyectora.**

b) Tanque a presión (caudal constante creado por una diferencia de presión y de accionamiento hidráulico), son depósitos conectados en paralelo a la red de distribución. El fertilizante se incorpora al agua por diferencia de presión entre la entrada y la salida (ver figura 2.2).



**Figura 2. 2 Esquema de un sistema de tanque a presión**

c) Inyección por succión Positiva (inyección por diferencial de presión) este tipo es el más fácil de implementar, consiste en conectar el depósito de fertilizante al tubo de succión del equipo de bombeo (Figura 2.3)



**Figura 2. 3 Esquema de instalación a la succión de la bomba**

d) Venturi (caudal variable creado por una diferencia de presión y accionamiento hidráulico), es un tubo normalmente conectado en paralelo a la tubería que presenta un estrechamiento, que produce que la velocidad del fluido aumente y la presión caiga provocando la succión del líquido (ver figura 2.4)



**Figura 2. 4 Inyector Venturi conectado en paralelo a una válvula sencilla.**

## 2.6 Efecto Venturi

El efecto Venturi consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado, disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de sección menor. En ciertas condiciones, cuando el aumento de velocidad es muy grande, se llegan a producir presiones negativas y entonces, si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido de este conducto, que se mezclará con el que circula por el primer conducto. Este efecto, demostrado en 1797, recibe su nombre del físico italiano Giovanni Battista Venturi.

Un fluido incompresible de densidad  $\rho$  fluye por un canal de diámetro variable (ver figura 2.5). Debido a que la sección transversal decrece de  $D_1$  (mayor) a  $D_2$  (menor), la velocidad del fluido incrementa de  $V_0$  a  $V$ , la presión disminuye de  $P_1$  a  $P_2$  generando una presión negativa que provoca la succión del fluido.

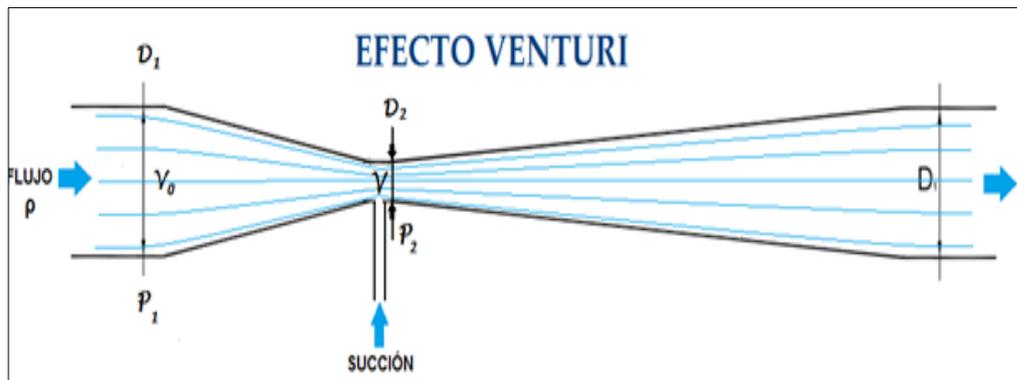


Figura 2. 5 Diagrama del efecto Venturi

La tasa de flujo  $R$  (volumen/tiempo) del fluido por el tubo, está relacionada con la velocidad del fluido (distancia/tiempo) y el área de la sección transversal del tubo. El flujo debe ser constante sobre la longitud del tubo. Esta relación es conocida como la ecuación de continuidad, y es expresada como:

$$R = A_0V_0 = AV$$

### 2.6.1 Características y beneficios de inyectores Venturi

The Toro Company en su manual de usuario describe las siguientes características y beneficios de los inyectores tipo Venturi.

- Ahorro de mano de obra.
- Es seguro de usar, ya que los productos químicos están al vacío, no a presión.
- Provee distribución uniforme de los productos químicos.
- No requiere de conexión eléctrica en la mayoría de los sistemas de riego.
- Bajo mantenimiento, sin partes móviles.
- No se pueden inyectar los productos químicos mientras el sistema de riego está apagado.
- Disponible en Polipropileno o PVDF (kynar®). Kynar es altamente resistente a la mayoría de los ácidos y a los productos químicos.

### 2.6.2 Aplicaciones del Venturi

✓ Tubos de Venturi: Medida de velocidad de fluidos en conducciones y aceleración de fluidos.

✓ Hidráulica: La depresión generada en un estrechamiento al aumentar la velocidad del fluido, se utiliza frecuentemente para la fabricación de máquinas que proporcionan aditivos en una conducción hidráulica.

✓ Agricultura: Para uso agrícola con sistemas de riego por goteo, aspersión o cualquier otro sistema de riego presurizado que necesite inyección de gases o líquidos.

✓ Industria automotriz: La utilización de un tubo de Venturi en el carburador de un automóvil, un ejemplo familiar del teorema de Bernoulli. La presión del aire, que pasa a través del cuerpo del carburador, disminuye cuando pasa por un estrangulamiento. La disminución de presión permite que fluya la gasolina, se vaporice y se mezcle con la corriente de aire.

