

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**DISTRIBUCION DE LOS FERTILIZANTES INYECTADOS  
ALREDEDOR DEL PUNTO DE EMISION Y ALTERACION  
QUIMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA.**

**Por:**

**HONEY ALVAREZ NIETO**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México**

**Diciembre 2013**

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

DISTRIBUCION DE LOS FERTILIZANTES INYECTADOS ALREDEDOR  
DEL PUNTO DE EMISION Y ALTERACION QUIMICA DE LA CALIDAD DEL  
AGUA.

Por:

**HONEY ALVAREZ NIETO**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**APROBADO**

MC. Gregorio Briones Sánchez  
Asesor principal

MC. Carlos Rojas Peña  
Asesor

Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho  
Asesor

MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

Coordinación de Ingeniería  
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2013

## AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado a mis padres, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrado mis triunfos.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, porque en sus aulas, recibimos el conocimiento intelectual y humano de cada uno de los docentes, a mis maestros del Departamento de Riego y Drenaje que a lo largo de mi carrera, me han transmitido sus amplios conocimientos y sus sabios consejos.

Expreso mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al **MC. Gregorio Briones Sánchez** por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa del presente trabajo, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años.

Le agradezco al **MC. Carlos Rojas Peña** por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de esta tesis.

Al **Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho** por la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma estuvieron conmigo, porque cada una apporto un granito de arena. A mis amigos y amiga que me han brindado desinteresadamente su valiosa amistad. A mis compañeros por los momentos que pasamos juntos, por las tareas que juntos realizamos y por todas las veces que a mí me explicaron gracias.

## DEDICATORIAS

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño

A dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Dedico esta tesis principalmente a mis padres, a quien con este logro quiero devolver un poco de todo lo que me han dado, por haberme brindado la oportunidad de estudiar la carrera universitaria, por su esfuerzo, dedicación y entera confianza.

A mi mamá, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, por haberme educado y soportado mis errores, por enseñarme a no desfallecer ni rendirme nunca. Gracias por tu paciencia y esas palabras sabias que siempre tienes para mis enojos, tristezas y momentos felices, por ser mi amiga y ayudarme a cumplir mis sueños, te quiero mucho.

A mi papá, por tu apoyo incondicional, la orientación que me has dado, por levantarme los ánimos en los momentos difíciles de mi vida estudiantil como personal. Gracias por tu paciencia y esas palabras sabias en el momento exacto que has sabido darme para no dejarme caer y enfrentar los momentos difíciles, por ayudarme a tomar decisiones que me ayuden a balancear mi vida y sobre todo gracias por el amor tan grande que me das.

A mis hermanas por estar con migo y apoyarme siempre incondicionalmente, por el amor y la confianza que siempre nos hemos tenido.

A mi hermano que siempre me inspira a seguir adelante y a no rendirme nunca.

A un pedacito de cielo, una pequeña estrella que tendré entre brazos e iluminara mi vida.

A mis familiares y amigos/as que de una u otra forma me ayudaron y participaron para que lograra el presente éxito profesional. Gracias por sus palabras de aliento y fe en mí.

## INDICE DE CONTENIDO

|  |      |
|--|------|
| AGRADECIMIENTOS.....   | i    |
| DEDICATORIAS.....  | ii   |
| INDICE DE CONTENIDO.....   | ii   |
| INDICE DE FIGURAS.....   | vi   |
| ÍNDICE DE CUADROS.....   | viii |
| RESUMEN.....   | ix   |
| ABSTRACT.....  | xii  |
| I. INTRODUCCION.....   | 1    |
| Objetivos.....   | 3    |
| Hipótesis del estudio.....                                       | 3    |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA.....                                  | 4    |
| 2.1 Tipos de fertilización.....                                  | 4    |
| 2.2 Aspectos generales de la fertirrigación.....                 | 6    |
| 2.3 Ventajas y desventajas de la fertirrigación.....             | 6    |
| 2.4 Métodos de inyección en aspersión y goteo.....               | 8    |
| 2.4.1 Riego por aspersión.....                                   | 8    |
| 2.4.2 Riego localizado o por goteo.....                          | 8    |
| 2.5 Unidad básica de fertirriego.....                            | 8    |
| 2.6 Sistemas de inyección.....                                   | 9    |
| 2.6.1 Venturi.....   | 10   |
| 2.6.2 Bombas dosificadoras.....                                  | 10   |
| 2.6.3 Inyección por succión directa.....                         | 10   |
| 2.7 Calidad del agua.....  | 11   |
| 2.8 Uniformidad de la distribución del agua y fertilizantes..... | 12   |
| 2.9 Comportamiento de los nutrimentos en fertirrigación.....     | 12   |
| 2.10 Generalidades sobre los fertilizantes.....                  | 13   |
| 2.11 Concentración y formulación de los fertilizantes.....       | 13   |
| 2.12 Fertilizantes para fertirrigación.....                      | 14   |
| 2.12.1 Los fertilizantes líquidos.....                           | 14   |
| 2.12.2 Los fertilizantes sólidos.....                            | 14   |

|   |    |
|---|----|
| 2.13 Fertilizantes más usados en fertirriego.....             | 15 |
| 2.13.1 Fertilizantes nitrogenados.....                        | 15 |
| 2.13.2 Fertilizantes ricos en fosforo.....                    | 15 |
| 2.13.3 Fertilizantes potásicos.....                           | 16 |
| 2.13.4 Fertilizantes que contienen magnesio.....              | 16 |
| 2.13.5 Microelementos.....                                    | 16 |
| 2.13.6 Quelatos.....  | 17 |
| 2.14 Características que deben tener.....                     | 17 |
| 2.14.1 Solubilidad.....                                       | 17 |
| 2.14.2 Compatibilidad de los fertilizantes.....               | 18 |
| 2.14.3 Salinidad.....   | 19 |
| 2.14.4 pH.....  | 20 |
| 2.15 Acidos.....  | 22 |
| Cuadro 2.4 Características de cuatro ácidos.....              | 23 |
| 2.16 Prueba de Jarras.....                                    | 23 |
| 2.17 Curva de titulación.....                                 | 24 |
| III. MATERIALES Y METODOS.....                                | 26 |
| 3.1 Localización Geográfica.....                              | 26 |
| 3.2 Clima.....  | 26 |
| 3.3 Materiales.....   | 27 |
| 3.4 Equipos de laboratorio.....                               | 27 |
| 3.5 Reactivos.....  | 27 |
| 3.6 Metodología.....  | 28 |
| IV.RESULTADOS Y DISCUSION.....                                | 36 |
| 4.1. Curva de titulación para los fertilizantes.....          | 36 |
| 4.1.1 Urea perlada (46%).....                                 | 36 |
| 4.1.2 Triple 17 (17 – 17 – 17).....                           | 37 |
| Cuadro 4.2 Parámetros estadísticos de la ecuación lineal..... | 38 |
| 4.2. Curvas de titulación para ácidos.....                    | 38 |
| 4.2.1 Acido clorhídrico.....                                  | 39 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2.1 Acido sulfúrico. ....   | 40 |
| 4.3 Comportamiento de las concentraciones de urea perlada (46%) bajo el patrón de aspersión. ....   | 42 |
| Cuadro 4.5 Uniformidad de distribución de los parámetros de calidad del agua dentro del patrón de aspersión durante la fertirrigación con Urea ...        | 45 |
| 4.4 Distribución de las concentraciones del triple 17 bajo el patrón de aspersión. ....   | 46 |
| Cuadro 4.6 Uniformidad de distribución de los parámetros de calidad del agua dentro del patrón de aspersión durante la fertirrigación con Triple 17 ..... | 49 |
| 4.5 Comportamiento de los diferentes parámetros del Ácido Clorhídrico alrededor del punto de aspersión. ....  | 50 |
| 4.6 Comportamiento de las concentraciones del ácido sulfúrico. ....   | 54 |
| V. CONCLUSIONES .....   | 58 |
| VI. RECOMENDACIONES .....   | 59 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA.....  | 60 |
| VIII. APENDICE .....  | 62 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2.1.</b> Esquema de un cabezal de riego presurizado .....  | 9  |
| <b>Figura 3.1.</b> Área de prueba .....  | 26 |
| <b>Figura 3.2.</b> Especificaciones de rotor R33 de NELSON.....  | 28 |
| <b>Figura 3.3.</b> Agregación de diferentes concentraciones de Urea Perlada (46%) para poder obtener las curvas de titulación, las mismas cantidades y concentraciones se aplicaron para el Triple 17..... | 29 |
| <b>Figura 3.4.</b> Diferentes concentraciones de Ácido Clorhídrico diluidos en un litro de agua para poder obtener la curva de titulación. ....  | 29 |
| <b>Figura 3.5.</b> Concentraciones utilizadas para el Ácido Sulfúrico en un litro de agua de riego.....  | 29 |
| <b>Figura 3.6.</b> Los números y los colores se anotaron en una etiqueta para pegarlos en el fondo de cada recipiente colector y así identificar el dato para su registro. ....                            | 30 |
| <b>Figura 3.7.</b> Aplicación de urea perlada (46%) .....  | 32 |
| <b>Figura 3.8.</b> Aplicación de ácido Clorhídrico .....   | 32 |
| <b>Figura 3.9.</b> Aplicación de Triple 17.....  | 33 |
| <b>Figura 3.10.</b> Aplicación de ácido sulfúrico.....   | 33 |
| <b>Figura 3.11.</b> Colectores trasladados al laboratorio para la medición de los parámetros señalados .....   | 34 |
| <b>Figura 3.12.</b> Tabulación de datos.....   | 34 |
| <b>Figura. 3.13.</b> Ecuaciones que más se ajustan a los datos proporcionados. ....  | 35 |
| <b>Figura. 3.14.</b> Ecuación y datos específicos de la curva .....  | 35 |
| <b>Figura 4.2.</b> Curva de titulación de la urea. ....  | 36 |
| <b>Figura 4.4.</b> Prueba de titulación del Triple 17 (17-17-17).....  | 38 |
| <b>Figura 4.5.</b> Lecturas observadas de pH a diferentes concentraciones de ácido clorhídricos disueltas en un litro de agua de riego alcalina. ....  | 39 |
| <b>Figura 4.7.</b> Tendencia de pH a diferentes concentraciones de ácido sulfúrico. ....   | 40 |



|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 4.8.</b> Curva de titulación de C.E del ácido sulfúrico .....                            | 41 |
| <b>Figura 4.9.</b> Variación del pH en el agua asperjada por aspersion.....                        | 42 |
| <b>Figura 4.10.</b> Mapeo de la C.E dS/m asociada con la inyección de urea .....                   | 43 |
| <b>Figura 4.11.</b> Volúmenes de agua colectados durante la fertirrigación con Urea.....           | 44 |
| <b>Figura 4.12.</b> Concentraciones de urea gr/L estimadas en base a la curva de C.E. en dS/m..... | 44 |
| <b>Figura 4.13.</b> Cantidades de Urea gr/ colector. ....  | 45 |
| <b>Figura 4.14.</b> Mapa de los valores obtenidos de pH del Triple 17 .....                        | 46 |
| <b>Figura 4.15.</b> Mapeo de la superficie de la C.E.del Triple 17 .....                           | 47 |
| <b>Figura 4.16.</b> Distribución del volumen colectado Triple 17.....                              | 47 |
| <b>Figura 4.17.</b> Concentración de Triple 17 g/L alrededor del punto de emisión .....            | 48 |
| <b>Figura 4.18.</b> Cantidad de Triple 17 contenido en cada colector.....                          | 49 |
| <b>Figura 4.19.</b> Gráfica de pH alrededor del punto de aspersion.....                            | 50 |
| <b>Figura 4.20.</b> Mapa de la C.E. del HCL .....  | 51 |
| <b>Figura 4.21.</b> Volumen de agua colectado de HCl.....  | 51 |
| <b>Figura 4.22.</b> Distribución de las concentraciones del HCL.....                               | 52 |
| <b>Figura 4.23.</b> Cantidad de HCl en cada colector.....  | 53 |
| <b>Figura 4.24.</b> Mapeo de valores de pH.....  | 54 |
| <b>Figura 4.25.</b> Grafico de C.E. alrededor del punto de aspersion .....                         | 55 |
| <b>Figura 4.26.</b> Mapeo del volumen colectado .....  | 55 |
| <b>Figura 4.27.</b> Concentración estimada del ácido sulfúrico mL/L.....                           | 56 |
| <b>Figura 4.28.</b> Cantidad de ácido sulfúrico contenido por colector.....                        | 57 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 2.1</b> Características de los fertilizantes comerciales usados en fertirrigación .....  | 17 |
| <b>Cuadro 2.2</b> Ácidos Fertilizantes .....   | 18 |
| <b>Cuadro 2.3</b> Carta de compatibilidad entre fertilizantes.....   | 19 |
| <b>Cuadro 2.4</b> pH de ciertos fertilizantes utilizados en fertirriego para una concentración del 1%.....   | 21 |
| <b>Cuadro 2.4</b> Características de cuatro ácidos. ....   | 23 |
| <b>Cuadro 4.1</b> Parámetros estadísticos de la ecuación para la Urea. ....  | 37 |
| <b>Cuadro 4.2</b> Parámetros estadísticos de la ecuación lineal.....   | 38 |
| <b>Cuadro 4.3</b> Datos de ecuación para ácido clorhídrico.....  | 40 |
| <b>Cuadro 4.4</b> Coeficientes de la ecuación utilizados para el ácido sulfúrico ..  | 41 |
| <b>Cuadro 4.5</b> Uniformidad de distribución de los parámetros de calidad del agua dentro del patrón de aspersión durante la fertirrigación con Urea. ....              | 45 |
| <b>Cuadro 4.6</b> Uniformidad de distribución de los parámetros de calidad del agua dentro del patrón de aspersión durante la fertirrigación con Triple 17.              | 49 |
| <b>Cuadro 4.7</b> Uniformidad de distribución de los parámetros de calidad del agua dentro del patrón de aspersión durante la fertirrigación con Ácido Clorhídrico ..... | 53 |
| <b>Cuadro 4.8</b> Uniformidad de distribución de los parámetros de calidad del agua dentro del patrón de aspersión durante la fertirrigación con Ácido Sulfúrico.....    | 57 |

# **DISTRIBUCION DE LOS FERTILIZANTES INYECTADOS ALREDEDOR DEL PUNTO DE EMISION Y ALTERACION QUIMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA.**

**Por:**

**HONEY ALVAREZ NIETO**

## **RESUMEN**

El presente trabajo se enfocó a estudiar y analizar las concentraciones de fertilizantes, evaluando a su vez la uniformidad de riego y fertilizantes alrededor del punto de aspersión a través de un equipo de riego por aspersión. Habiendo obtenido previamente las curvas de titulación en laboratorio de pH y C.E. a diferentes concentraciones de fertilizante y ácido en un litro de agua para poder apreciar las alteraciones químicas de esta durante la fertirrigación.

El trabajo se realizó en el Jardín Hidráulico de la UAAAN que se encuentra al sur de Saltillo Coahuila, entre las coordenadas geográficas 20° 21'17" de latitud norte y 101° 2'8" longitud oeste a una altura de 1765 msnm, donde se realizaron pruebas con fertilizantes (urea 46%N y triple 17; 17%N, 17%P, 17%K) y ácidos (clorhídrico 36.5% y sulfúrico 98%) inyectados a través de un equipo de aspersión, utilizando las curvas de titulación de C.E para preparar las soluciones madre a inyectar en cada prueba. En el área regada se colocaron previamente los colectores en una cuadrícula de 3 x 3 m alrededor del aspersor distribuyendo 12 colectores por cada orientación y etiquetando cada uno de ellos para su fácil identificación en la toma de datos. Al finalizar las pruebas en campo se procedía a transportar los colectores al laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN procurando no contaminar las muestras colectadas, midiendo el volumen, pH y C.E de cada una de las mismas.

Los datos de las titulaciones se procesaron en el programa CurveExpert Professional 2.0.3 el cual elegía las ecuaciones de mejor ajuste a la tendencia de los datos proporcionados encontrando que el modelo lineal dio una aceptable validación de la C.E en función de concentración y se utilizó para la

calibración de campo. Con la ecuación de C.E se estimaron las concentraciones de fertilizante y ácido aplicado (gr/L y ml/L) respectivamente que al multiplicarlo por el volumen de cada colector (L) permitió estimar las cantidades que contenían cada uno de estos.

La alteración química de la calidad del agua fue caracterizada en base a las variaciones en C.E y pH encontrando que una concentración de 7 gr urea/L no incrementó la C.E. del agua significativamente sin embargo volvió el pH muy alcalino incrementándolo de 6.13 a 8.40.

Por otra parte una concentración de 3 gr triple 17/L incremento la salinidad del agua de riego de 0.72 a 1.40 dS/m y disminuyo las unidades de pH ligeramente de 8.24 a 7.95.

El ácido clorhídrico a una concentración de 1 ml/L incremento un poco la C.E de 0.7 a 0.8 dS/m pero también incremento ligeramente el pH de 8.25 a 8.46 quizás debido a que ciertas reacciones dentro de la tubería neutralizaron el efecto del ácido.

In comparación con el ácido sulfúrico que al ser inyectado a una concentración de 0.36 ml/L incremento la C.E. desde 0.625 a 1.47 dS/m y redujo el valor de pH del agua desde 8.52 a 3.19 de un nivel alcalino a un nivel ácido.

En conclusión se confirmó que la distribución del fertilizante en campo depende directamente de la uniformidad de distribución del sistema de riego que se utilice, también es afectada por las condiciones climáticas o reacciones químicas que suceden constantemente en el agua de riego.

El pH por colector y la C.E dS/m del agua asperjada alrededor de los puntos de emisión ambos reportaron una uniformidad de adecuada a excelente (86 a 99%). Sin embargo existen variaciones significativas en la uniformidad de distribución de los volúmenes de agua colectados dentro del patrón de aspersión, que causaron diferencias en campo sobre la distribución de las cantidades de fertilizante y de ácidos.

En urea la uniformidad de distribución para los parámetros de calidad fue de un 94 a 99% y para cantidad de un 15% a 83% esto último se puede elevar

con una mejora de traslape entre las líneas de aspersión y mayor área de prueba. En triple 17, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico la tendencia fue similar.

Como recomendación realizar pruebas con diferentes calidades de agua y en diferentes temporadas del año (secas y lluviosas) y contar con un kit portátil para analizar la variación entre mediciones en condiciones de campo y en laboratorio.