✓ En la aerodinámica: se busca crear una zona de alta presión por encima del vehículo (mediante el uso de faldones) y una de baja presión por debajo (gracias al diseño especial de la parte inferior de la carrocería); la diferencia de presiones provoca una succión que “aplata” al vehículo contra el suelo (conforme a la Tercera Ley del Movimiento de Newton), mejorando el agarre, lo que se traduce en la posibilidad de trazar curvas a mayor velocidad.

✓ En los equipos ozonificadores de agua, se utiliza un pequeño tubo Venturi para efectuar una succión del ozono que se produce en un depósito de vidrio, y así mezclarlo con el flujo de agua que va saliendo del equipo con la idea de destruir las posibles bacterias patógenas y de desactivar los virus y otros microorganismos que no son sensibles a la desinfección con cloro.

✓ Acuariofilia: En las tomas de bombas de agua o filtros, el efecto Venturi se utiliza para la inyección de aire.

✓ Cardiología: El efecto Venturi se utiliza para explicar la regurgitación mitral que se puede dar en la miocardiopatía hipertrófica, y que es causa de muerte súbita en deportistas. La explicación es que el movimiento sistólico anterior (MSA) que realiza la valva anterior de la válvula mitral, se produce porque la hipertrofia septal y el estrechamiento del tracto de salida provocan una corriente de alta velocidad sobre la v. mitral, que debido al efecto Venturi, succiona el extremo de la valva anterior contra el septo, que impide la salida de sangre, por lo que regurgita hacia la aurícula izquierda.

✓ Neumología: El efecto Venturi se utiliza en máscaras para la administración de concentraciones exactas de oxígeno, de manera de controlar la fracción de oxígeno en una mezcla de gas inspirado. Se denominan máscaras de Venturi o Ventimask.

✓ Odontología: el sistema de aspiración de saliva en los equipos dentales antiguos utilizaba tubos finos Venturi. Ahora la aspiración está motorizada.

## III. MATERIALES Y METODOS

### 3.1 Lugar y fecha de establecimiento

El lugar donde se llevó a cabo las pruebas del experimento fue en el jardín hidráulico del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, cuya ubicación geográfica se encuentra en las siguientes coordenadas: 25° 21' 16.93" Latitud Norte, 101° 02' 09.82" Longitud Oeste, con una altitud media sobre el nivel de mar de 1742 m. El 28 de Octubre del año 2015 fue la fecha de establecimiento del experimento.

### 3.2 Materiales y equipo requerido

Tres inyectores Venturi WADE RAIN VI75, válvula tipo globo de PVC de 1", 2 manómetros de caratula, 2 reducciones de acero galvanizado de ½" a ¼" para conectar manómetro, 1 bomba centrífuga de 1 ½ hp, succión de la bomba 1 ¼", descarga de la bomba de 1", 3 abrazaderas de acero inoxidable, 6 tees de 1", 6 reducciones bushing de 1"- ¾", 6 adaptador rosca hembra de ¾", 2 tees reducidas a ½" roscada, 2 adaptador rosca hembra, 2 codos inserción rosca macho, 2 tapón cementar de 1", tubos de PVC de 1".

### 3.3 Metodología

#### 3.3.1 Procedimiento del ensayo.

Este estudio se orientó para diseñar un equipo de fertirriego de construcción simple y económica que constara de 3 inyectores tipo Venturi, que pueda ser utilizado para la inyección de diferentes agroquímicos (fertilizantes, pesticidas, plaguicidas, ácidos) a la red principal del sistema de riego.

Para ello se aplicaron los siguientes principios hidráulicos: principio de Bernoulli, principio de continuidad, teorema de Torricelli para el flujo a través de orificios. Para la construcción del equipo se consideraron criterios para tuberías en paralelo, recomendaciones de fabricantes de inyectores, diagramas de instalación así como experiencias citadas en la literatura.

La abertura u orificio se realizó sobre una placa circular (de grosor suficiente para resistir la presión) la placa se perforo con la ayuda de un taladro en un diámetro calculado para igualar el gasto motriz que se obtuvo con el equipo con Venturi.

$$q = a.c \sqrt{\frac{2gh}{1-\left(\frac{a}{A}\right)^2}}$$

En la ecuación para orificios sumergidos, se sustituyen los datos conocidos (q, c, h, A) para obtener por despeje algebraico, el área del orificio o tamaño de la perforación.

$$a = \frac{q}{c \sqrt{\frac{2gh}{1-\left(\frac{a}{A}\right)^2}}}$$

Con la ayuda del programa de Excel se calculó el orificio, pero se tomaron en consideración medidas de brocas comerciales, dando como resultado que el orificio se realizara con una broca de 3/8" de diámetro.

### 3.3.2 Procedimiento de ensamble del equipo.

Se cortaron 8 tramos de tubo de PVC de 1" de aproximadamente 18 cm así como 8 tramos de 3/4" de aproximadamente 15 cm.

Se lijaron las puntas de los tramos cortados del tubo de PVC para eliminar la rebaba e imperfecciones que pudieran causar problemas a la hora de aplicar el cemento.

Se unieron los tubos de 3/4" con la tees de 1" mediante una reducción bushing completando 6 juegos.