**Palabras clave:** Fertilización, aspersión, pH, Conductividad eléctrica (C.E.), agua.

# **DISTRIBUTION OF THE FERTILIZERS INJECTED AROUND THE POINT OF EMISSION AND ALTERATION OF THE QUALITY OF THE WATER.**

**By:**

**HONEY ALVAREZ NIETO.**

## **ABSTRACT**

The present dissertation was focused to study and to analyze the concentrations of fertilizer distributed during the fertigation around the point of emission through an equipment of sprinkler irrigation. The chemical alterations of pH and E.C of the water they were appreciated utilizing the curves of titration previously obtained in laboratory for each fertilizer and for each acid to different concentrations in a liter of water. Also the uniformity of irrigation and the uniformity of distribution of the fertilizers were evaluated for the area wet under the sprinkler pattern.

The job was carried out in the Hydraulic Garden of the UAAAN that is found to the south of Saltillo Coahuila among the geographical coordinates 20°21`17” of north latitude and 101° 02`08” length west to a 1765 msnm altitude, where four tests were carried out; the first one with urea 46%, the second with treble 17, the third with muriatic acid at 36.5% and the fourth test with sulphuric acid at 98% for injection approximately during an hour, the mother solutions were prepared in the control head and injected by the suction pipe of a centrifugal pump.

Before starting the irrigation equipment the collectors were placed in a grid array at 3 x 3 m around the sprinkler distributing in the area watered 12 collectors by each orientation and labelled each one of them for its easy identification in the takeoff data. Upon finalizing the tests in field were transported the collectors to the Water Quality Laboratory of the Department of Irrigation and Drainage of the UAAAN trying not to contaminate the samples collected as in the transportation as in the management. In each one the sample was measured the volume of water caught, pH and E.C.

The data of the titrations were processed in the program CurveExpert Professional 2.0.3 which elected the equations of better statistical adjustment

of the tendency observed finding that the model of regression lineal correlated acceptably the E.C of the water samples with the concentration of fertilizer or of acid contained in them and was utilized for the calibration of field. With the equation validated of E.C. the concentrations of fertilizer were estimated or of acid (gr/liter and ml/liter) respectively, which they were multiplied for the volume of each collector (liters) to estimate the contained quantity in each one.

The chemical alteration of the water quality was characterized in base to the variations in electrical conductivity (EC) and pH finding .that 7 gr urea/liter did not increase the EC of the water significantly however became the ph very alkaline increasing it from 6.13 to 8.40.

In turn a concentration of 3 gr treble-17/liter increased the salinity of the irrigation water from 0.72 to 1.40 dS/m and the pH decreased slightly from 8.24 to 7.95 units.

The hydrochloric acid to an average concentration of 1 ml/liter increased a few a few the EC from 0.7 to 0.8 dS/m but also increased slightly the pH from 8.25 to 8.46 maybe due to some reactions inside of the pipe neutralize the acid effect.

In comparison with the sulphuric acid that was injected to a concentration of 0.32 ml/liter increasing the electrical conductivity from 0.625 to 1.47 dS/m and reduced the pH value of the water from 8.52 to 3.19 of an alkaline level to an acid level.

In conclusion was confirmed that the distribution of the fertilizer in field depends directly of the uniformity of distribution of the system of irrigation utilized, is also affected for the climatic conditions or chemical reactions that happen constantly in the water.

The pH and the E.C dS/m of the water applied around the points of emission both report dan uniformity of adequate to excellent (86% to 99%) however the mapping of the data revealed significant variations in the uniformity of distribution of the volumes of water collected inside the sprinkling pattern that

caused differences in the distribution of the quantities of fertilizers and of acids in the field.

The uniformity of distribution for the parameters of quality was found in an excellent Rank from 94% to 99% while for the parameters of quantity the uniformity of distribution was found in a rank lower in the order from 15% to 83% this last one can be increased if the overlapping between laterals of sprinklers is improved or if a greater test area have been considered. The tendencies were similar for treble 17, muriatic acid and sulphuric acid.

As recommendation to carry out tests with different qualities of water and in different seasons of the year (dry and rainy) and to count on a kit portable to analyze the variation among measurements for the chemical kinetics in conditions of field and in laboratory.

Key words: Fertigation, sprinkler, irrigation, titration curves, water quality, pH and electrical conductivity (E.C.).



## I. INTRODUCCION

El importante incremento de la población mundial en los últimos años viene exigiendo un constante reto a la agricultura para proporcionar un mayor número de alimentos, tanto en cantidad como en calidad. Desde el inicio del siglo XIX, la población mundial se ha incrementado un 550 por cien, habiendo pasado de 1.000 millones a 6.500 millones en la actualidad, con unas previsiones de que se alcancen entre nueve y diez millones de habitantes en el año 2050.

Para alcanzar el reto de poder incrementar la producción agrícola para abastecer al crecimiento de la población, únicamente existen dos factores posibles:

1.- Aumentar las superficies de cultivos, posibilidad cada vez más limitada sobre todo en los países desarrollados, lo que iría en detrimento de las grandes masas forestales.

2.- Proporcionar a los suelos fuentes de nutrientes adicionales en formas asimilables por las plantas para incrementar los rendimientos de los cultivos.

El uso de los fertilizantes se ha vuelto indispensable debido a la baja fertilidad de la mayoría de los suelos para los altos rendimientos y la buena calidad que se espera en la actualidad. Los fertilizantes se consideran nutrientes en formas químicas saludables y asimilables por las raíces de las plantas, por lo que hacer un uso adecuado de ellos es importante para una agricultura sostenible.

Al fertilizar, aumentamos la concentración de sales en la solución del suelo, por tanto reducimos la eficacia del riego, por lo que se recomienda regar con agua de buena calidad. La calidad del agua de riego afecta tanto a los rendimientos de los cultivos como a las condiciones físicas del suelo, incluso si todas las demás condiciones y prácticas de producción son favorables y óptimas. Además los distintos cultivos requieren calidades de agua de riego. Por lo tanto, es importante realizar un análisis del agua de riego antes de seleccionar el sitio y los cultivos a producir. La calidad de algunas fuentes de

agua pueden variar significativamente de acuerdo a la época del año (como en una época de seca y época de lluvias), así que es recomendable tomar más de una muestra, en distintos periodos de tiempo.

Los parámetros que determinan la calidad del agua de riego se dividen en tres categorías: químicos, físicos y biológicos. Un tema que hasta ahora había generado poca preocupación entre técnicos y productores es el de la calidad del agua usada para aplicar fertilizante. Se procura en general que el agua no esté turbia, pero datos de pH (acidez - alcalinidad) o sales disueltas, es muy difícil que alguien los tenga en cuenta.

Hay que saber que el agua tiene “*enemigos ocultos*” que alteran el funcionamiento normal de los fertilizantes: la alcalinidad, la cantidad y la calidad de las sales disueltas. Estos enemigos empiezan a actuar silenciosamente desde el momento mismo que los fertilizantes son agregados al agua, haciéndole perder dinero al productor.

Las formas de aplicación de fertilizantes pueden ser al suelo, al follaje (foliares) y con el agua de riego (fertirriego).

La fertirrigación consiste en la aplicación de fertilizantes sólidos o líquidos a través de sistemas de riego a presión como; aspersión, microaspersión, pivote central, goteo, exudación, etc., creando así una solución nutritiva de riego. Los fertilizantes sólidos pueden ser simples (urea, KCL) o compuestos (mezcla de fertilizantes multi-nutrientes). Los fertilizantes líquidos contienen uno o varios nutrientes, pero debido a la solubilidad la concentración total de nutrientes es mucho menor.

Existen fertilizantes con acción acida y alcalina del cual se basa este estudio para analizar el comportamiento y los cambios que se pueden efectuar a diferentes concentraciones de fertilizantes en el agua de riego, cuanta variación puede tener con respecto al pH y C.E. y si es uniforme su distribución después de ser inyectada en el sistema de riego, el cual se realizara mediante rotores.

## **Objetivos.**

- Analizar las concentraciones de fertilizantes inyectados a través de un equipo de riego por aspersión.
- Estudiar el comportamiento de las concentraciones del fertilizante dispersado junto con el patrón de aspersión.
- Estudiar la alteración de la calidad del agua por la dilución de fertilizantes de reacción ácida y alcalina.
- Obtener la curva de titulación en el laboratorio para los fertilizantes estudiados.
- Evaluar la uniformidad de distribución de riego a través de los aspersores.
- Evaluar la distribución del fertilizante alrededor de los puntos de emisión.

## **Hipótesis del estudio.**

Ho: La concentración de fertilizante uniforme o igual alrededor punto de emisión.

Ha: La concentración de fertilizante es diferente.

Ho: % UD riego = % UD fertilizante.

Ha: % UD riego  $\neq$  % UD fertilizante.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

El conocimiento es la más poderosa herramienta para hacer de la agricultura una actividad competitiva y altamente rentable. La innovación tecnológica presenta un crecimiento exponencial en el campo de la agricultura. La tendencia de la agricultura actual es aproximarnos lo más posible al potencial máximo del cultivo en cuanto a rendimiento y calidad, manteniendo en todo momento un equilibrio con el medio ambiente que evite degradación de nuestros recursos naturales **(Usón, 2010)**.

La fertilización constituye uno de los pilares fundamentales de la producción agrícola.

Hoy no se concibe la explotación agrícola sin una adecuada fertilización que permita obtener del suelo toda la capacidad productiva dentro de las limitaciones que imponen las condiciones climáticas en cada caso **(Domínguez, 1997)**.

### 2.1 Tipos de fertilización.

El método de aplicación de los fertilizantes (abono orgánico o fertilizantes minerales) es un componente esencial de las buenas prácticas agrícolas. La cantidad y la regulación de la absorción dependen de varios factores, tales como la variedad del cultivo, la fecha de la siembra, la rotación de cultivos, las condiciones del suelo y del tiempo **(FAO, 2002)**.

Las formas de fertilización pueden ser:

1.- Fertilización al suelo: comprende dos aspectos, la forma de aplicación (localizada y no localizadas (al voleo) y el momento de la aplicación (antes de la siembra, a la siembra, posterior a la siembra).

- a) Al voleo: aplicación del fertilizante a toda el área que va a ocupar el cultivo, incorporado (arado, disquera, rastras) y superficie o cobertura.
- b) Localizada: la localización del fertilizante (aplicación en banda) logra un aumento en la absorción del fertilizante, que es más que proporcional al porcentaje de suelo fertilizado, esto se debe a que se produce una compensación en la banda debido a mayor crecimiento de raíces en la

manda y al aumentar la capacidad de absorción por unidad o superficie de raíz.

2.- Fertilización Foliar: La aplicación de fertilizante al follaje se llama fertilización foliar y es complementaria a la química y orgánica, aplicada al suelo (**Valverde, 1998**). Es un método confiable para la fertilización de las plantas cuando la nutrición proveniente del suelo es ineficiente. La fertilización foliar puede ser utilizada para superar problemas existentes en las raíces cuando éstas sufren una actividad limitada debido a temperaturas bajas/altas (<10°, >40°C), falta de oxígeno en campos inundados, ataque de nematodos que dañan el sistema radicular, y una reducción en la actividad de la raíz.

3.- Fertilización con el agua de riego (fertirriego): término que describe el proceso por el cual los fertilizantes son aplicados con el agua de riego. Este método es componente de los modernos sistemas de riego a presión como; aspersión, microaspersión, pivote central, goteo, exudación etc. Como esta técnica se puede controlar fácilmente la parcialización, la dosis, la concentración y la relación de fertilizantes (**Sánchez, 2000**).

**Bianchi et al. (1985)**, menciona que cuando los fertilizantes son aplicados a una superficie irrigada puede ser esparcidos sobre todo el campo posteriormente son congregados por las plantas, o también pueden ser aplicados en el agua de riego. Menciona a la vez que la inyección de fertilizantes a través del sistema de riego por goteo implica un punto de origen en la aplicación del agua y químicos, el tamaño del áreas mojado bajo el emisor puede ser controlado en parte por la velocidad de infiltración, las áreas de mojado podrían incrementarse proporcionalmente para compensar la velocidad de la infiltración constante de aplicación en el goteo.

**Rodríguez (1982)**, menciona que la fertilización a través del sistema de riego podrá realizarse mediante el uso del sistema fertilizador que se suministra con el quipo. Una vez aplicado el fertilizante, el sistema debería seguir operando 2 horas más, esto se hace para tener la seguridad de que el fertilizante llegue a la zona radicular, además de evitar los efectos nocivos que pudieran

producirse, si se quedan dentro del sistema, después de cada fertilización hay que purgar las líneas principales y secundarias durante 5 minutos.

## **2.2 Aspectos generales de la fertirrigación.**

La práctica del fertirriego en México se inició durante los años 1960`s, cuando el amoniaco anhidro y el fosfato monoamónico (8-24-0) fueron inyectados en canales de riego en los estados de Sonora, Sinaloa y Baja California, principalmente para los cultivos de trigo y algodón. Los sistemas de riego por goteo y microaspersión fueron usados en México desde mediados de la década de 1970, siendo nuestro país uno de los pioneros en el riego por goteo.

**Bar- Josef (1999)**, menciona que el riego y la fertilización son los factores más importantes a través por los cuales los productores pueden controlar el desarrollo de la planta, los rendimientos y calidad de los frutos. Además, el uso simultaneo del riego de precisión y la fertilización ofrecen nuevas posibilidades para controlar el suministro de agua y nutrientes a los cultivos, manteniendo una humedad apropiada en el suelo y una concentración idónea de iones.

**SIAR (2005)**, dice que la fertirrigación es una técnica de aplicación de abonos disueltos en el agua de riego a los cultivos. Resulta un método de gran importancia en los cultivos regados mediante sistemas de riego localizado (goteo), aunque también se usa, en menor medida, en sistemas de riego por aspersión (equipos pivote y cobertura total).

El objetivo principal es el aprovechamiento de agua del sistema de riego para trasportar los elementos nutritivos que necesita la planta hasta donde se desarrollan las raíces, con lo cual se optimiza el uso del agua, nutrientes y la energía y se reducen las contaminaciones si se maneja adecuadamente.

## **2.3 Ventajas y desventajas de la fertirrigación.**

### **Ventajas**

- a) Incremento en la eficiencia de aplicación de los fertilizantes; dosificación y control del fertilizante de acuerdo a las etapas de desarrollo del cultivo.

- b) Control de la profundidad de mojado y momentos de aplicación del fertilizante.
- c) Mejor asimilación y rapidez de actuación de los fertilizantes.
- d) Mayor aprovechamiento de los equipos de riego, uso adicional del equipo para aplicación de ácidos, herbicidas y pesticidas.
- e) Nutrición optimizada del cultivo para cada suelo, agua de riego, clima y por lo tanto aumento de los rendimientos y calidad de los frutos.
- f) Economía de mano de obra y ahorro en los costos de fertilización por requerir menos personal.
- g) Es posible controlar la contaminación de los acuíferos al evitar el exceso de nutrientes.

**Zoldeske (1993)**, menciona que el fertirriego, consiste en el uso de sistemas de riego para aplicar productos agroquímicos y fertilizantes a los cultivos; dentro de sus beneficios incluyen aplicaciones económicas, aplicación de gran presión, disminución de la compactación del suelo y de los daños al cultivo. Sin embargo debe tenerse mucha precaución para evitar el reflujó del agua de inyección ya que los agroquímicos contaminarían la fuente de donde se toma el agua para el sistema. Esta práctica de protección se basa en utilizar válvulas llamadas de quimirriego (válvulas check), diseñadas para evitar que la mezcla de agua y producto químico aplicada vaya a retroceder por efecto de sifón y contamine el agua.

### **Desventajas**

- a) Elevada inversión de capital.
- b) Corrosión y formación de precipitados en los equipos de riego; dependencia de una correcta operación por los riesgos de taponamiento de los goteros.
- c) Requiere personal entrenado que seccione, maneje y dosifique los fertilizantes, además de operar el sistema de riego.
- d) La distribución del fertilizante es dependiente de la distribución del agua y será desuniforme cuando el sistema no funcione uniformemente.
- e) El momento de adición de los fertilizantes puede ser afectados por las condiciones del clima.

## **2.4 Métodos de inyección en aspersión y goteo.**

### **2.4.1 Riego por aspersión.**

En el riego por aspersión, el agua se conduce a presión hasta las secciones laterales y de aquí a los aspersores o distribuidores, de manera controlada en volumen y tiempo, tratando de simular la lluvia. Estos operan a presiones y distanciamientos específicos de acuerdo con su diseño. Este sistema es recomendable utilizarlo en suelos con pendientes pronunciadas, con tasa de infiltración muy alta o bajas y en suelos poco profundos **(Subirós, 2000)**.

Se han desarrollado equipos cuyos aspersores operan a presiones entre los 60 y los 100 psi (libra de presión por pulgada cuadrada), con caudales entre los 400 y 1200 gpm, los cuales son utilizados para cubrir grandes extensiones.

### **2.4.2 Riego localizado o por goteo.**

Los sistemas de riego de bajo volumen y alta frecuencia son aquellos que han sido diseñados para proporcionar agua al cultivo, para que el mismo cuente con agua cuando lo necesite, es decir, se trata de proporcionar agua a la planta de acuerdo a sus necesidades hídricas diarias, lo que permitiría una mayor producción del cultivo, ahorro de agua y de energía.

El agua llega a la planta por unas tuberías de conducción y a través de unos dispositivos llamados “goteros” que proporcionan humedad a la planta, sus caudales varían de 2 a 8 L/hr. Aunque los de mayor uso son los de 4 L/hr **(Amoros, 1993)**.

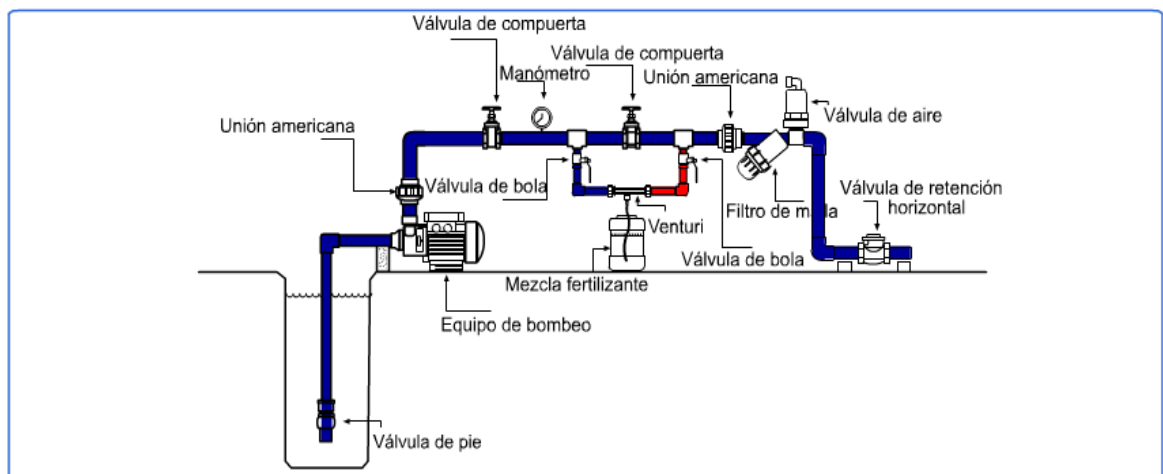
## **2.5 Unidad básica de fertirriego.**

Una unidad básica de fertirrigación debe constar de un inyector e fertilizante y un tanque de mezclas de fertilizantes, preferentemente de material plástico (el hierro o acero sufre una corrosión muy rápida), para aportar el abono líquido o, en su caso, preparar la disolución con abonos solubles. También se necesita un agitador, una válvula de control y un filtro. Dependiendo del



sistema de fertirrigación, se pueden requerir equipos adicionales como válvulas, reguladores de presión, bombas mezcladoras.

La fertirrigación comienza en el cabezal de riego, en donde son mezclados los fertilizantes (solución madre) e inyectados al sistema, posteriormente esta disolución es conducida por tuberías y localizado en el suelo donde puede ser absorbidos por las plantas. La unidad de fertilización siempre debe de ir instalado antes del sistema de filtrado, en el cabezal de riego.



**Figura 2.1** Esquema de un cabezal de riego presurizado ([http://platina.inia.cl/paltoriego/herramientas/riego/programa/cd\\_3.swf](http://platina.inia.cl/paltoriego/herramientas/riego/programa/cd_3.swf))

## 2.6 Sistemas de inyección.

Los equipos de inyección permiten aplicar fertilizantes en el sistema, junto con el agua de riego. Para realizar esta operación se utiliza depósitos de 20- 500 litros, en donde se prepara la solución madre del fertilizante con agua y desde ahí es inyectada a la red de riego.

Los sistemas de inyección son básicamente tres: uso de inyector que utiliza la presión del agua de las tuberías (inyector tipo Venturi), uso de bombas auxiliares y la inyección por succión directa desde la tubería de aspiración de la bomba.

Los inyectores se deben instalar antes de los filtros para evitar que impurezas entren a la red de riego y tapen los emisores.

### **2.6.1 Venturi.**

Son dispositivos sencillos que consisten en una pieza en forma de T con un mecanismo Venturi en su interior. Este mecanismo aprovecha el efecto vacío que se produce a medida que el agua fluye a través de un pasaje convergente que se ensancha gradualmente.

Los inyectores Venturi son equipos al que se conecta un tubo que terminan en el depósito de una solución fertilizante. El Venturi provoca un aumento de la velocidad del agua, lo que origina una succión que introduce la solución fertilizante en la red. El depósito de fertilizante no soporta presiones, y el dispositivo es sencillo, duradero y fácil de mantener. Además, origina grandes pérdidas de carga, aproximadamente 1,0 bar. Los inyectores son de plástico, en tamaños que van desde  $\frac{3}{4}$  hasta 2 pulgadas, y con velocidades de inyección que varían entre los 40 litros y 2,000 litros por hora (**Ramos, 2009**).

### **2.6.2 Bombas dosificadoras.**

Las bombas dosificadoras se utilizan cuando es necesario asegurar un control riguroso del caudal de bombeo y su mínima dependencia de variaciones de las condiciones de trabajo. Dado que suelen emplearse en el manejo de reactivos y aditivos, también deben ser aptas para el manejo de cualquier tipo de fluido: viscoso newtoniano o no, tóxicos, peligrosos, etc. (**Jutglar, 2012**).

### **2.6.3 Inyección por succión directa.**

Este tipo de inyector es el más fácil de implementar y consiste en conectar el estanque al tubo de succión (chupador) del equipo de bombeo. En el chupador de la bomba se produce presión negativa o succión, por lo tanto es un buen punto para inyectar solución madre al sistema de riego.

Este método presenta la dificultad de corrosión prematura de toda pieza metálica en el cabezal debido a la acción de ácidos y fertilizantes que en este lugar se encuentran muy concentrados.

Entre el estanque abonador y el punto de inyección se debe instalar una válvula de paso, preferentemente del tipo bola ya que es fácil abrir y cerrar para iniciar o detener el proceso de inyección.

## **2.7 Calidad del agua.**

La calidad del agua usada para irrigación es determinante para la producción y calidad en la agricultura, para el mantenimiento de la productividad del suelo de manera sostenible y para la protección del medio ambiente.

El agua para riego puede provenir de diferentes fuentes de abastecimiento como ríos, lagos, manantiales, almacenamientos artificiales, aguas de drenaje urbano y acuíferos. Dependiendo de la fuente de abastecimiento de agua, será la calidad de esta, así como el tipo de sólidos en suspensión que se encuentran en ella, la cantidad y tipo de sales en solución: la acidez o alcalinidad del agua presente de algas y bacterias, los contenidos orgánicos y la presencia de residuos vegetales, animales y basura en general, serán consecuencia de los orígenes del agua utilizada.

**Sánchez (2000)**, dice que la calidad del agua depende de las características físicas y químicas, y también de los problemas potenciales que pueden generar a los cultivos, a los suelos y al sistema de riego, dando lugar al uso condicionado del agua de riego, dependiendo del cultivo y del suelo específico que se trate.

Al aplicar el agua a los cultivos, se aplican sales en solución al suelo; estas pueden generar tres efectos principales:

- a) Las sales solubles aumentan la presión osmótica en la solución del suelo y pueden reducir los niveles de producción en los cultivos.
- b) El contenido de sodio del agua, al acumularse en el suelo, puede alterar la estructura del suelo y cambiar las condiciones de aireación y permeabilidad.
- c) La concentración alta de iones como boratos y cloruros pueden intoxicar a las plantas reduciendo el potencial de producción.

El sodio y el cloro son normalmente absorbidos por la raíz, aunque la absorción a través de las hojas produce una mayor acumulación de estos

elementos en las plantas. Una absorción directamente normalmente ocurre a través de sistemas hidratantes de rociados a altas temperaturas y baja humedad relativa.

Cuando se adiciona soluciones de fosfato de amonio a sistemas que riegan con agua dura, se presentan problemas de depósito de precipitación de ortofosfatos de Ca y Mg.

Otro problema común en el agua de riego es la concentración de bicarbonatos que, por una parte, confiere el pH alcalino al agua y por otra, es la causa principal de la precipitación de carbonatos de calcio. En este caso, la alternativa es acidificar el agua. En los sistemas de riego de baja presión, de 20 a 50 ppm de ácido sulfúrico es suficiente para evitar problemas por precipitaciones **(Martínez, 1993)**.

## **2.8 Uniformidad de la distribución del agua y fertilizantes.**

Cuando los fertilizantes se aplican a través del agua de riego, su distribución en el terreno depende de las características del flujo del agua en el sistema, de la uniformidad de aplicación por los goteros, así como de las características hidrodinámicas del suelo. La mayoría de los sistemas de riego están diseñados para que la velocidad del flujo del agua y químico en el sistema sea la adecuada para asegurar una distribución uniforme de los químicos a través de las líneas de distribución. Generalmente, los nutrientes deben ser inyectados de 15 minutos a media hora después de que el sistema de distribución de agua se haya activado y deben suspender de 15 minutos a media hora antes de que termine el tiempo de riego **(Martínez, 1993)**.

## **2.9 Comportamiento de los nutrimentos en fertirrigación.**

La ventaja más importante de la fertirrigación es la posibilidad de realizar el aporte de los nutrientes de manera racionada a lo largo del ciclo vegetativo, especialmente aquellos nutrientes que tienen más movilidad, como el nitrógeno y el potasio **(Domínguez, 1993)**.

## 2.10 Generalidades sobre los fertilizantes.

**Finck (2009)**, menciona que los abonos o fertilizantes son productos destinados a la alimentación de las plantas. Por lo tanto, abonar significa aportar abonos a las plantas o a su sustrato nutritivo.

En la ley de fertilizante está contenida esta definición: “los abonos son sustancias que se aplican directa o indirectamente a las plantas, para favorecer su crecimiento, aumentando su producción o mejorar su calidad”

Estos elementos químicos o nutrientes pueden clasificarse en: macroelementos y microelementos.

- Los macroelementos son aquéllos que se expresan como:

% en la planta o g/100g

Los principales son: N – P – K – Ca – Mg - S.

- Los microelementos se expresan como:

Parte por millón = mg/kg = mg /1000 g

Los principales son: Fe – Zn – Cu – Mn – Mo- B – Cl.

## 2.11 Concentración y formulación de los fertilizantes.

Los fertilizantes que contienen solo un elemento mayor se denominan fertilizantes puros o simples y los que contienen dos o más elementos nutritivos se denominan compuestos, complejos o mixtos. Cualquiera que sea la denominación que se emplee, el agricultor debe de saber cuál es la composición del fertilizante que contiene cada elemento.

La primera se expresa porcentualmente de acuerdo a su contenido disponible de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). La segunda corresponde a la proporción nutritiva de un fertilizante compuesto y se expresa como la relación porcentual de los nutrientes entre sí, ej.: una fórmula 10-10-10(10% de N; 10% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 10% de K<sub>2</sub>O), tiene una proporción 1:1:1, mientras que 12-24-12 tiene una relación de 1:2:1.

## **2.12 Fertilizantes para fertirrigación.**

En teoría pueden utilizarse todo tipo de fertilizantes, de preferencia que sean más solubles. Por lo tanto es importante conocer la composición química de los productos y su solubilidad en agua.

Los fertilizantes para uso de fertirriego aparecen en dos formas: sólidos solubles y soluciones líquidas.

### **2.12.1 Los fertilizantes líquidos.**

Los fertilizantes líquidos están disponibles como soluciones y suspensiones de fertilizante, los cuales pueden tener uno o varios nutrientes. Las soluciones se definen como los líquidos que contienen los nutrientes necesarios para las plantas en una solución mientras que las suspensiones contienen parte de los nutrientes necesarios para las plantas suspendidos en líquido mediante un agente de suspensión. La única desventaja que tienen los fertilizantes en forma líquida es su relativa baja concentración, a comparación de los sólidos, lo que trae aparejado un incremento en los costos de transporte y almacenamiento. Sin embargo, su manejo en los sistemas de fertirriego es más fácil con relación a los fertilizantes sólidos.

### **2.12.2 Los fertilizantes sólidos.**

Pueden ser simples o compuestos, para aplicar fertilizantes granulados a través de un sistema de riego, primero deben ser diluidos en agua. La masa de fertilizante que será disuelta en un específico volumen de agua se conoce como solubilidad, la solubilidad del fertilizante puede variar gradualmente con la temperatura, especialmente el nitrato de amonio y potasio. La selección del fertilizante granulado dependerá del nutriente que desea aplicar, de la solubilidad y manejo.

## **2.13 Fertilizantes más usados en fertirriego.**

### **2.13.1 Fertilizantes nitrogenados.**

1.- Sulfato de amonio  $((\text{NH}_4)\text{SO}_4$  [21-0-0]. Este compuesto tiene un 21 % de nitrógeno y 23% de azufre. Se caracteriza por su reacción ligeramente acidificante del suelo. Por su contenido en sulfatos puede presentar problemas en aguas ricas en sulfatos.

2.- Nitrato de amonio  $((\text{NH}_4\text{NO}_3)$  [34-00-00]. Este fertilizante se comercializa en diferentes grados de pureza. Utilizar solamente aquel que contiene 34% de nitrógeno ya que está libre de compuestos insolubles. Aproximadamente el 50% del nitrógeno se encuentra en forma nítrica de rápida absorción por parte de la planta y el resto en forma amoniacal.

3.- Nitrato de calcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  [15.5-0-0]. Aunque prácticamente abonando en los programas de fertilización tradicional debido al alto costo de la unidad de nitrógeno, este producto es utilizado en fertirrigación por su aporte de calcio cuando este elemento es necesario.

4.- Urea  $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  [46%]. La urea es comercializada como fertilizante granulado con un 46% de nitrógeno, es de alta solubilidad y fácil de manejar, lo que hace un producto muy utilizado en fertirrigación. No saliniza el agua, por lo que resulta apropiado en el caso de aguas y suelos salinos, el urea baja la temperatura del agua en el proceso de mezcla y disolución. Existe en forma perlada y en forma cristalina.

### **2.13.2 Fertilizantes ricos en fosforo.**

1.- Fosfato monoamónico  $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ . Es un fertilizante soluble en agua. Es altamente concentrado en fósforo y el nitrógeno se encuentra en forma amoniacal. No contiene cloro o sodio. Disminuye el pH de la solución favoreciendo la disponibilidad de los micronutrientes. Ayuda en la limpieza de los goteros. Recomendado en fertirrigación y en aplicaciones foliares.

2.- Fosfato diamónico  $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$  [16-48-0]. Con una concentración alta de nitrógeno y  $\text{P}_2\text{O}_5$ , tiene una reacción ligeramente alcalina, por lo tanto es

necesaria adicionar ácido nítrico para bajar el pH. La dosis adecuada es de 0.9 litros de ácido por kilo de fosfato diamónico.

3.-Ácido fosfórico ( $H_3 PO_4$ ) [0-51-0] verde [0-54-O] blanco. El  $H_3PO_4$  contiene entre un 51 y 54 % de  $P_2O_5$ . Aquel que posee un contenido de 51% es de color verde, debido a las impurezas que le otorgan ese color. El de 54% es de color blanco.

La mezcla de agua en ácido fosfórico libera calor el cual se disipa en corto tiempo. El ácido fosfórico blanco es utilizado preferentemente en la preparación de soluciones nutritivas para el uso en sistemas de riego localizados, pero su uso se ve limitado por su disponibilidad y precio.

### **2.13.3 Fertilizantes potásicos.**

1.- Nitrato de potasio (Salitre potásico) ( $KNO_3$ ) [15-0-14]. El salitre potásico posee un 15% de nitrógeno y un 14% de potasa. Este fertilizante no se disuelve completamente dejando impurezas no solubles en el fondo del recipiente.

2.- Sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) [0-0-50]. El  $K_2SO_4$  es una fuente en potasio y azufre. No es un producto popular en fertilización debido a su relativa baja solubilidad en comparación al cloruro de potasio y nitrato de potasio. La solubilidad en agua es de 120 gramos/litro

3.- Cloruro de potasio (KCl) [0-0-60]. En general es una fuente en potasio de bajo costo y es el fertilizante más popular aplicado a través de fertirrigación en Europa y Estados Unidos. No se recomienda su uso en suelos con alto contenido de cloruros, especialmente en especies altamente susceptibles como paltos, frutillas, pimentones y otros.

### **2.13.4 Fertilizantes que contienen magnesio.**

1.-Sulfato de magnesio ( $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$ ).

2.-Nitrato de magnesio líquido ( $Mg (NO_3)_2$ ).

### **2.13.5 Microelementos.**

1.- Sulfato de hierro.



- 2.- Cloruro o sulfato de manganeso.
- 3.- Sulfato de zinc.
- 4.- Sulfato de cobre.
- 5.- Molibdeno de amonio.
- 6.- Ácido bórico o bórax.

### 2.13.6 Quelatos.

Hierro, cobre, manganeso, zinc, magnesio, calcio, potasio.

## 2.14 Características que deben tener.

### 2.14.1 Solubilidad.

**Cadahía (2005)**, dice que en primer lugar, las características lógicas y esenciales los fertilizantes usados en fertirrigación es que sean solubles en agua, con el fin de obtener en disolución los elementos contenidos por los mismos. Por lo tanto los fertilizantes sólidos para fertirrigación deben llevar especificaciones en sus etiquetas las denominaciones “cristalino soluble” o “soluble para fertirrigación”. Por ello, quedan descartados aquellos fertilizantes que contengan aditivos para mejorar su conservación o para hacer más lenta su liberación. Hay que tener en cuenta la compatibilidad con otros fertilizantes y con la propia agua de riego.

**Cuadro 2.1** Características de los fertilizantes comerciales usados en fertirrigación

| Producto            | Concentración (%) |      |     |    |     |     | Estado físico | Presentación | Solubilidad g/L |
|---------------------|-------------------|------|-----|----|-----|-----|---------------|--------------|-----------------|
|                     | N                 | P2O5 | K2O | S  | CaO | MgO |               |              |                 |
| Agua amoníaca       | 19                | -    | -   | -  | -   | -   | Líquido       | Líquida      | 97              |
| Amoniaco anhidro    | 82                | -    | -   | -  | -   | -   | Gaseoso       | Líquida      | 380             |
| Urea                | 46                | -    | -   | -  | -   | -   | Sólido        | perdigonac   | 1190            |
| Nitrato de amonio   | 34                | -    | -   | -  | -   | -   | Sólido        | Cristales    | 1950            |
| Nitrato de potasio  | 14                | -    | 44  | -  | -   | -   | Sólido        | Cristales    | 135             |
| Nitrato de calcio   | 16                | -    | -   | -  | 27  | -   | Sólido        | Cristales    | 1200            |
| Sulfato de amonio   | 22                | -    | -   | 24 | -   | -   | Sólido        | Granulado    | 850             |
| Fosfato diamónico   | 18                | 46   | -   | -  | -   | -   | Sólido        | Cristales    | 575             |
| Fosfato monoamónico | 8                 | 46   | -   | -  | -   | -   | Sólido        | Cristales    | 282             |
| Cloruro de potasio  | -                 | -    | 60  | -  | -   | -   | Sólido        | Cristales    | 347             |
| Sulfato de potasio  | -                 | -    | 54  | 17 | -   | -   | Sólido        | Cristales    | 110             |
| Fosfato de potasio  | -                 | 52   | 33  | -  | -   | -   | Sólido        |              | 200             |
| Sulfato de magnesio | -                 | -    | -   | 13 | -   | 16  | Sólido        | Cristales    | 700             |
| Nitrato de magnesio | 11                | -    | -   | -  | -   | 9,5 | Sólido        | Cristales    | 500             |

Adaptado de Nathan, 1994.

**Cuadro 2.2** Ácidos Fertilizantes

| Densidad | Concentración (% en peso) |                                |
|----------|---------------------------|--------------------------------|
|          | HNO <sub>3</sub>          | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |
| 1,2      | 33                        | 34                             |
| 1,3      | 48                        | 46                             |
| 1,33     | 54                        | -                              |
| 1,4      | 65                        | 56                             |
| 1,6      | -                         | 75                             |

Adaptado de: Catálogo Fertiberia 1996.

**Burt et al (1995)**, señala que la solubilidad de varios fertilizantes se debe considerar antes de la inyección dentro del sistema de riego. Para evitar que estos materiales ocasionen problemas, se debe preparar la mezcla mediante tantas o proporciones pequeñas para evitar que se depositen en el fondo o se forme nata en la superficie del recipiente.