Se unieron las tees entre sí con los tubos de PVC de un 1" para formar la estructura del equipo.

Se conectan los Venturis a los tubos de 3/4" mediante un adaptador rosca hembra de 3/4".

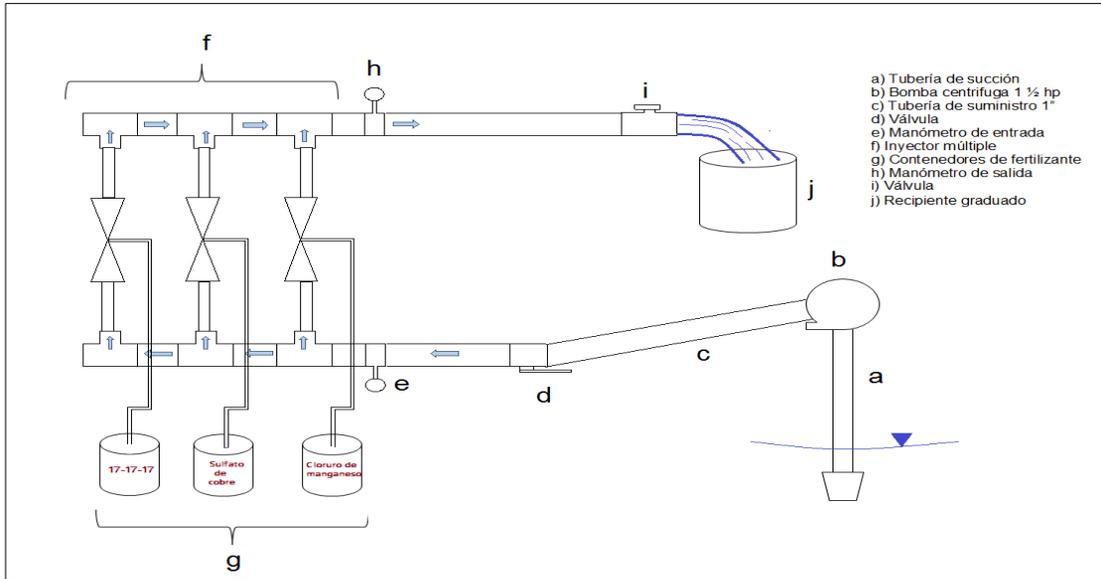
Se colocan 2 tees reducida rosca hembra para la colocación de los manómetros de caratula, que nos servirán para poder tomar lectura de las presiones de entrada y salida del equipo..



**Figura 3. 1 Ensamble del equipo de inyección múltiple tipo Venturi.**

### 3.3.3 Toma de datos en campo con el equipo

En la imagen (ver figura 3.2) se describe las partes y accesorios del equipo de inyección. El equipo se encuentra conectado a una bomba de una 1 ½ hp, mediante manguera de polietileno así como otra en la salida del equipo. Se llenaron los recipientes de 5 litros (contenedores de solución madre), para después tomar el tiempo en que los Venturis succionaban la solución. El flujo de agua que el equipo expulsaba fue medido volumétricamente en un recipiente graduado en un tiempo, para después calcular el gasto motriz promedio de cada Venturi.



**Figura 3. 2 Esquema de instalación del equipo de inyección tipo Venturi.**

Se instalaron manómetros a la entrada y a la salida del equipo para poder registrar sus lecturas para después calcular el diferencial de presión y con estas medidas describir la succión del equipo.

El equipo se llevó al jardín hidráulico del departamento de Riego y drenaje para su instalación y calibración, instalando como anteriormente se describió.



**Figura 3. 3 Equipo de inyección instalado en el jardín Hidráulico.**

Para realizar el registro de datos de una forma clara y lo más ordenado posible se diseñó un formato para el clasificado de lecturas observadas durante la realización del experimento en campo y su posterior evaluación.

**Cuadro 3. 1 Formato para el registro de datos.**

<b>EQUIPO DE INYECCION</b>						Fecha: _____	
<b>PRESION</b>		<b>TIEMPO</b>	<b>VENTURI 1</b>	<b>VENTURI 2</b>	<b>VENTURI 3</b>	<b>GASTO MOTRIZ</b>	
Entrada (Bar)	Salida (Bar)	(s)	Volumen (Lt)	Volumen (Lt)	Volumen (Lt)	Volumen (Lt)	Tiempo (s)

### 3.3.4 Parámetros de observación

- Volumen succionado por cada Venturi en un tiempo determinado.
- Diferentes presiones a la entrada y a la salida del equipo de inyección, utilizando manómetros de caratula para el registro de sus lecturas.
- Aforo del gasto motriz del equipo de inyección. El aforo se realizó de forma volumétrica, colectando el flujo en un recipiente durante un tiempo determinado, por lo cual se requirió de un recipiente graduado y un cronómetro.



**Figura 3. 4 Equipo de inyección tipo Venturi succionando la solución.**

El gasto motriz que circula a través del Venturi crea un diferencial de presión en la garganta por debajo de la atmosférica motivando el incremento de la velocidad del fluido, como consecuencia el Venturi succiona el líquido incorporándolo al flujo principal.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Desempeño del equipo a diferentes presiones.