#### **2.14.2 Compatibilidad de los fertilizantes.**

**AAIC (2004)**, menciona que para la preparación de la solución madre, es necesario conocer la compatibilidad de los fertilizantes a usar. Así se evita reacciones químicas que arrojen resultados diferentes a los planeados para nutrir el cultivo. Se sugieren algunas reglas para mezclar los fertilizantes

- a) Cuando se mezclan fertilizantes sólidos, se debe llenar los tanques con el 50 o 75% del total de agua requerida.
- b) Agregar siempre el fertilizante líquido al agua en el tanque de mezclado, antes de añadir el fertilizante sólido.
- c) Añadir siempre, poco a poco, el fertilizante a la mezcla agitando continuamente para la formación de grumos.
- d) Agregar siempre el ácido al agua y no al revés
- e) Nunca mezcle ácido o soluciones acidas con cloro, ya sea en forma de gas o liquido como hipoclorito de sodio, pues se formara el gas cloro (altamente toxico). Nunca almacene cloro y acido en el mismo cuarto.
- f) Jamás intente mezclar directamente amoniaco anhídrido y acido; la reacción es violenta inmediata.
- g) Nunca intente mezclar un fertilizante liquido concentrado con otro fertilizante concentrado

- h) No intente mezclar un compuesto que tenga sulfato con otro que contenga calcio, magnesio o fosforo, ya que se precipitan en forma de yeso.
- i) Revise siempre las indicaciones de solubilidad y compatibilidad en las etiquetas.
- j) Jamás se debe mezclar un fertilizante que contenga fosforo con fertilizantes que contengan calcio.
- k) Antes de inyectar una mezcla desconocida en el sistema de riego, realice siempre una prueba de jarras, para verificar la compatibilidad y riesgos de precipitados insolubles.

**Cuadro 2.3** Carta de compatibilidad entre fertilizantes.

|                            | Urea | Nitrato de amonio | Sulfato de amonio | Nitrato de calcio | Nitrato de potasio | Cloruro de potasio | Sulfato de potasio | Fosfato de amonio | Sulfato de Fe, Zn, Cu, Mn | Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn | Sulfato de magnesio | Acido fosfórico | Acido sulfúrico | Acido nítrico |
|----------------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Urea                       | √    |                   |                   |                   |                    |                    |                    |                   |                           |                            |                     |                 |                 |               |
| Nitrato de amonio          | √    | √                 |                   |                   |                    |                    |                    |                   |                           |                            |                     |                 |                 |               |
| Sulfato de amonio          | √    | √                 | √                 |                   |                    |                    |                    |                   |                           |                            |                     |                 |                 |               |
| Nitrato de calcio          | √    | √                 | x                 | √                 |                    |                    |                    |                   |                           |                            |                     |                 |                 |               |
| Nitrato de potasio         | √    | √                 | √                 | √                 | √                  |                    |                    |                   |                           |                            |                     |                 |                 |               |
| Cloruro de potasio         | √    | √                 | √                 | √                 | √                  | √                  |                    |                   |                           |                            |                     |                 |                 |               |
| Sulfato de potasio         | √    | √                 | R                 | x                 | √                  | R                  | √                  |                   |                           |                            |                     |                 |                 |               |
| Fosfato de amonio          | √    | √                 | √                 | x                 | √                  | √                  | √                  | √                 |                           |                            |                     |                 |                 |               |
| Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn | √    | √                 | √                 | x                 | √                  | √                  | R                  | X                 | √                         |                            |                     |                 |                 |               |
| Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn | √    | √                 | √                 | R                 | √                  | √                  | √                  | R                 | √                         | √                          |                     |                 |                 |               |
| Sulfato de magnesio        | √    | √                 | √                 | x                 | √                  | √                  | R                  | x                 | √                         | √                          | √                   |                 |                 |               |
| Acido fosfórico            | √    | √                 | √                 | x                 | √                  | √                  | √                  | √                 | √                         | R                          | √                   | √               |                 |               |
| Acido sulfúrico            | √    | √                 | √                 | x                 | √                  | √                  | R                  | √                 | √                         | √                          | √                   | √               | √               |               |
| Acido nítrico              | √    | √                 | √                 | √                 | √                  | √                  | √                  | √                 | √                         | x                          | √                   | √               | √               | √             |

√ = compatible x = incompatible R = compatibilidad reducida

### 2.14.3 Salinidad.

**Sánchez (2000)**, dice que los fertilizantes son sales que, agregadas con el agua de riego (modificando su conductividad eléctrica C.E.), forman una solución salina que se aplica al suelo. Esta tiene efectos benéficos si las sales son fertilizantes y se dosifican sin exceder los límites de calidad de agua para

los cultivos; esto debido a que existe una relación entre la salinidad del agua de riego, de la solución del suelo y del agua de drenaje.

Las sales disueltas que originan el descenso del rendimiento de los cultivos, pueden provenir ya sea del suelo o bien del agua de riego.

El agua de riego contiene sales disueltas (bicarbonatos, sulfatos, cloruros de calcio, de magnesio, sodio, etc.) que le dan un grado de salinidad variable, según la cantidad que contengan. Los abonos que se emplean en fertirrigación, excepto la urea, son sales que al incorporarlos al agua aumentan su salinidad.

Es preciso tener cuidado con la cantidad de abono que se incorpore al agua, ya que la suma de sales del agua de riego más las que aporta el fertilizante, pueden sobrepasar el valor umbral de tolerancia del cultivo, provocándole problemas a la planta.

Si no es posible contar con la información sobre la salinidad del agua de riego se puede tomar como referencia, al momento de realizar la dosificación, que la concentración del producto no debe superar los 2 gr/L del agua aplicada.

**Guerrero (2004)**, menciona que el índice de salinidad de un fertilizante es una cifra indicativa del grado en el cual una cantidad dada del producto incrementa la presión osmótica de la solución del suelo. La cantidad de fertilizantes que puede ser aplicado sin peligro de daño al cultivo depende, además del índice de salinidad, de otros factores como la especie cultivada, la época de aplicación, sistema de aplicación, tipo de suelo, contenido de humedad, etc.

#### **2.14.4 pH.**

**Cadahia (2005)**, dice que los fertilizantes, al mezclarse con el agua de riego, modifican el pH de la solución resultante, con las consecuencias que ello representa. Así, si el fertilizante aumenta el pH habrá riesgo de precipitaciones de Ca pues este caso el catión tiene menor solubilidad. Si el fertilizante

disuelto baja el pH se evitaban obstrucciones de los goteros y servirá para limpiar la instalación. No obstante debe comprobarse que esta acidez va a permitir que en la disolución de goteros (disolución concentrada del cabezal de riego diluida con el agua de riego) se obtenga un pH entre 5,5 y 7,0.

Valores demasiado altos de pH (>7.5) disminuye la disponibilidad de fósforo, zinc y hierro para las plantas y formar precipitados como se mencionó anteriormente. Cuando aumenta el pH de la solución de fertirriego, las operaciones para reducirlo con el ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) o ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), con la ventaja que proveen a las plantas de Nitrógeno y fósforo, respectivamente.

Valores demasiado bajos de pH (< 7.5) pueden aumentar las concentraciones de Aluminio y Magnesio hasta niveles tóxicos. Valores de pH menores de 4,0 controlan las ferrobacterias y un pH de 2,0 se usa para limpiar las salidas de los emisores tapados (**RAIN BIRD, 1990**).

La acidez o basicidad de un fertilizante es una medida del grado en que la reacción del suelo cambia cuando el material se aplica a un cultivo. Esta propiedad también suele denominarse acidez o basicidad potencial, residual o equivalente.

**Cuadro 2.4** pH de ciertos fertilizantes utilizados en fertirriego para una concentración del 1%

| Fertilizantes sólidos    | Riqueza                                | pH   | CE (mmho/cm) 1%    | Solubilidad (g/l) |
|--------------------------|--|------|--------------------|-------------------|
| Nitrato amónico          | 34,5% N                                | 5.17 | 11.58              | 1.970             |
| Nitrato cálcico          | 15,5%N 27%CaO                          | 5.87 | 1.18               | 1.260             |
| Nitrato magnésico        | 11%N 15,7% MgO                         | 5.43 | 0.88               | 420               |
| Sulfato magnésico        | 15% MgO                                | 5.43 | 0.75               | 360               |
| Fosfato monoamónico      | 12% N 61%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 4.9  | 0.89               | 380               |
| Nitrato potásico         | 13%N 46%K <sub>2</sub> O               | 7.02 | 1.36               | 320               |
| Cloruro potásico         | 60% K <sub>2</sub> O                   | 7.01 | 1.88               | 340               |
| NPK cristalino           | varios                                 | -    | -                  | -                 |
| Fertilizantes líquidos   | Riqueza                                | pH   | CE (mmho/cm) 1 g/l | Solubilidad (g/l) |
| Solución nitrogenada 32% | 32%N                                   | 5.54 | 0.69               | -                 |
| Solución nitrogenada 20% | 20%N                                   | 6.37 | 0.87               | -                 |
| Ácido nítrico            | 12,5%N                                 | <1   | <0.5               | -                 |
| Solución N. cal          | 8%N 16%CaO                             | 6.4  | 0.63               | -                 |
| Solución N. magnésico    | 7%N 9,5% CaO                           | 5.4  | 0.5                | -                 |
| Ácido fosfórico          | 52%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>       | <1   | 1.5                | -                 |
| Solución potásica        | varios                                 | -    | -                  | -                 |
| Solución NPK             | varios                                 | -    | -                  | -                 |

<http://eumedia.es/user/articulo.php?id=1072>

## 2.15 Ácidos.

Los fertilizantes ácidos deben ser manejados siguiendo escrupulosamente las normas de seguridad que se indiquen en las etiquetas de cada producto, esto debe tenerse en cuenta, sobre todo, para fertilizantes ácidos que se suelen utilizar para combatir las obstrucciones de goteros y ajustar el pH de las disoluciones fertilizantes.

La finalidad del tratamiento con ácido es disolver y descomponer el sarro originado por los carbonatos, hidróxidos y fosfatos. El tratamiento no surte efecto en los sedimentos orgánicos ni en ningún tipo de sustancia inerte (arena, lodo, etc.). Los ácidos son sumamente corrosivos para ciertos materiales como el acero, el aluminio, el cemento de asbesto, etc. Pero las tuberías de polietileno y PVC son resistentes a los ácidos.

Los ácidos más utilizados en soluciones nutritivas y para prevenir el taponamiento por carbonatos son los siguientes:

Ácido clorhídrico (muriático). El ácido clorhídrico añade cloruro al agua, muchas plantas son dañadas por el exceso de cloruro, añadir más cloruros del que ya existe en el agua, pueden elevar la concentración del mismo a niveles tóxicos. Es muy corrosivo y ácido. Se emplea comúnmente como reactivo químico y se trata de un ácido fuerte que se disocia completamente en disolución acuosa. Una disolución concentrada de ácido clorhídrico tiene un pH de menos de 1; una disolución de HCl 1 M da un pH de 0. Pierde parte de su solubilidad en agua al aumentar la temperatura, y es menos soluble en alcohol, éter y disolventes orgánicos.

Ácido fosfórico. El ácido fosfórico se usa ocasionalmente para este tipo de propósitos. Puede reaccionar en el agua para formar un sólido insoluble que puede causar taponamiento del sistema de riego, además niveles excesivos de fosfatos pueden provocar problemas de balance nutricional y hasta una reducción del crecimiento de la planta.

Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) [O-O-O]. El ácido sulfúrico no es un fertilizante, por eso su ley es 0-0-0 (no contiene nitrógeno, fósforo ni potasio). Se encuentra en forma líquida con una densidad de 1.83 kg/lit cuando está concentrado. El ácido sulfúrico es un líquido claro y transparente, no tiene olor. Se utiliza para reducir el pH del agua de riego. Cuando se mezcla con agua libera una apreciable cantidad de calor.

El ácido sulfúrico es un compuesto químico extremadamente peligroso y se requiere mucho cuidado en su manipulación, transporte y almacenaje. Los tambores de almacenaje deben ser herméticos para evitar filtraciones o evitar el contacto del líquido en alguna fuente de agua.

**Cuadro 2.4** Características de cuatro ácidos.

| Acido       | Fórmula                        | Peso molecular (g) | Peso equivalente (g) | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Concentración (%) |
|-------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|
| Clorhídrico | HCl                            | 36.48              | 36.48                | 1.18                          | 36                |
| Fosfórico   | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 98.04              | 32.68                | 1.71                          | 85                |
| Nítrico     | HNO <sub>3</sub>               | 63.02              | 63.02                | 1.4                           | 65                |
| Sulfúrico   | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 98.08              | 49.04                | 1.84                          | 95                |

Martínez 1998, Manual de Fertirrigación

### 2.16 Prueba de Jarras.

**Thereadgil (1985)**, aconseja evaluar la compatibilidad de las mezclas mediante la prueba de jarras, que consiste en someter una solución de fertilizantes dentro de una jarra con agua de riego y observar si se precipita o torna turbia en un tiempo de aproximadamente dos horas, ya que estas condiciones pueden ocasionar taponamientos en los emisores para la inyección de químicos, si se aplican o inyectan diferentes soluciones de fertilizantes simultáneamente dentro de un sistema de riego estas mezclas en la jarra pueden ser testigo de la compatibilidad, aceptabilidad en la combinación de soluciones de fertilizantes de la dilución aproximada de soluciones, así mismo es un claro testimonio de la reacción del fertilizante o químico dentro del sistema de irrigación.

## 2.17 Curva de titulación.

La titulación es un procedimiento para determinar la concentración de una especie que se encuentra en la solución (analito), mediante la adición de otra solución de concentración conocida (solución estándar, solución valorante o titulante), a una muestra (alícuota) de la solución que contiene la especie a determinar (solución o titular).

Es un análisis ácido-base, si se adiciona suficiente cantidad de una base de concentraciones conocidas (solución valorante o titulante), para neutralizar exactamente una cantidad original de ácido (analito), se puede, que a partir de cálculos estequiométricos, determinar la concentración original del ácido.

El punto en el cual se neutraliza la sustancia original se conoce como punto de equivalencia y se determina utilizando algunos cambios físicos asociados al sistema de reacción, entre varios: cambios de color, formación de precipitados, variaciones en pH y cambios en la conductividad eléctrica.

Algunas se basan en los cambios de un indicador y se llaman titulaciones colorimétricas. Otras se fundamentan en el cambio de la conductividad eléctrica durante la reacción, denominadas conductimétricas. Otras utilizan el cambio en el pH, conocidas como potenciométricas **(Villa 2005)**.

En las titulaciones conductimétricas se sigue la variación de la conductancia eléctrica de la solución en el transcurso de una titulación. La especificidad se obtiene reemplazando un ion dado por otro **(Wilches, 2007)**.

Las valoraciones conductimétricas se basan en la medida del cambio de la conductancia de una disolución a medida que se agrega el reactivo valorante. La conductancia de una disolución varía, entre otros factores, con el número, tamaño y carga de los iones, por lo que iones diferentes contribuirán en forma diferente a la conductancia de una disolución.

De esta manera, durante una valoración, la sustitución de algunas especies iónicas por otras producirá un cambio en la conductancia, el cual puede ser ventajosamente aprovechado para determinar el punto final de una valoración. En las valoraciones conductimétricas, la conductancia de la disolución a



valorar se mide luego de la adición de cantidades determinadas de reactivo valorante. Si se grafican los valores de conductancia en función del volumen de valorante agregado, se obtendrán dos rectas de pendientes diferentes, de cuya intersección se podrá obtener el punto final de una valoración.

La cantidad de ácido requerido para bajar el pH sólo puede ser determinado a través de pruebas de titulación utilizando muestra de agua proveniente de la misma fuente del agua de riego. Una curva de titulación (la relación entre el pH del agua y la cantidad de ácido aplicado) es única para cada muestra de agua y tipo de ácido utilizado.

Un agricultor que desee la curva de titulación para sus condiciones particulares, debe enviar una muestra de agua (2 litros es suficiente) y del ácido que está utilizando (10-50 cc) a un laboratorio químico. No se recomienda hacer esta prueba en el campo ya que el error que se puede cometer en el procedimiento puede ser tan grande que la información obtenida no representará las condiciones reales. El agricultor si puede chequear el pH del agua a nivel de laterales de riego obteniendo una muestra de agua y midiendo el pH con un instrumento de bolsillo o con papel indicador. El uso de papel indicador no es tan exacto como el instrumento electrónico y pierde sus cualidades con el tiempo.

### III. MATERIALES Y METODOS.

#### 3.1 Localización Geográfica.

El área experimental del Jardín Hidráulico de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se localiza sobre las coordenadas geográficas 25° 21' 17" de latitud norte y 101° 2' 8" longitud oeste y a una altitud de 1765 msnm.



**Figura 3.1.** Área de prueba.

#### 3.2 Clima

El clima de Saltillo es de subtipos secos semicálidos; al suroeste subtipos semisecos templados y grupos de climas secos B y semifríos, en la parte sureste y noreste; la temperatura media anual es de 14 a 18°C y la precipitación media anual en el sur del municipio se encuentra en el rango de los 300 a 400 milímetros; al centro tiene un rango de 400 a 500 milímetros y al norte de 300 a 400 milímetros; con régimen de lluvias en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y escasas en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo; los vientos predominantes soplan en dirección noreste con velocidad de 22.5 km/h. La frecuencia de heladas es de 20 a 40 días en la parte norte-noreste y suroeste; y en el resto de 40 a 60 días y granizadas de uno a dos días en la parte sureste y de 0 a un día en el resto.

La evaporación promedio mensual de 156.4 mm. Siendo los meses de septiembre, octubre y noviembre los de mayor intensidad con 167.7 y los de menor intensidad 140.6 mm.

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM05coahuila/municipios/05030a.html>

### **3.3 Materiales.**

Rotor R33 Nelson boquilla verde

Equipo de bombeo de 1 ½ “Hp, succión de 1 ¼ “y descarga de 1”

48 recipientes de colección de ½ litro de capacidad de plástico transparente.

Etiquetas

3 garrafas de 6 litros

### **3.4 Equipos de laboratorio.**

Conductiviméetro

Potenciómetro

Potenciómetro HANNA HI 98130

Vasos de precipitado (50 cc, 100 cc y 200cc)

Pipetas graduadas (1ml, 2 ml)

Probetas graduadas (10 cc, 50 cc, y de 1000 cc)

### **3.5 Reactivos.**

Fertilizantes

Urea perlada 46%

Triple 17 (17- 17- 17)

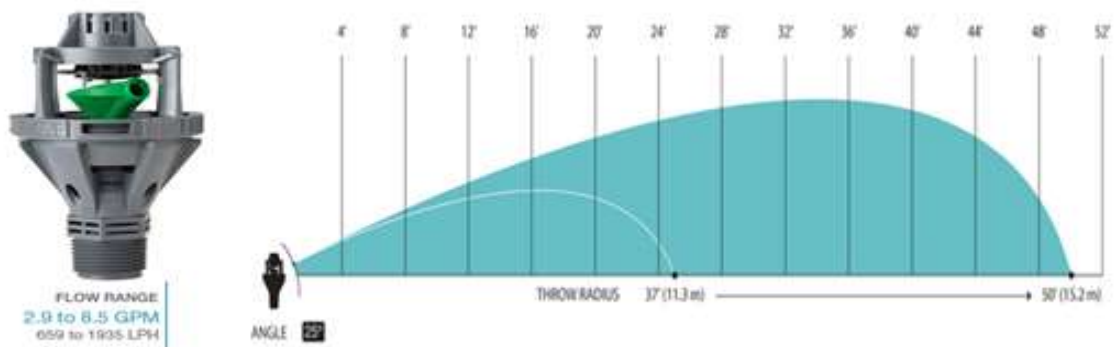
Ácidos

Ácido clorhídrico (36.5% de concentración)

Ácido sulfúrico (98 % de pureza)

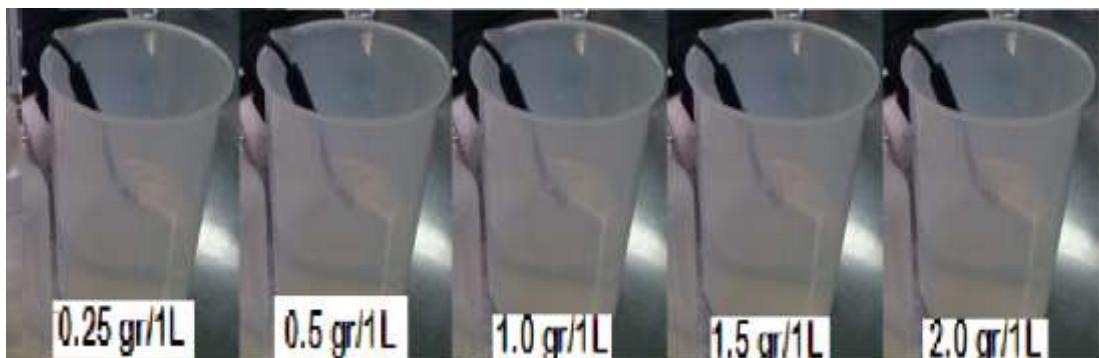
### 3.6 Metodología.

- 1.- Se midió la distancia entre aspersores, aforando volumétricamente el caudal de las boquillas.
- 2.- El patrón de aspersión en punto de emisión fue identificada mediante la colecta de la lluvia precipitada sobre una serie de pluviómetros dispuestos en una cuadrícula de 3m x 3m, entre aspersores teniendo una distancia de 12 m, utilizando el rotor R33 boquilla verde de NELSON.

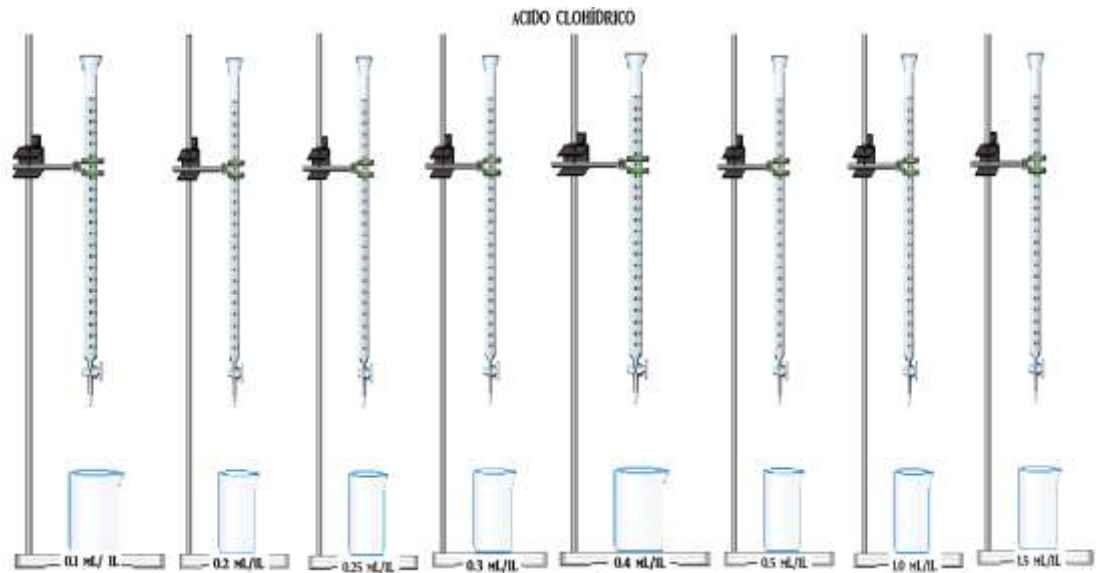


**Figura 3.2.** Especificaciones de rotor R33 de NELSON.

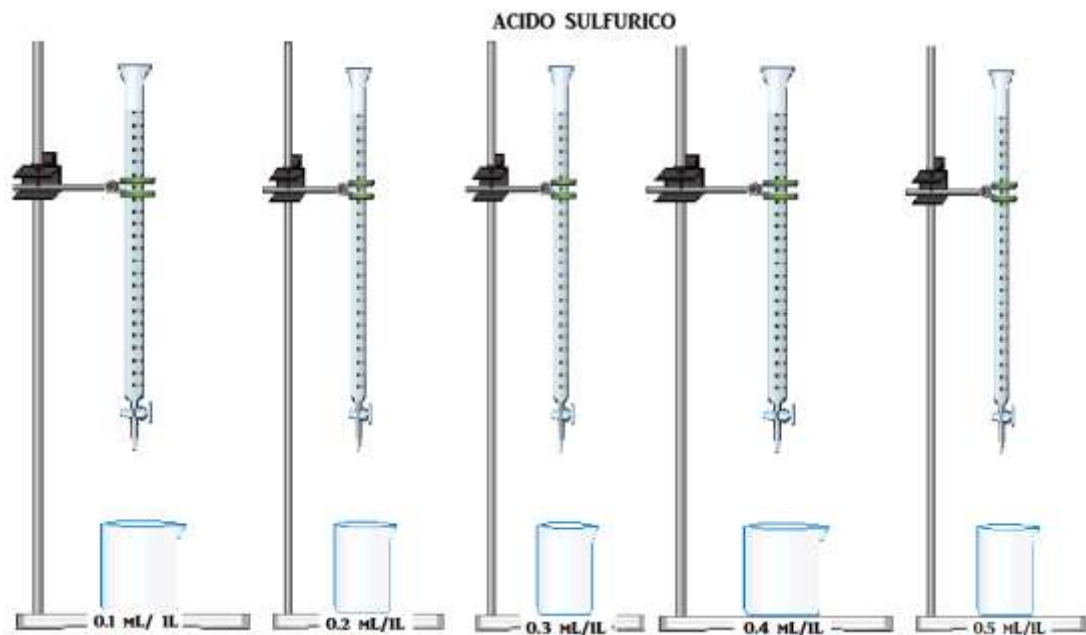
- 3.- Las curvas de titulación para fertilizantes y ácidos se obtuvieron mediante la colecta de muestras del agua de riego utilizada en la UAAAN para analizar la alteración química en la calidad del agua, se aplicaron diferentes concentraciones de fertilizante y ácido, tomando datos de C.E y pH de las muestras tratadas para así poder tener una idea de cuánto fertilizante o ácido debemos aplicar en campo y poder obtener variaciones significativas, graficando enseguida las concentraciones contra las lecturas para apreciar las tendencias de la curva.



**Figura 3.3.** Agregación de diferentes concentraciones de Urea Perlada (46%) para poder obtener las curvas de titulación, las mismas cantidades y concentraciones se aplicaron para el Triple 17.

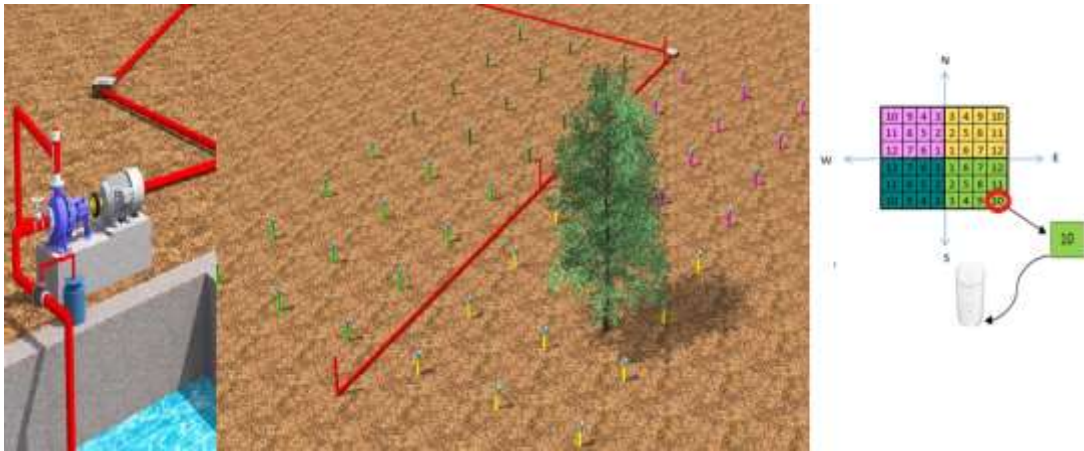


**Figura 3.4.** Diferentes concentraciones de Ácido Clorhídrico diluidos en un litro de agua para poder obtener la curva de titulación.



**Figura 3.5.** Concentraciones utilizadas para el Ácido Sulfúrico en un litro de agua de riego.

4.- La ubicación de los colectores se realizó de acuerdo a cada orientación, cada colector se le colocó una etiqueta con la cual se identificaron con mayor facilidad.



**Figura 3.6.** Los números y los colores se anotaron en una etiqueta para pegarlos en el fondo de cada recipiente colector y así identificar el dato para su registro.

5.- La preparación de la solución madre se realizó previendo la cantidad de mezcla para inyectar una concentración de fertilizante, que induzca cambios significantes en la calidad del agua al operar con un tiempo de inyección de 40 minutos de la prueba.

Calculando la concentración del fertilizante en el tanque de mezcla con la siguiente ecuación:

$$C_i = \frac{qx C_x}{(Q + qx)}$$

$$C_x = \frac{C_i(Q + qx)}{qx}$$

Siendo:

$C_i$ : Concentración de fertilizante en el agua de riego distribuida en el punto de emisión que se obtiene después del punto de inyección al mezclar ambos caudales.

$Q$ : Gasto del sistema.

$qx$ : Gasto del inyector.

$C_x$ : Concentración del fertilizante en el tanque de mezcla.

La concentración de ácido se calculó con la siguiente fórmula:

$$q_{H_2SO_4} = \frac{HCO_3 \frac{meq}{L} * Q \text{ lps}}{8.38}$$

En relación a los bicarbonatos de la calidad de agua para el riego utilizada en UAAAN se tomaron los datos que reportó el Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje se obtuvo un resultado de 2,5 meq/L de bicarbonatos

6.- Una vez seleccionado el tipo de fertilizante a emplear, se preparó la solución madre.

7.-Se agregó agua a las 3 garrafas de 6 litros hasta la mitad de la solución a preparar.

8.- El número de colectores en la primera prueba se realizó con 24 correspondiendo 6 a cada orientación, en la segunda prueba se agregaron más colectores siendo en total 48 distribuyendo 12 por cada orientación con la finalidad de ampliar el espacio de muestreo y extrapolar con más confianza el mapeo de las lecturas.

9.- Se realizaron 2 pruebas con diferentes fertilizantes y 2 pruebas con ácidos, como se describe a continuación:

**Prueba 1:** Evaluación de la urea (46% N), la cantidad de urea que se aplicó fue de 7.16 gr/ L de concentración durante 15 min., en el área tratada dejando en funcionamiento durante un tiempo de 25 minutos más para obtener mayor volumen colectado, en total se mezclaron 4 Kg de urea en 18 litros de agua, esta solución madre se inyectó en el agua de riego a una tasa de aplicación de 2 lpm, el gasto del sistema de riego es de 60 lpm.

Día de aplicación: 05 de Septiembre 2013 por la mañana.

Velocidad del viento: 13,5 km/h.

Precipitación del día anterior: 1.52 mm.





**Figura 3.7.** Aplicación de urea perlada (46%)

**Prueba 2:** Evaluación de ácido clorhídrico, en la cual se aplicaron 900 ml a una concentración de 1 ml/L diluido en 18 litros de agua, el tiempo de aplicación fue de 40 minutos, gasto del sistema 60 lpm a una tasa de inyección de 2 lpm.

Día de aplicación: 10- Septiembre- 2013.

Velocidad del viento: 15,7 km/h.

Precipitación del día anterior: 25,15 mm.



**Figura 3.8.** Aplicación de ácido Clorhídrico.

**Prueba 3:** Evaluación de Triple 17 (17% N – 17% P – 17% K – 18% S – 2% Mg), la concentración de Triple 17 que se aplicó fue de 100 gr/ L, correspondiendo a 600 gr de fertilizantes en 6 litros de agua, siendo así un total de 2,400 kg de Triple 17 disuelto en 24 litros de agua, solución madre inyectada en el agua de riego a una tasa de aplicación de 2 lpm durante un tiempo de 40 minutos.

Día de aplicación: 12- Septiembre- 2013.

Velocidad del viento: 16,5 km/h.



Precipitación del día anterior: 0,51 mm.



**Figura 3.9.** Aplicación de triple 17

**Prueba 4:** Evaluación de Ácido Sulfúrico, se aplicaco una dosis de 60 ml diluidos en cada recipiente de 6 litros, aplicando así un total de 360 ml disueltos en 36 litros de agua a una taza de inyección de 1lpm aplicado durante 40 minutos.

Día de aplicación: 18- Septiembre- 2013.

Velocidad del viento: 14,8 km/h.

Precipitación del día anterior: 7,11 mm.



**Figura 3.10.** Aplicación de ácido sulfúrico.

Los datos climatológicos fueron reportados por la estación meteorológica: 763900 (MMIO), Latitud: 25.36, Longitud: -100.98, Altitud: 1790 msnm.

[http://www.tutiempo.net/clima/Saltillo\\_Coah/09-2013/763900.htm](http://www.tutiempo.net/clima/Saltillo_Coah/09-2013/763900.htm)

10.- Agitar vigorosamente hasta que el producto se encuentre disuelto, teniendo cuidado en las pruebas con ácido asegurando de no provocar reacciones, agregando el ácido al agua por las paredes de los recipientes.

11.- Agregar el agua hasta completar el volumen necesario y agitar nuevamente.

12.- Inyectar la solución al sistema de riego teniendo un tiempo constante en todas las pruebas de 40 minutos.

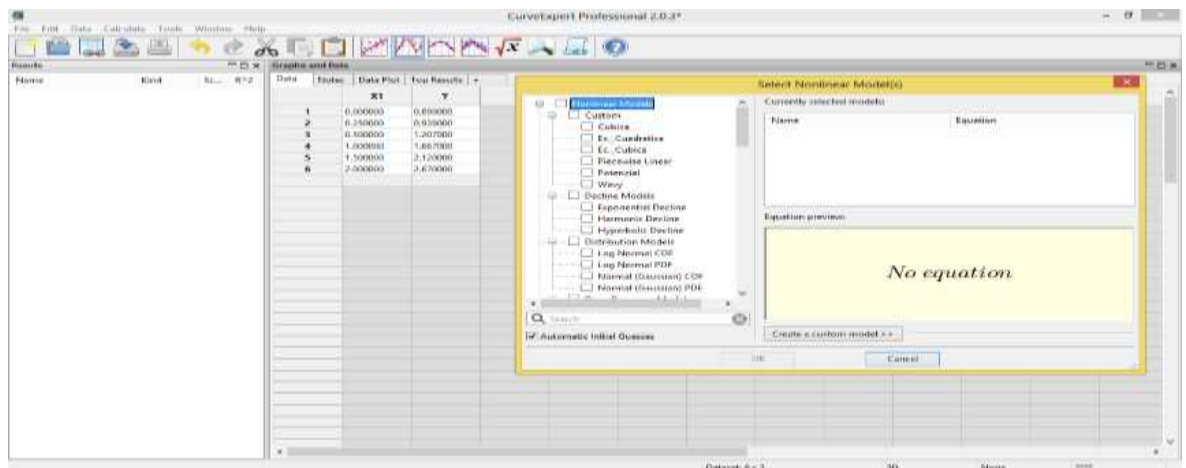
13.- Al terminar la prueba en campo, se procedía a trasportar los colectores con su contenido al Laboratorio de Calidad de Aguas en el Departamento de Riego y Drenaje procurando no contaminar las muestras.

14.- En el laboratorio de Calidad de aguas del Departamento de Riego y Drenaje se midió volumen, C.E. y pH de cada uno de los colectores.



**Figura 3.11.** Colectores trasladados al laboratorio para la medición de los parámetros señalados.

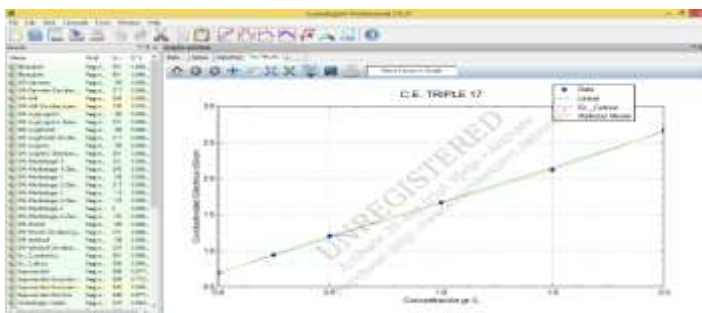
15.- Al termino de las mediciones correspondientes y al obtener los valores de cada parámetro se graficaron y analizaron los datos medidos, con la finalidad de obtener la ecuación en base a la C.E. esto se realizó con el programa CurveExpert Professional 2.0.3.