Con los datos obtenidos en campo se procedió a analizar y evaluar los resultados, en el cuadro 4.1 se observa el rendimiento de los inyectores Venturi para su validación así como el gasto motriz del equipo de inyección múltiple.

**Cuadro 4. 1 Rendimiento de los inyectores Venturi instalados en el equipo.**

PRESIÓN DE OPERACIÓN		VENTURI 1	VENTURI 2	VENTURI 3	GASTO MOTRIZ
Entrada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Salida (Kg/cm <sup>2</sup> )	Succión (L/min)	Succión (L/min)	Succión (L/Min)	
2.25	1.45	0.93	1.40	1.50	1.236
2.25	1.45	0.98	1.40	1.50	1.247
2.25	1.45	1.33	1.40	1.50	1.245
2.20	1.00	2.25	2.33	2.20	1.239
2.20	1.00	2.25	2.30	2.23	1.255
2.20	0.55	2.70	3.48	2.66	1.254
2.20	0.55	2.67	3.48	2.66	1.227
2.20	0.55	2.66	3.48	2.67	1.281
2.20	0	2.25	3.30	2.36	1.321
2.20	0	2.33	3.36	2.33	1.317
2.20	0	2.25	3.32	2.30	1.324
2.35	0	2.75	3.45	2.72	1.302

2.35	0	2.69	3.47	2.73	1.348
2.35	0	2.67	3.45	2.70	1.324

Para el análisis del rendimiento de los inyectores Venturi se graficó el diferencial de presión contra el gasto succionado para obtener las curvas de rendimiento de los inyectores (ver figura 4.1)

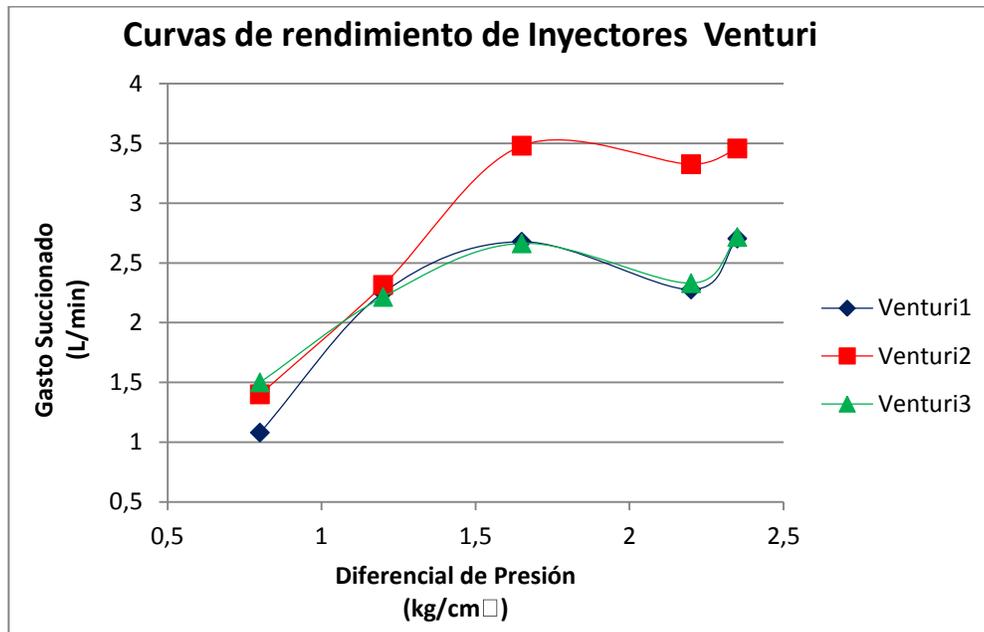


Figura 4. 1 Grafica de curvas de rendimiento de inyectores Venturi.

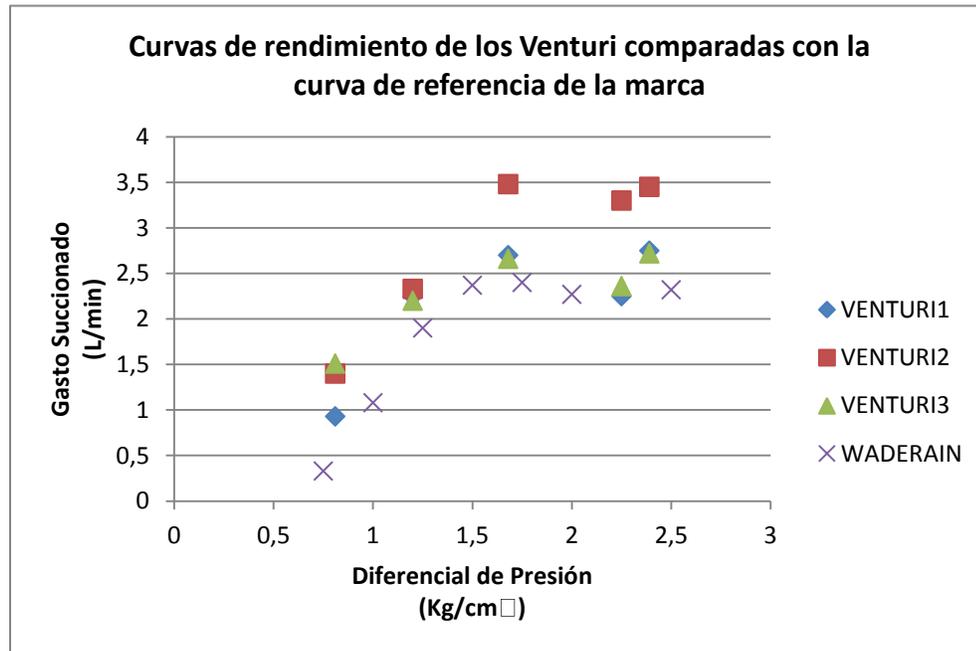
En la figura 4.1 se analiza el comportamiento de la succión de los inyectores Venturi en relación al diferencial de presión, se observa que el gasto succionado por el Venturi 2 es mayor a los otros Venturi. Para verificar si las medias de los datos observados son iguales se realizó una prueba de medias.