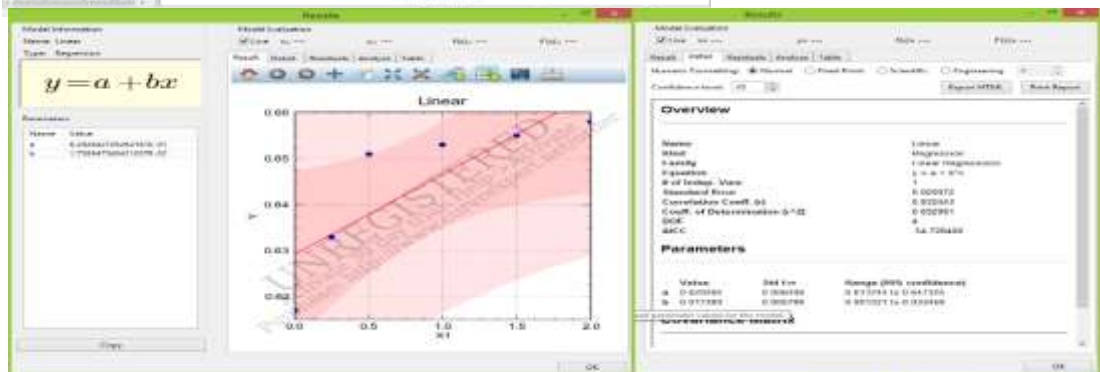
**Figura 3.12.** Tabulación de datos

16.- Tabular los datos obtenidos en el laboratorio, seleccionar alguna función si así lo deseas, o pedir al programa que elija la ecuación de mayor ajuste a los datos insertados.

17.- Se seleccionó la ecuación que el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) sea mayor ya que es un estadístico usado en el contexto de un modelo estadístico cuyo principal propósito es predecir futuros resultados o testear una hipótesis, establece una medida del grado de asociación entre la variable respuesta y la variable predictora, es decir es un indicador que nos permite saber si el modelo que estamos usando es el adecuado.



**Figura. 3.13.** Ecuaciones que más se ajustan a los datos proporcionados



**Figura. 3.14.** Ecuación y datos específicos de la curva.

18.- Ya que ha seleccionado la ecuación se despejar la variable dependiente (x), siendo esta los valores de concentración que estimaremos en base a los valores de C.E.

19.- Los valores estimados con los datos de las ecuaciones obtenidas de la aplicación nos proporcionaron las estimaciones de las concentraciones de fertilizante y ácido aplicado en (gr/L y ml/L), y al multiplicarlo por el volumen colectado obtuvimos un aproximado de la cantidad de fertilizante en colector.

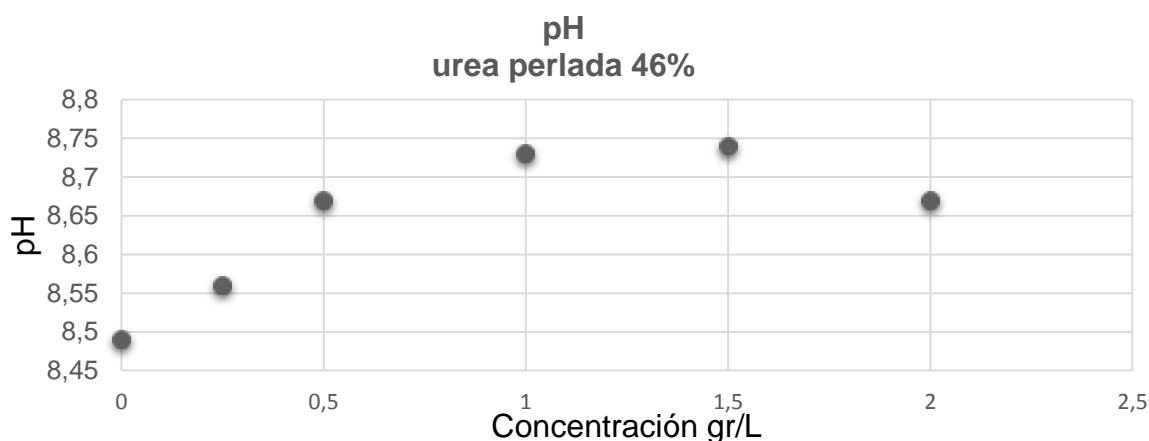
20.-Al terminar de realizar los cálculos (concentración y cantidad de fertilizante y ácido) y los datos obtenidos en laboratorio (pH y C.E) se realizó el mapa de cada uno de ellos para analizar el comportamiento de cada parámetro.

## IV.RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Curva de titulación para los fertilizantes

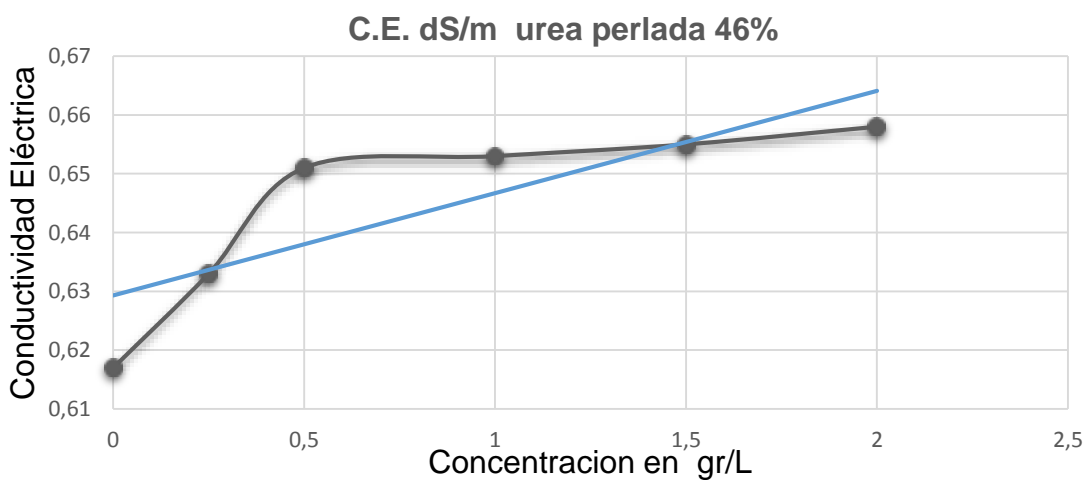
La representación gráfica que se muestran a continuación en las figuras 4.1,4.2, 4.3 y 4.4 presentan los cambios en pH y C.E. de las reacciones químicas encontradas en laboratorio durante las pruebas de titulación para Urea y Triple 17.

#### 4.1.1 Urea perlada (46%)



**Figura 4.1** Cambios de pH del agua al aumentar la concentración de urea.

Al incrementar la concentración de urea de 0 a 1 gr. por litro se incrementa el pH de 8.49 a 8.7, mientras que las concentraciones en el rango de 1-2 gr /L no aumentaron el pH del agua significativamente.



**Figura 4.2** Curva de titulación de la urea.

En la figura 4.2 se puede observar la tendencia de la C.E. del agua en respuesta al incremento de concentración de urea, la cual se utilizó para determinar la concentración de Urea y los cambios en la C.E. en los datos experimentales alrededor de los rotores.

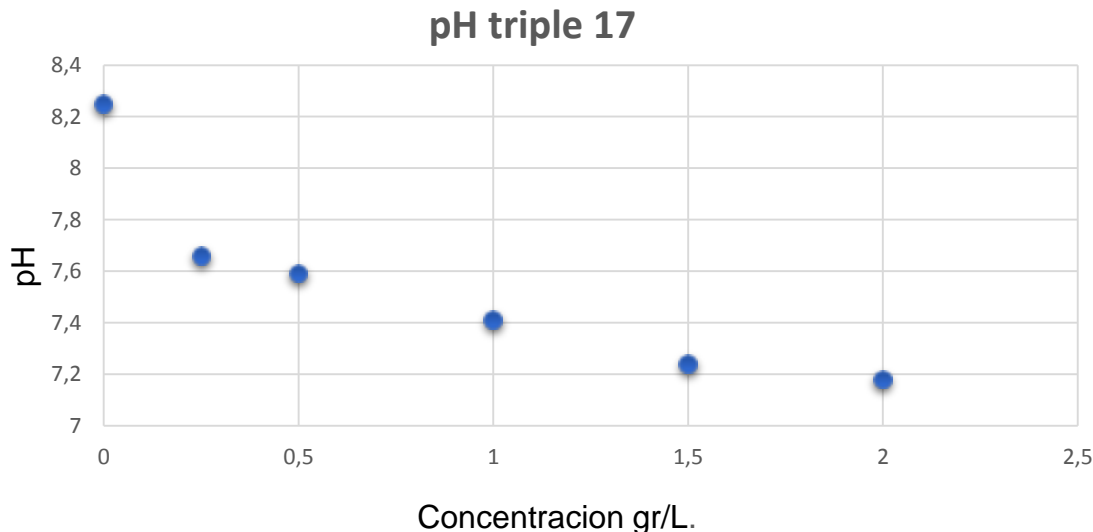
Los valores de 0 a 0.5 g urea/L tienen un incremento significativo de 0.617 a 0,653 dS/m, mientras que en el rango de 0,5 a 2 g/L no existe un aumento considerable en la C.E.

**Cuadro 4.1** Parámetros estadísticos de la ecuación para la Urea.

| Ecuación       | $Y = a + b \cdot x$ |
|----------------|---------------------|
| a=             | 0,629284            |
| b=             | 0,017389            |
| IC             | 95%                 |
| Error estándar | 0,009972            |
| r <sup>2</sup> | 0,692961            |
| Familia:       | Regresión lineal    |

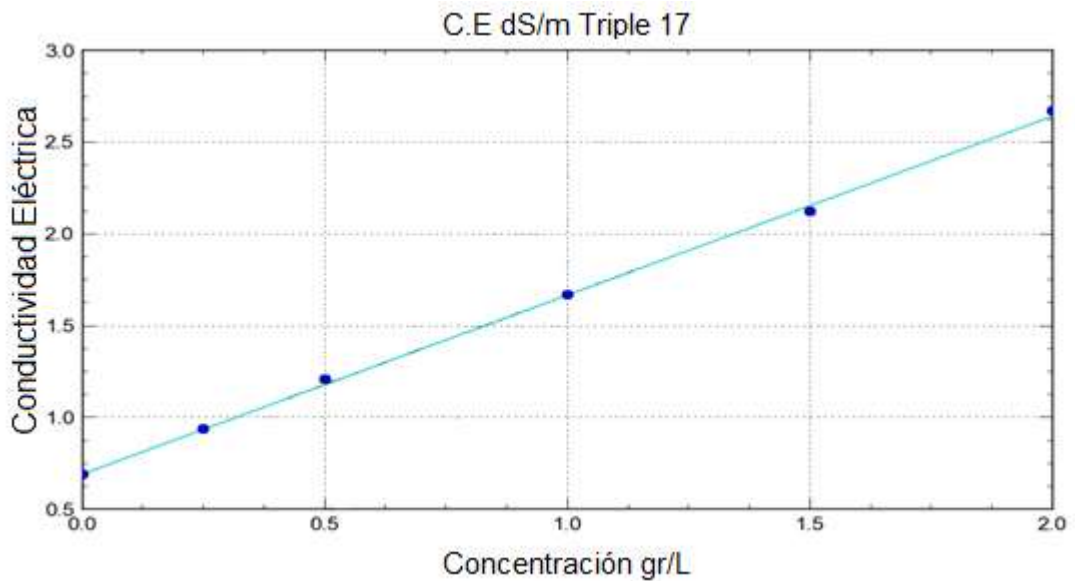
En el cuadro 4.1 se reportan los valores obtenidos de CurveExpert 2.0.3 de la regresión que más se ajustó a los datos proporcionados al programa, mostrando así todas las variables y parámetros estadísticos de la misma.

#### 4.1.2 Triple 17 (17 – 17 – 17)



**Figura 4.3** Datos de pH a diferentes concentraciones de Triple 17.

En la figura 4.3 se observa un cambio decreciente de pH al incrementar la concentración de Triple 17, desde un valor de 8,2 en agua sin fertilizante hasta un valor de 7,18 (0-2 gr/L), lo que nos muestra que este fertilizante tiene reacción acidificante.



**Figura 4.4** Prueba de titulación del triple 17 (17-17-17).

La prueba de titulación para el Triple 17 demostró que al incrementar la concentración de fertilizante se incrementa proporcionalmente la C.E. del agua como se puede apreciar en la figura 4.4 que tiene un efecto salinizante.

**Cuadro 4.2** Parámetros estadísticos de la ecuación lineal.

| <i>Ecuación</i>       | $Y = a + b \cdot x$ |
|-----------------------|---------------------|
| <b>a=</b>             | 0,695902            |
| <b>b=</b>             | 0,974779            |
| <b>IC</b>             | 95%                 |
| <b>Error estándar</b> | 0,025799            |
| <b>r<sup>2</sup></b>  | 0,999057            |
| <b>Familia</b>        | Regresión lineal    |

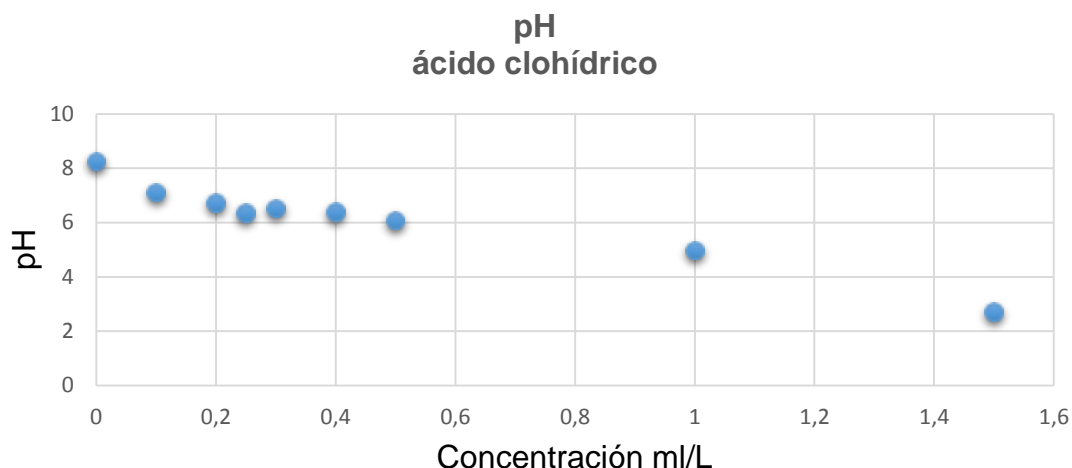
Una regresión lineal fue la que mejor modela la relación entre la variable dependiente (Concentración) y la variable independiente (C.E).

#### 4.2. Curvas de titulación para ácidos

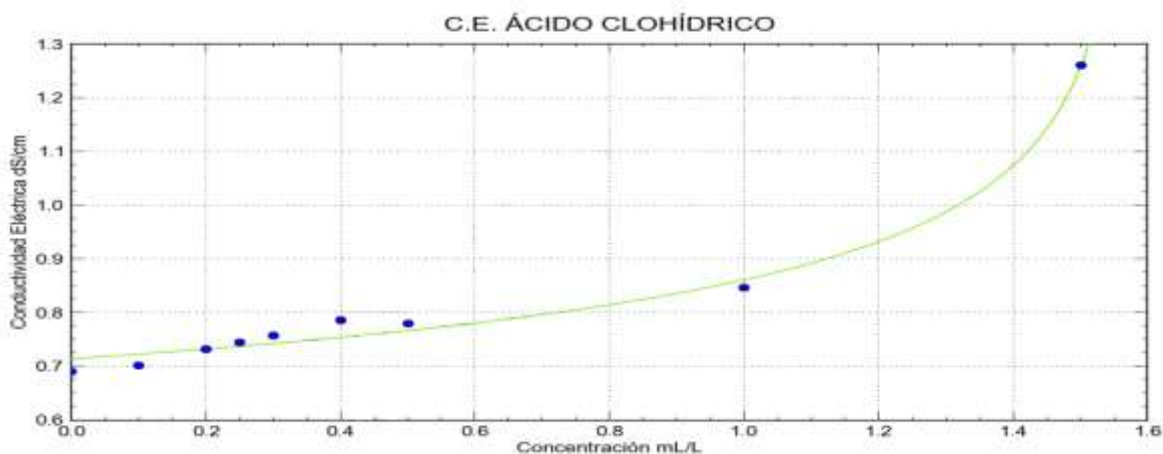
La curva de titulación es la gráfica que indica como los valores de pH y C.E. de la solución cambian durante el transcurso de la misma, la titulación es un procedimiento analítico cuyo objetivo es determinar la concentración, como lo muestran en las figuras 4,5 a la 4,8 se observan los cambios que se presentan al aumentar la concentración de ácido (ml/L).



#### 4.2.1 Acido clorhídrico



**Figura 4.5** Lecturas observadas de pH a diferentes concentraciones de ácido clorhídrico disueltas en un litro de agua de riego alcalina. Al aumentar las concentraciones de ácido clorhídrico de 0 a 1.5 ml/L el pH del agua disminuyó desde su valor inicial que era 8.25 hasta un valor de 2.71, lo que demuestra que tiene un efecto acidificante significativo.



**Figura 4.6** Curva C.E. de titulación del ácido clorhídrico.

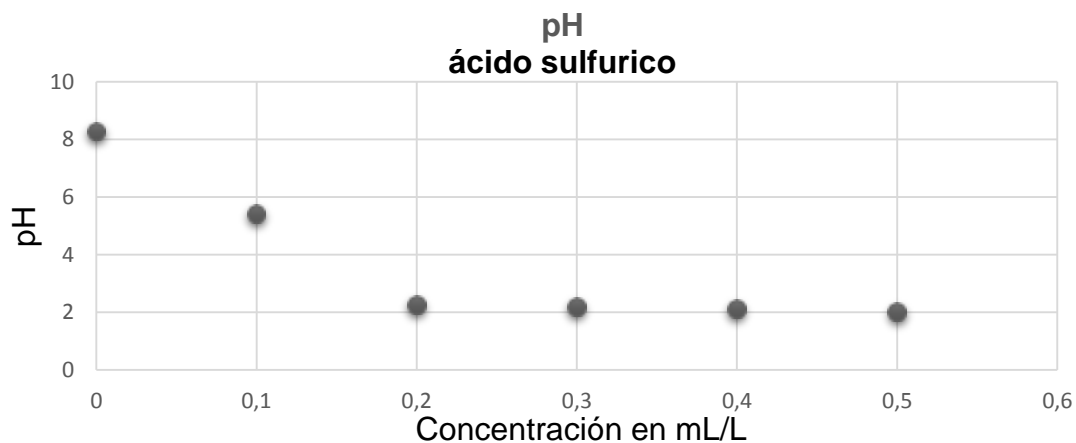
Como se puede observar en la figura 4.6 la curva de titulación HCl se caracteriza por aumentar ligeramente la C.E. del agua la cual varía de 0.69 hasta 0.846 dS/m al ir agregando ácido clorhídrico de 0 a 1 ml/L a la muestra de agua de riego y una brusca respuesta se observa al aumentar la concentración de 1 a 1.5 ml/L por la alteración en el balance iónico, la liberación de hidrógeno y el agregado del Cloro.