Cuadro 4. 2 Prueba t de Student para medias de los Venturi 2 y 3.

	VENTURI 2	VENTURI 3
Media	2.829642857	2.29
Varianza	0.757578709	0.21964615
Observaciones	14	14
Coefficiente de correlación de Pearson	0.953286853	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	13	

Estadístico t	4.520697319
P(T<=t) una cola	0.000287552
Valor crítico de t (una cola)	1.770933396
P(T<=t) dos colas	0.000575104
Valor crítico de t (dos colas)	2.160368656

Como  $F_c > F_t$  se rechaza  $H_0$ . Se concluye que las medias no son iguales



**Figura 4. 2 Grafica de curvas de rendimiento de los Venturis comparada con la curva de referencia de la marca**

En la figura 4.2 se observa el comportamiento de la succión de los inyectores Venturi y se comparó con las especificaciones técnicas proporcionado por la empresa, como se observa en la figura el gasto succionado por el Venturi 1 y 3 se asemejan a la succión de los de la marca, a diferencia del Venturi 2. Para verificar lo observado en la gráfica se realizó una prueba de medias del gasto succionado por los Venturi y el de la marca.

**Cuadro 4. 3 Prueba t de Student para medias de Venturis y Marca.**

	VENTURIS	Marca
Media	2.313268204	1.844
Varianza	0.507368201	0.75313
Observaciones	15	5
Coefficiente de correlación de Pearson	0.973727755	
Diferencia hipotética de las medias	0	

Grados de libertad	18
Estadístico t	1.256692767
P(T<=t) una cola	0.112464597
Valor crítico de t (una cola)	1.668764213
P(T<=t) dos colas	0.224929194
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204

Como  $F_c < F_t$  se acepta  $H_0$ . Se concluye que las medias son iguales

La prueba de medias se realizó con los datos obtenidos de los 3 Venturis y los datos de tablas proporcionados por la empresa, en la tabla se observa que el valor  $t_c = 1.2566$  es menor que la  $t_{\alpha} = 2.1009$  por tanto se concluye que las medias son iguales.

#### 4.2 Comparación del equipo Venturi contra orificios.

Con los datos reportados en la tesis Rivera (2011) se graficó el gasto succionado de su equipo de inyección obteniendo los siguientes resultados

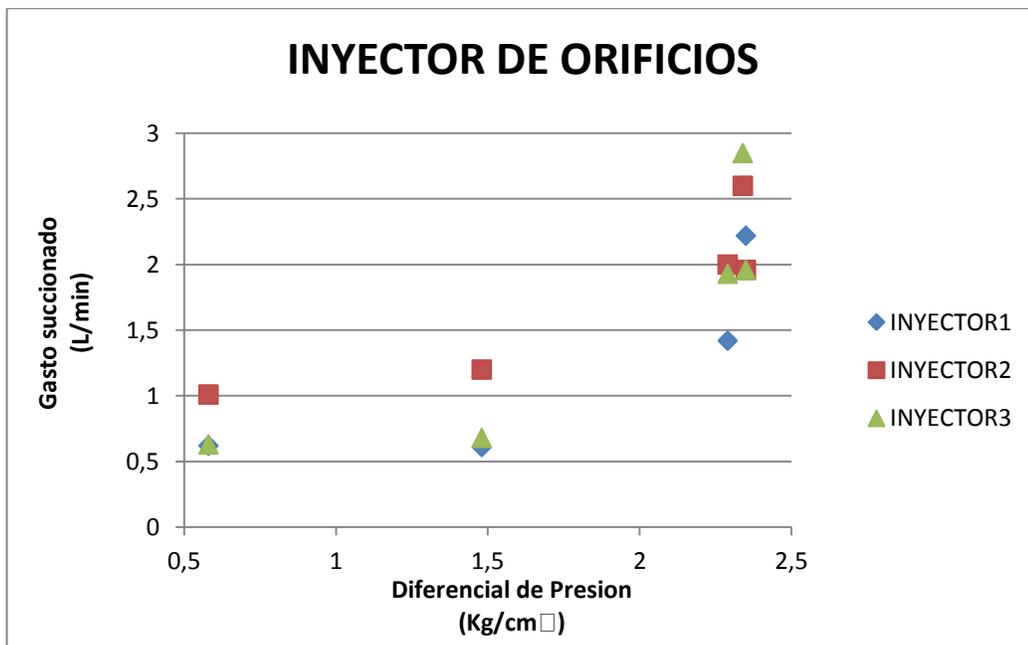
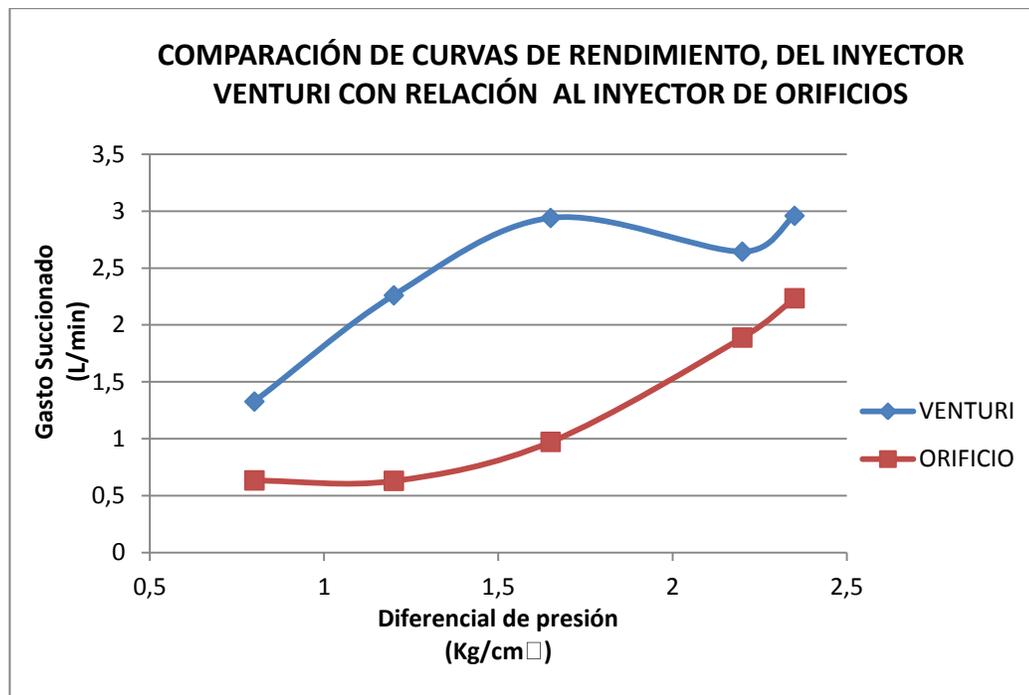


Figura 4. 3 Grafica de curvas de rendimiento del inyector tipo orificio.

En la figura 4.3 se graficó la succión de los inyectores tipo orificio, se observa que entre mayor sea el diferencial de presión para el equipo de inyección este succionará mas solución, pues con un diferencial de presión de  $.58 \text{ kg/cm}^2$  está chupando entre 0.6 y 1 litro por minuto mientras con un diferencial más grande de  $2.4 \text{ kg/cm}^2$  succiona hasta 2.8 litros por minuto de solución.



**4. 4 Grafica de curvas de rendimiento del inyector tipo Venturi con relación al tipo orificios**

En la figura 4.4 se analiza el comportamiento de la succión de los inyectores Venturi con relación al inyector de orificios, con el mismo diferencial de presión el gasto succionado por el Venturi es mayor al de orificio. Se puede observar que el mejor rendimiento del Venturi es con un diferencial de presión de  $1.65 \text{ Kg/cm}^2$ . El inyector tipo de orificios entre mayor sea el diferencial de presión mayor será su succión. Para corroborar lo anterior se realizó una prueba t de Student, para conocer si las medias son iguales.

**Cuadro 4. 4 Prueba medias para inyector Venturi y Orificio.**

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	2.42592	1.2721
Varianza	0.45771641	0.553823
Observaciones	5	5
Coefficiente de correlación de Pearson	0.64595967	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	4.29358822	
P(T<=t) una cola	0.00635498	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.01270997	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

Como  $F_c > F_t$  se rechaza  $H_0$ . Se acepta  $H_a$  concluyendo que las medias no son iguales.

### 4.3 Análisis de costo

Con los materiales que se utilizaron en el ensamble del equipo de inyección el precio de este es de \$ 1648.50 pesos siendo por esto más accesible para un productor puesto que un equipo de inyección comercial con tres Venturi tiene un precio de \$ 78 057.92 pesos (Minimac3 Nutricontrol) por ende difícil de adquirir para un pequeño o mediado productor.

## V. CONCLUSIONES

El diseño del equipo de inyección múltiple tipo Venturi funcionó eficientemente es sencillo y económico. Su facilidad de manejo e instalación hace del equipo, el indicado para instalaciones agrícolas pequeñas y medianas.