**Cuadro 4.3** Datos de ecuación para ácido clorhídrico.

| <b>Ecuación</b>       | <b>Y= (a+ b*x)^(-1/c)</b> |
|-----------------------|---------------------------|
| <b>a=</b>             | 6,092921                  |
| <b>b=</b>             | -3,869241                 |
| <b>c=</b>             | 5,376952                  |
| <b>IC</b>             | 95%                       |
| <b>Error estándar</b> | 0,021357                  |
| <b>r^2</b>            | 0,988828                  |
| <b>Familia</b>        | Función Yield - Density   |

Coeficientes estadísticos para el modelo de regresión que mejor se ajustó a la tendencia de la Curva de Titulación de C.E en función de Ácido Clorhídrico.

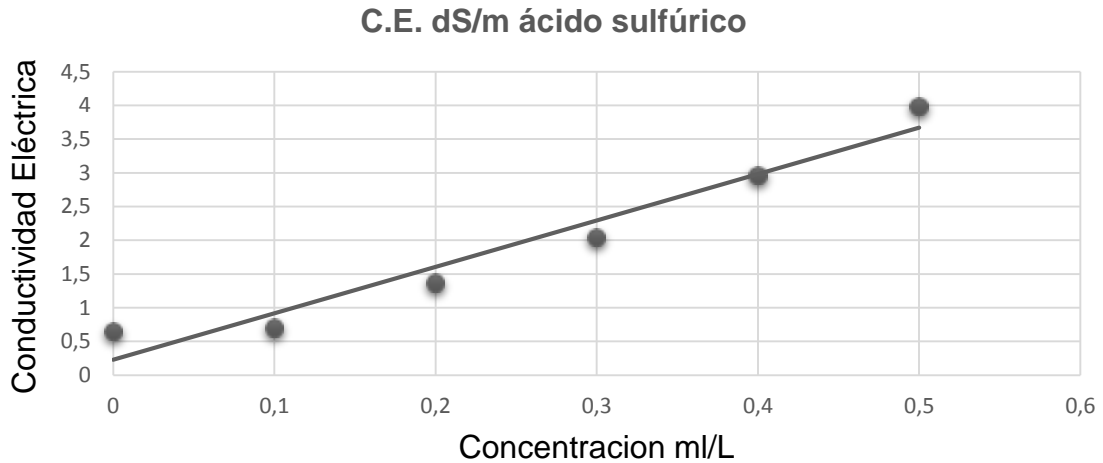
#### 4.2.1 Acido sulfúrico.



**Figura 4.7** Tendencia de pH a diferentes concentraciones de ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico libera más hidrógenos en el agua y tiene una reacción acidificante más fuerte en comparación al ácido clorhídrico, por esta razón el pH del agua fue reducido de 8,28 a 2,25 al añadir 0,2 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L, pero al incrementar la concentración de ácido sulfúrico de 0,2 a 0,5 no baja el pH significativamente pero si se incrementa la C.E como se muestra más adelante.





**Figura 4.8** Curva de titulación de C.E del ácido sulfúrico.

La C.E. del agua de riego aumenta progresivamente al aumentar la concentración de ácido sulfúrico disuelta, debido a los sulfatos que se disocian al ionizarse el compuesto en el agua.

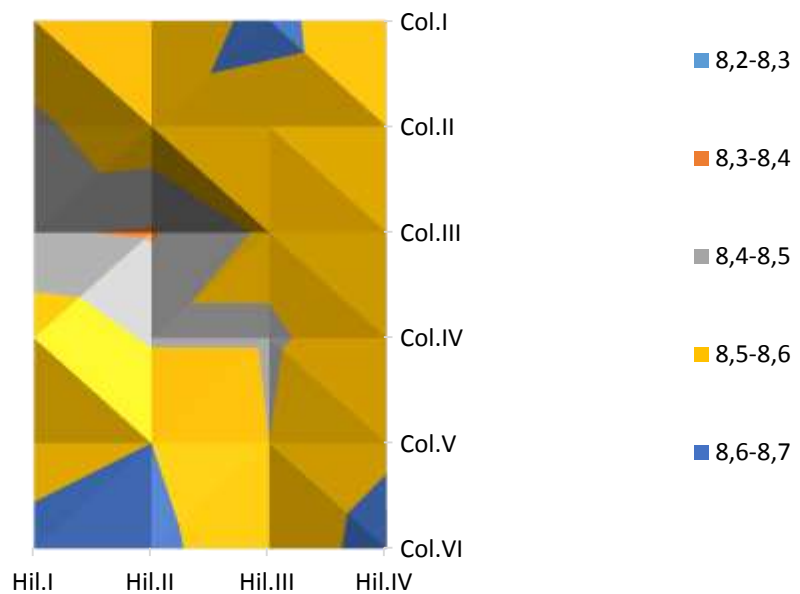
**Cuadro 4.4** Coeficientes de la ecuación utilizados para el ácido sulfúrico.

| <b>Ecuación</b>       | <b>Y= a+b*x</b>  |
|-----------------------|------------------|
| <b>a=</b>             | 0,228286         |
| <b>b=</b>             | 6,886857         |
| <b>IC</b>             | 95%              |
| <b>Error estándar</b> | 0,330971         |
| <b>r^2</b>            | 0,949856         |
| <b>Familia:</b>       | Regresión lineal |

Coeficientes de la relación existente entre las variables, es una regresión lineal que se adapta a una amplia variedad de situaciones y es la que mejor se adaptó a los datos proporcionados para tener un mejor criterio sobre nuestra variable predictor.

### 4.3 Comportamiento de las concentraciones de urea perlada (46%) bajo el patrón de aspersión.

La inyección de urea se realizó a una concentración de 7.16 gr/L durante 15 min., dejando el riego en funcionamiento durante 25 minutos adicionales para obtener mayor volumen colectado, el mapa indica que el pH se volvió más alcalino ya que el agua natural de la fuente se caracterizó por un pH= 6.43 y la C.E no se incrementó significativamente ya que el valor inicial fue de 0,741 dS/m.

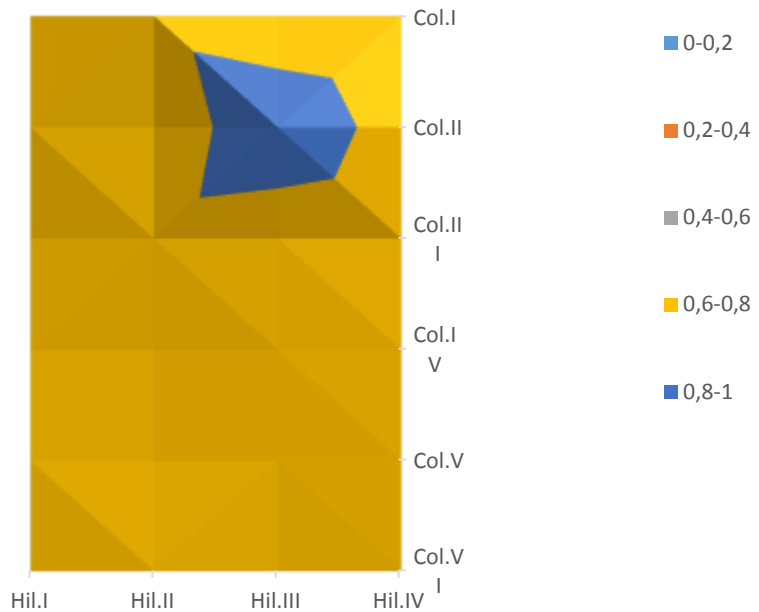


**Figura 4.9** Variación del pH en el agua asperjada por aspersión.

Como se puede observar la mayor superficie se encuentra en los rangos de 8,5-8,6, otro rango con menor superficie es de 8,4-8,5, y en menor superficie un pH muy elevado de 8,6-8,7, estos cambios se atribuyen a las reacciones químicas que suceden en el agua y los cambios de temperatura del día de la aplicación. La variación en la distribución del pH que muestra el mapa de la figura 4.9 puede ser debido a la presencia del viento que distorsionó los patrones de lluvia de los rotores ya que estos funcionan con dos momentos diferentes uno lento y otro rápido.

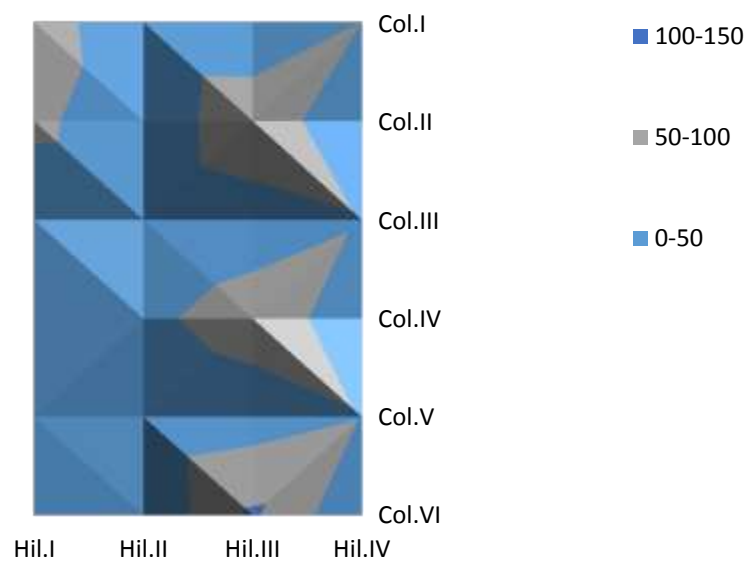
Esto ayuda a comprender lo que puede pasar en el suelo, ya que con un valor de pH mayor de 6.3, cuando se agrega urea al suelo, esta sufre un proceso de hidrólisis, generando como productos la reacción amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y anión

bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), pero si es menor 6.2 se trasforma en bióxido de carbono y amonio.



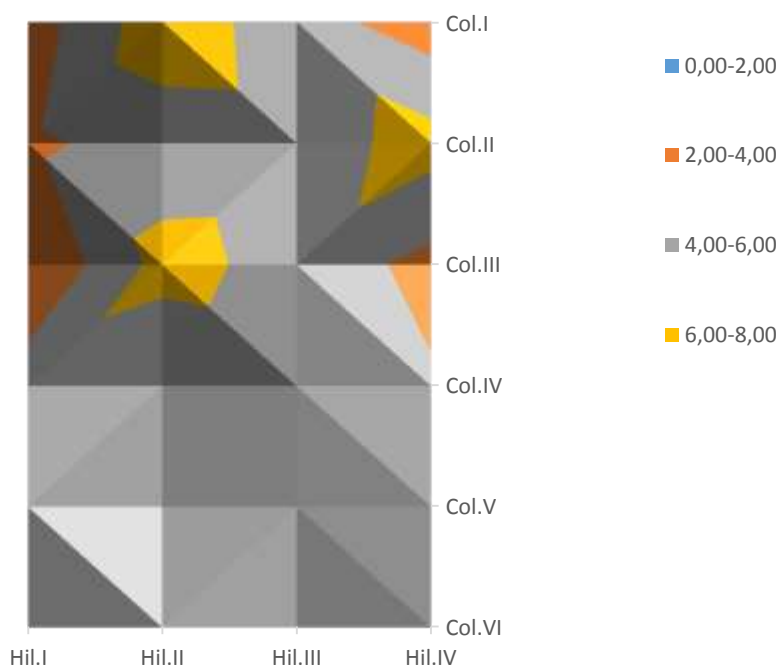
**Figura 4.10** Mapeo de la C.E dS/m asociada con la inyección de urea.

La urea (como molécula orgánica que es) se disuelve, pero no se disocia; y por lo tanto no aumenta la C.E. al disolverla en agua, la C.E. mantiene su rango de 0.6-0.8 dS/m, el valor que se aumenta se pudo haber dado por contaminación de la muestra, desde el punto de vista agronómico, la urea aportada al suelo, se hidroliza y contribuye al aumento de la conductividad del suelo.



**Figura 4.11** Volúmenes de agua colectados durante la fertirrigación con Urea.

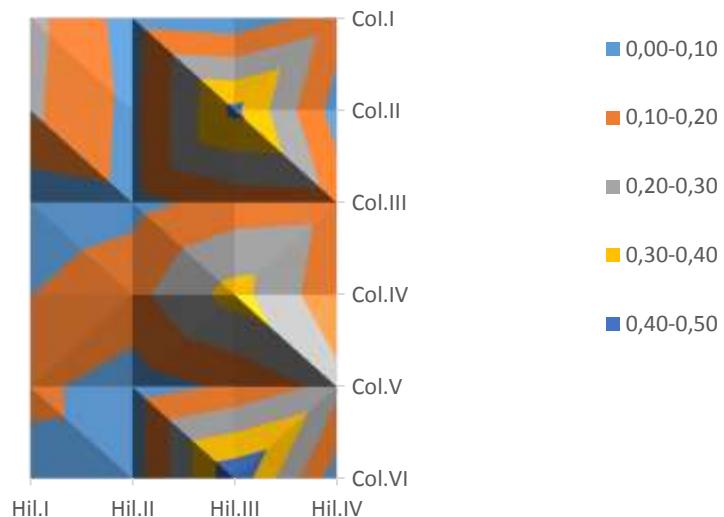
En la figura 4.11 se puede observar que la uniformidad de la lluvia aplicada por los rotores es mayormente uniforme, teniendo los colectores entre 5-50 cc, los colectores con mayor contenido se pudo haber dado por la presencia y dirección del viento o los diferentes momentos mecánicos alternados de aspersion del rotor R33, y se trabajó con tres aspersores distanciados entre sí a 12 metros.



**Figura 4.12** Concentraciones de urea gr/L estimadas en base a la curva de C.E. en dS/m.

En este mapa se puede observar como las concentraciones de fertilizante de acuerdo a la C.E. no son uniforme como se esperaba ya que el coeficiente de uniformidad resulto de 73,79 % para la matriz de datos de acuerdo a la figura 4.12, la mayoría (67%) de las concentraciones se encontraron en el rango de 4-6 gr/L, sin embargo algunas de las concentraciones (21%) cayeron en el rango de 2- 4 gr/L y tres colectores dan un valor de 6,5-7,5 gr/L muy alto debido a contaminación o a la alta cantidad de sales presentes en el colector. Las concentraciones se calcularon despejando la variable dependiente de la curva de titulación.

La cantidad de urea fue estimada multiplicando la concentración de urea (gr/L) por el volumen colectado en cada recipiente (L).



**Figura 4.13** Cantidades de Urea gr/ colector.

Como se puede ver existe mucha diferencia de uniformidad entre los rangos, las cantidades más altas se dieron por el mayor volumen colectado (8%) teniendo así valores de 0,43 y 0,48 gr, solo un colector tiene un valor de 0,34 gr también por el volumen de lluvia colectada, el 13% de la superficie se encuentra entre los valores de 0,20 a 0,30 gr, otra parte de la superficie (29%) se encuentra entre los valores promedio, contando con valores de 0,10 a 0,20 gr por colector, y el resto del área (46%) se encuentran entre los niveles más bajos de fertilizante ya que cuentan con 0,03 a 0,1 gr por cada colector. Esto pudo haber ocurrido como de menciona anteriormente en la gráfica de volumen colectado y por las diferentes cambios en la C.E.

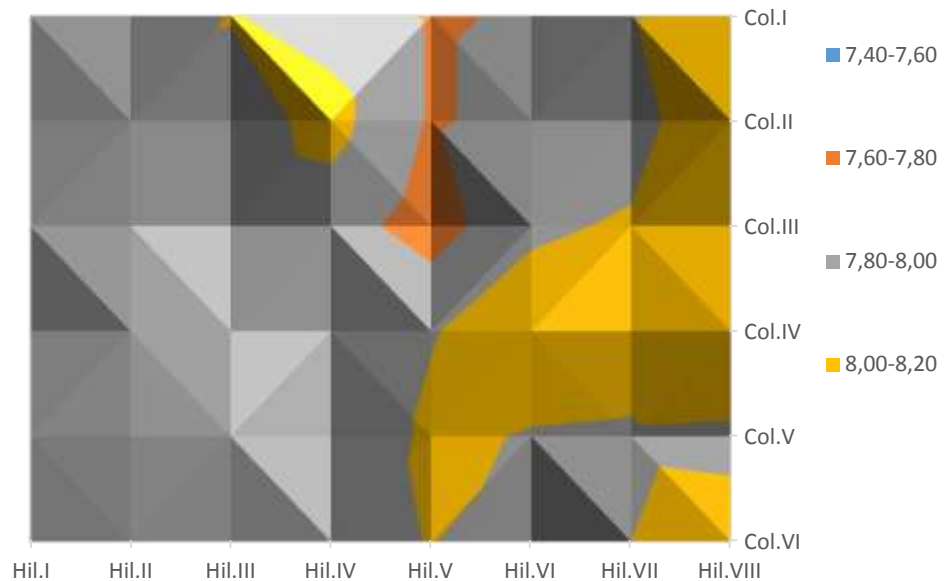
**Cuadro 4.5** Uniformidad de distribución de los parámetros de calidad del agua dentro del patrón de aspersión durante la fertirrigación con Urea.

| Parámetros de calidad del agua | Media | Desviación Estándar | U.D % |
|--------------------------------|-------|---------------------|-------|
| pH/ colector                   | 8.541 | 0.065               | 99.23 |
| C.E. dS/m/colector             | 0.719 | 0.043               | 93.99 |
| Volumen cc/colector            | 33.85 | 28.77               | 15.15 |
| Concentración Urea gr/L        | 4.74  | 1.24                | 73.79 |
| Cantidad de urea gr/ colector  | 0.146 | 0.122               | 83.32 |

La uniformidad de distribución de la pluviometría es muy baja posiblemente debido a las interrupciones en el funcionamiento del equipo de riego que ocurrieron durante la inyección de la urea, porque en esta prueba la succión de la bomba absorbía aire rompiendo el vacío y descontinuando el flujo que no permitía la inyección de fertilizante.

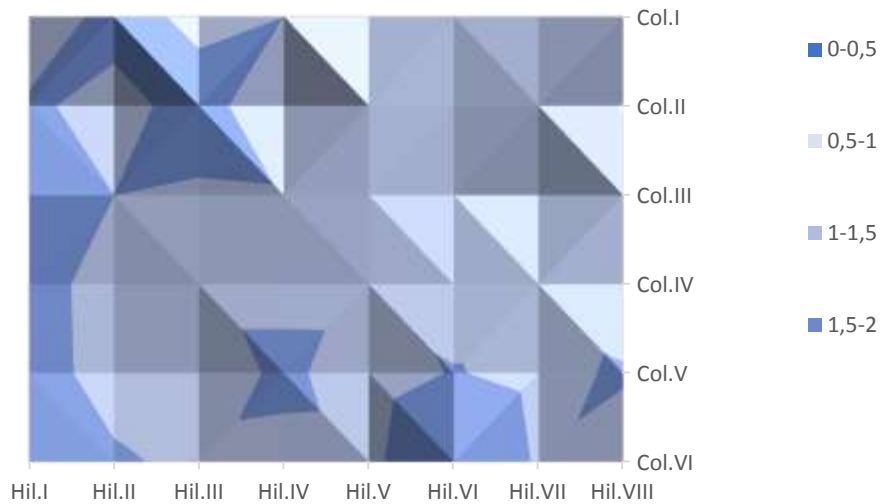
#### 4.4 Distribución de las concentraciones del triple 17 bajo el patrón de aspersión.