La presión de operación mínima requerida por el equipo es de  $0.8 \text{ kg/cm}^2$ , el mejor rendimiento del equipo de inyección tipo Venturi se obtiene con un diferencial de presión de  $1.65 \text{ Kg/cm}^2$ .

El equipo de inyección de control manual tiene un precio de \$ 1 648.50 pesos siendo económico, mientras que un equipo comercial tiene un costo de \$ 78 057.92 pesos, por esto es difícil de adquirir para un pequeño productor.

Se comparó el equipo de inyección múltiple tipo Venturi con un equipo tipo orificios con una prueba *t de student* que comprobó que las medias del gasto succionado son diferentes pues la  $t_c = 4.2935$  es mayor que  $t_e = 2.7764$ . Además se observó que con el mismo diferencial de presión, el gasto succionado por el inyector tipo Venturi es mayor con relación al tipo orificio por esto se demuestra que el inyector Venturi es más eficiente.

A pesar de que los inyectores se encontraban a un mismo diferencial de presión el gasto succionado por el Venturi 2 fue diferente, esto puede ser provocado por las pérdidas locales de los accesorios utilizados en el ensamblado del equipo de inyección.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Realizar pruebas con el equipo de inyección múltiple, integrando electroválvulas y un controlador para la automatización del equipo así como una estructura para soportar las líneas de inyección de fertilizantes y la bomba de 1 ½ hp.

Para un estudio más preciso de las pérdidas de carga se sugiere colocar un manómetro antes y después de cada Venturi para determinar cuantitativamente la pérdida de carga que hay en cada inyector.

## **VI. ANEXOS**

## Anexo 1. Especificaciones técnicas

Presión		VI75		VI100		VI150		VI200LF		VI200HF	
Entrada (kg/cm <sup>2</sup> )	Salida (kg/cm <sup>2</sup> )	Flujo Motriz (L/m)	Succión (L/m)								
0.50	0.00	19	2.40	48	7.48	63	11.33	52	13.33	172	33.33
0.75	0.00	21	2.50	55	7.67	82	14.17	65	13.92	205	33.33
1.00	0.00	22	2.60	59	7.67	95	17.00	78	14.17	240	33.33
	0.25		2.33		7.67		11.33		11.67		31.67
	0.50		1.18		5.25		11.33		6.67		30.00
1.50	0.00	25	2.42	67	7.67	111	17.00	96	15.00	280	33.33
	0.50		2.27		7.67		17.00		11.67		33.00
	0.75		1.58		6.80		13.33		6.67		31.67
	1.00		0.53		5.92		6.80		2.50		25.00
2.00	0.00	27	2.40	75	7.50	124	17.00	110	15.00	315	33.33
	0.50		2.37		7.50		17.00		13.50		33.33
	0.75		2.30		7.50		17.00		11.83		30.00
	1.00		1.42		7.50		16.17		8.33		25.00
	1.25		0.70		5.67		10.50		4.52		17.00
	1.50		0.20		-		-		3.33		10.00
2.50	0.00	29	2.32	82	7.50	136	17.00	122	15.00	335	33.33
	0.50		2.27		7.50		17.00		15.00		33.33
	0.75		2.40		7.50		16.17		14.83		33.00
	1.00		2.37		6.80		16.17		13.33		26.33
	1.25		1.90		6.80		16.17		12.50		25.00
	1.50		1.08		6.80		12.33		6.67		18.00
	1.75		0.33		4.67		5.25		4.17		12.00
	2.00		-		2.25		-		3.33		-
3.00	0.00	31	2.27	88	7.33	148	17.00	134	15.00	375	33.33
	1.00		2.28		7.33		17.00		15.00		33.33
	1.25		2.27		6.58		16.17		14.17		33.33
	1.50		1.93		6.58		16.17		12.50		27.00
	1.75		1.48		6.58		15.83		7.50		25.00
	2.00		0.68		6.58		8.50		4.17		14.00
	2.25		-		3.40		2.67		3.33		8.67
	2.50		-		1.83		-		2.50		-
3.50	0.00	33	2.23	95	7.33	159	17.00	145	15.00	405	33.33
	1.00		2.20		7.33		17.00		15.00		33.33
	1.50		2.20		7.33		16.17		14.17		33.33
	1.75		2.18		7.33		16.17		12.50		30.00
	2.00		1.57		7.33		16.17		7.50		26.33
	2.25		1.00		6.00		11.83		5.00		24.83
	2.50		0.37		6.00		5.17		4.17		14.33
	2.75		-		3.92		1.75		3.33		-
4.00	0.00	34	2.22	100	7.33	168	17.00	155	15.00	430	33.33
	1.00		2.32		7.33		17.00		15.00		33.33
	2.00		1.37		7.33		17.00		13.33		25.00
	2.25		1.35		7.33		16.17		11.67		23.33
	2.50		1.18		7.33		14.17		6.67		17.00
	2.75		0.65		7.08		9.17		3.33		14.00
	3.00		-		5.25		3.50		2.50		9.67
	3.25		-		2.58		-		1.67		-

## **Anexo 2. Minimac manual**

# MINIMAC MANUAL

## Fertirrigación. Máximo Rendimiento.



Los equipos de fertirrigación minimac están especialmente indicados para instalaciones agrícolas pequeñas y medianas. También para cualquier tipo de cultivo y forma de riego: cultivos en invernadero o al aire libre, cultivos en suelo o hidropónicos, riego horario o a la demanda, etc. La dosificación de fertilizantes y ácido se realiza mediante Venturi.

El diseño de las minimac es sencillo, fiable y robusto. Su facilidad de manejo e instalación hace de la minimac la solución ideal para aquellas aplicaciones que requieran un producto completo, resistente y de rápida instalación y puesta en marcha.

Los equipos minimac se fabrican sobre una estructura de acero inoxidable y permiten un transporte y un embalaje reducidos.

	MINIMAC 3	MINIMAC 4	MINIMAC 5
	Manual	Manual	Manual
Caudal Propuesto por sector	3 - 30 m <sup>3</sup> /h	3 - 30 m <sup>3</sup> /h	3 - 30 m <sup>3</sup> /h
Estructura	300 mm Cuadro	300 mm Cuadro	300 mm Cuadro
Dimensiones	630 x 750 x 900 mm	630 x 750 x 900 mm	630 x 750 x 900 mm
Líneas de Inyección	3	4	5
Venturi	1/2"	1/2"	1/2"
Flotómetros	500 l/h	500 l/h	500 l/h
Colector	ø 40 mm	ø 40 mm	ø 40 mm
Caudal máximo por línea de inyección	250 l/h	250 l/h	250 l/h
Bomba de Abono (50 Hz)	1,4 kW	2,1 kW	2,1 kW
Bomba de Abono (60 Hz)	1,3 kW	1,5 kW	1,5 kW
Arranque Bomba de Abono	8l	8l	8l

Equipos dimensionados para una inyección de 3 - 3,5 bar (kgf/cm<sup>2</sup>) de presión máxima. Solicitar características para otras presiones.  
La empresa se reserva el derecho a modificar datos de esta tabla.

## VII. LITERATURA CITADA

Borger, A. (2003). *Medidores Diferenciales*. En: Reporte de Industria y Negocios. Consultado el 2 de Marzo de 2016. Disponible en <http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/trabajos%202003/Sem%20Aut%20%20Caudal/web-final/Medidores%20Diferenciales.htm>

Catálogo de productos. *Wade Rain Sistemas de Riego*. Portland, Oregon (2015).  
[http://www.waderain.com/pdfs/Catalogo Wade Rain Mexico 2015.pdf](http://www.waderain.com/pdfs/Catalogo%20Wade%20Rain%20Mexico%202015.pdf)

Clayton, T. C; Donald, F. E; John, A. R. (2007). *Mecánica de Fluidos* (2ª reimpresión). México: compañía Editorial Continental.

Hernan, L. (2011). *Física de Fluidos y Termodinámica*. En: Física Termodinámica. Consultado el 2 de marzo de 2016. Disponible en <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/efecto-venturi/>

Losada, A. (2009). *El riego. Fundamentos hidráulicos*. (4ª ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

Manzano J., J. (2008). *Análisis del inyector Venturi y mejora de su instalación en los sistemas de riego localizado*. Tesis Doctoral. Ing. Rural. Univ. Politécnica de Valencia, Valencia, España.  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3901/tesisUPV2944.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez, L. (1998). *Manual de fertirrigación*. Instituto de investigación Agropecuaria, la Serena, Chile.

[http://platina.inia.cl/codesser/docs/Manual\\_de\\_fertirrigacion.pdf](http://platina.inia.cl/codesser/docs/Manual_de_fertirrigacion.pdf)

Mataix, C. (2001). *Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas*. Edit. HARLA S.A. (2ª ed.) Edición México.

[http://ceer.isa.utl.pt/cyted/2007/ecuador2007/12\\_Chipana.pdf](http://ceer.isa.utl.pt/cyted/2007/ecuador2007/12_Chipana.pdf)

Nutricontrol (1992) Minimac manual en *Equipos de Fertirrigación*. Consultado el 2 de marzo. Disponible en [http://nutricontrol.com/2015/portfolio\\_item/minimac-manual/](http://nutricontrol.com/2015/portfolio_item/minimac-manual/)

Potter, M. C; Wiggert, D. C; Honzo, M; Shin, T.I. (2002). *Mecánica de Fluidos* (3ª ed.). México: International Thomson Editores.

Rivera, J. (2011). *Diseño, Construcción y Evaluación de un inyector múltiple para fertirriego*. Tesis de licenciatura, Departamento de Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.

Sotelo, G. (2003). *Hidráulica General*. (27ª reimpresión). México: Editorial Limusa.

*Toro Micro-Irrigation Catálogo de productos*. The Toro Company, El Cajón C.A. (2014)  
[https://www.toro.com/~-/media/Files/Toro/Pages/Parts/ALT207\\_Ag\\_Catalog\\_2015\\_Sp\\_WEB\\_151118.ashx](https://www.toro.com/~-/media/Files/Toro/Pages/Parts/ALT207_Ag_Catalog_2015_Sp_WEB_151118.ashx)