La inyección de del Triple 17 se realizó a una concentración de 1 gr/L durante 40 min., el pH se volvió menos alcalino ya que el agua natural de la fuente se caracterizó por un pH= 8,24 y la C.E se incrementó ya que el valor inicial de sales era de 0,721 dS/m.



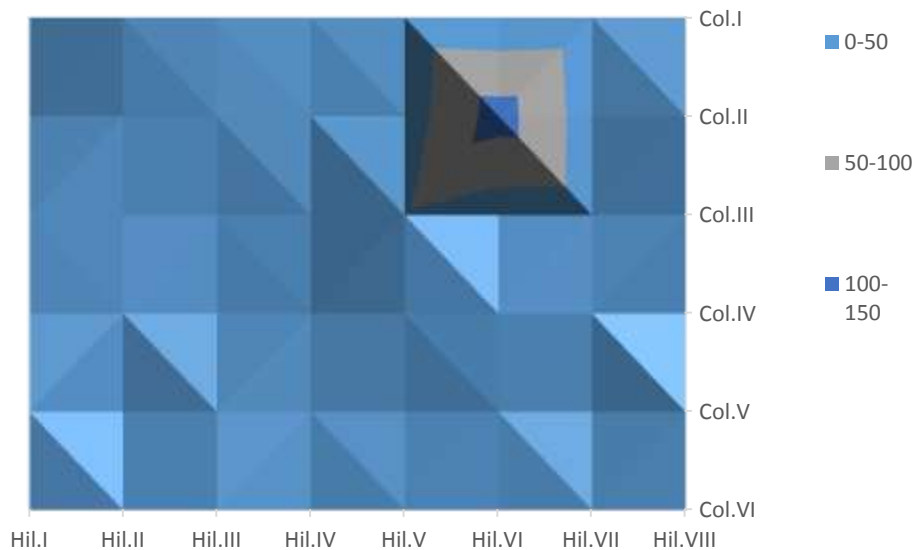
**Figura 4.14** Mapa de los valores obtenidos de pH del Triple 17

Esta figuras muestra una uniformidad del 98%, teniendo la mayor parte (67%) de la superficie entre los valores de pH 7,8 a 8,0, el 27 % de la superficie se encuentra en los valores de 8-8,2 estos cambios pudieron suceder por los cambios químicos que pasan en el agua ya que son constantes, y el resto de la superficie siendo solo tres colectores con valores de 7,70-7,70, estos datos pudieron estar contaminados por suciedad de los recipientes o por las reacción con el agua alcalina que tiene mayor concentración de H+.



**Figura 4.15** Mapeo de la superficie de la C.E. del Triple 17.

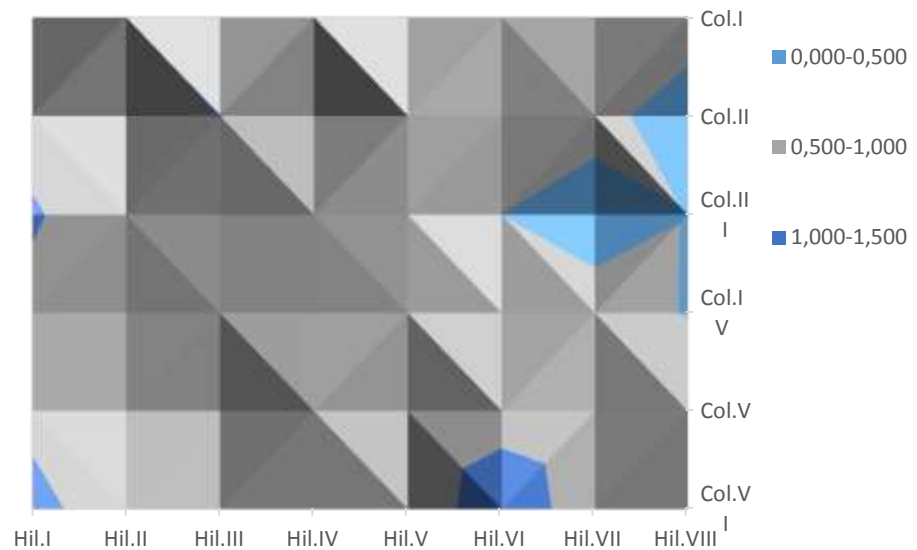
Como se puede apreciar en la figura 4.15 el 73 % de la superficie se encuentra entre los rangos de 1-1,5 dS/m y solo el 27% de la superficie nos arrojan datos de 1,5 a 2,0 dS/m, entre estos dos rangos no se encuentra demasiada diferencia y estos cambios de C.E. se pueden relacionar con los cambios de temperatura, la concentración de solutos que presentan esos colectores que depende del grado de disociación entre el fertilizante y el agua de riego.



**Figura 4.16** Distribución del volumen colectado Triple 17.

En la figura 4.16 nos indica que existe una buena distribución de lluvia asperjada por los rotores siendo así el 98% de la superficie mayormente uniforme ya que se encuentra entre el rango de 8 a 50 cc, el valor que presenta un volumen colectado de 121 cc (azul claro) lo más probable sea por la ubicación del árbol entre ese colector ya que el día anterior hubo presencia

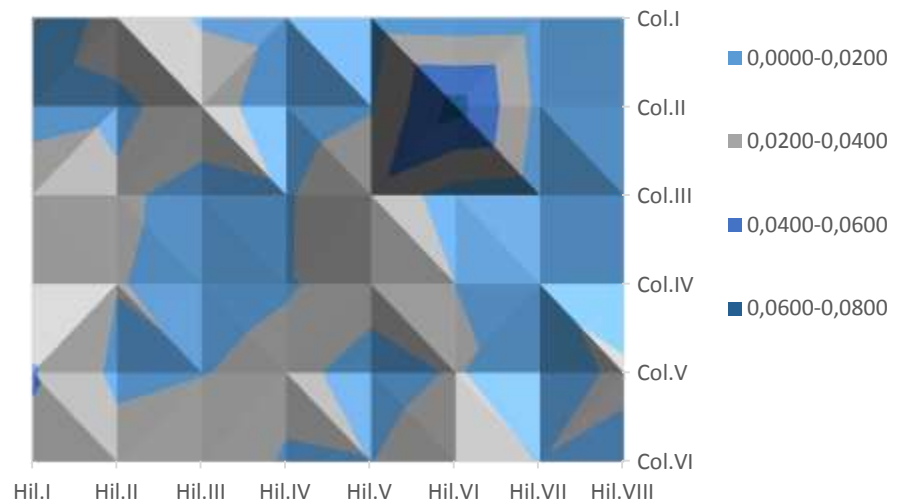
de lluvia, lo cual durante el tiempo de inyección los rotores con el chorro de agua golpeaba el follaje del árbol y provocaba que el agua contenido en este se precipitara, lo cual llevo a que este colector tuviera mayor volumen.



**Figura 4.17** Concentración de Triple 17 g/L alrededor del punto de emisión

Los datos obtenidos después de los cálculos correspondientes realizados indican que el 86 % de la superficie recibió una concentración uniforme con valores de 0,5 a 1,0 gr/L de fertilizante inyectado, en el 14 % del patrón de aspersión varían por posibles alteraciones químicas en el agua de riego ya que estas son características de calidad variables y susceptibles a posibles contaminaciones, también la temperatura es un factor que puede alterar las lecturas realizadas ya que son estimaciones y no se realizaron en las mismas condiciones climáticas. Las pruebas de titulación fueron realizadas en laboratorio a una temperatura constante, volumen conocido y sin presencia de viento mientras que en campo las reacciones inducidas en laboratorio no se alcanzan a reproducir plenamente debido a que el agua está en movimiento a través del sistema de riego y su calidad es alterada por condiciones climáticas y la eficacia en inyección del fertilizante además de la solubilidad y la pureza.





**Figura 4.18** Cantidad de Triple 17 contenido en cada colector.

En la figura 4.18 indica la cantidad de fertilizante estimada en cada colector el 63 % de la superficie se encuentra entre los rangos de 0,003 a 0,02 gr/colector, el 33% de la superficie son valores de 0,02 y 0,04 gr de triple 17 por cada colector, y el valor más elevado (punto azul marino) está en relación con el volumen colectado y la posible contaminación por la ubicación del árbol, como se mostró anteriormente en la figura 3.2. Estas cantidades fueron estimadas con la concentración de Triple 17 en gr/L multiplicada por el volumen asperjado desde el punto de emisión, así que el volumen de cada colector es un factor importante para esta estimación realizada.

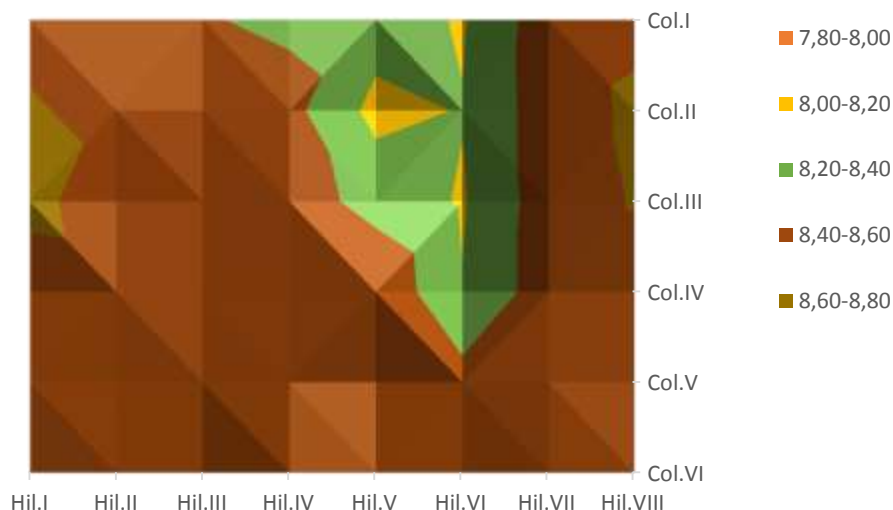
**Cuadro 4.6** Uniformidad de distribución de los parámetros de calidad del agua dentro del patrón de aspersión durante la fertirrigación con Triple 17.

| Parámetros de calidad del agua | Media | Desviación Estándar | U.D % |
|--------------------------------|-------|---------------------|-------|
| pH/ colector                   | 7.95  | 0,098               | 98,76 |
| C.E. dS/m/colector             | 1.40  | 0.185               | 86,77 |
| Volumen cc/colector            | 25    | 7.480               | 70,25 |
| Concentración T17 gr/L         | 0,72  | 0,190               | 73,77 |
| Cantidad de T17 gr/ colector   | 0,018 | 0,0083              | 55,52 |

La uniformidad de distribución (U.D%) resulto mayor del 70% para todos los parámetros evaluados durante la fertirrigación del triple 17 excepto para la cantidad de T17 gr/colector.

#### 4.5 Comportamiento de los diferentes parámetros del Ácido Clorhídrico alrededor del punto de aspersión.

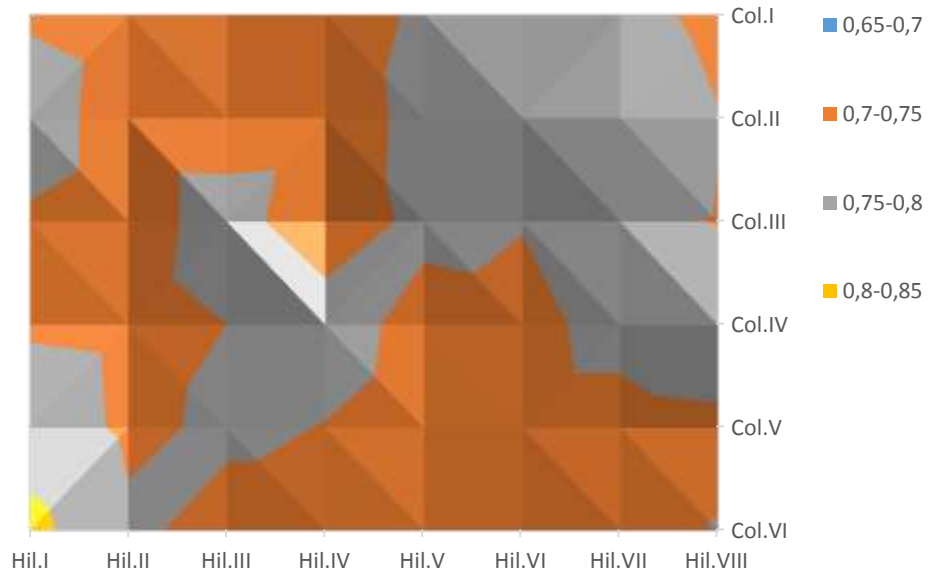
La inyección del ácido clorhídrico se realizó a una concentración de 1 ml/L durante 40 min., el pH del agua natural de la fuente fue de 8,25 (agua alcalina) y la C.E se incrementó ya que el valor inicial de sales era de 0,756 dS/m.



**Figura 4.19** Gráfica de pH alrededor del punto de aspersión.

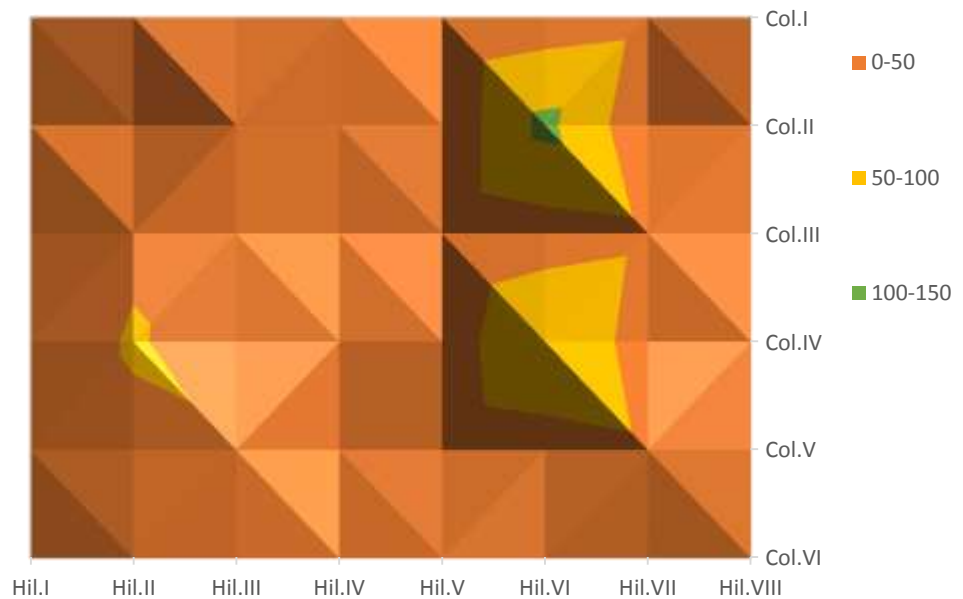
De acuerdo a la figura 4.19 se pueden ver los diferentes rangos, el 86% de la superficie se encuentra entre los valores de 8,40 a 8,60, el 10% se encuentran en un rango de 8,20-8,40, el 6% fueron los valores más bajos con valores de 8-8,20 y el otro 8% se incrementó hasta obtener valores de 8,60-8,80.

Las notables variaciones se atribuyen a las propiedades de los ácidos al disociarse en el agua ya que el HCl es monobásico y tiene la facilidad de disociarse completamente en protones e iones cloruros cada molécula produce un ion H<sup>+</sup>. Los cambios que aquí se muestran son muy irregulares y se puede apreciar que no tuvieron efecto acidificante en el agua con respecto al valor inicial como se esperaba, eso lo atribuimos a las contaminaciones que presentaron los colectores lo cual suponemos que al inyectar el ácido este reaccionó con los precipitados que posiblemente tenía la tubería de conducción y la aplicación sirvió como desazolve de tuberías.



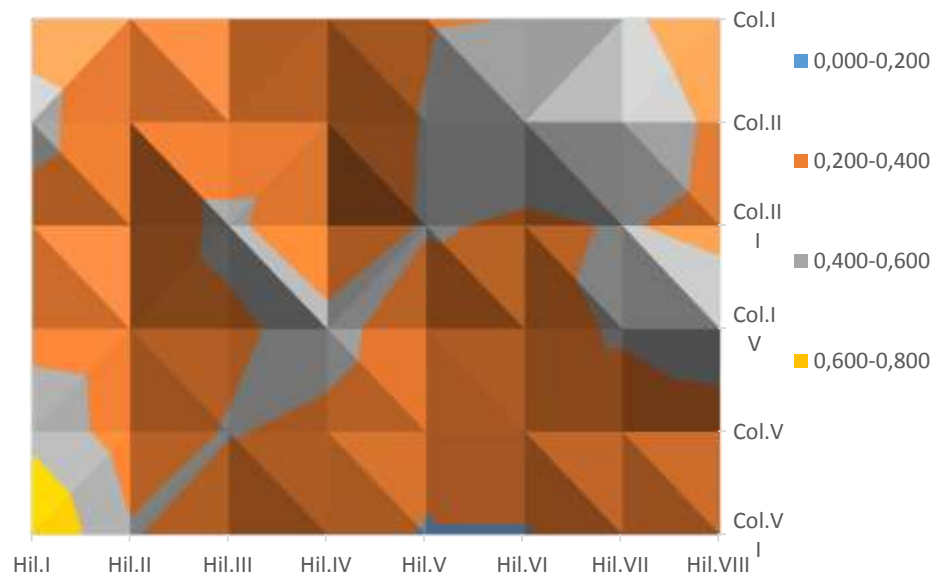
**Figura 4.20** Mapa de la C.E. del HCL.

La C.E. es más uniforme que los valores obtenidos en el pH, el 58% de la superficie presenta valores de 0,7 a 0,74 dS/m, el 40% se encuentra entre los valores de 0,75-0,8 dS/m y solo una muestra nos arrojó una lectura de 0,815 dS/m, al igual que sucedió con los valores de pH de acuerdo al valor inicial del agua de riego sin solución no presenta cambios significativos ya que las muestras presentaban residuos, las alteraciones de la C.E. en la solución se puede dar por cambios de temperatura y las reacciones químicas que suceden en el agua al contacto con ácido.



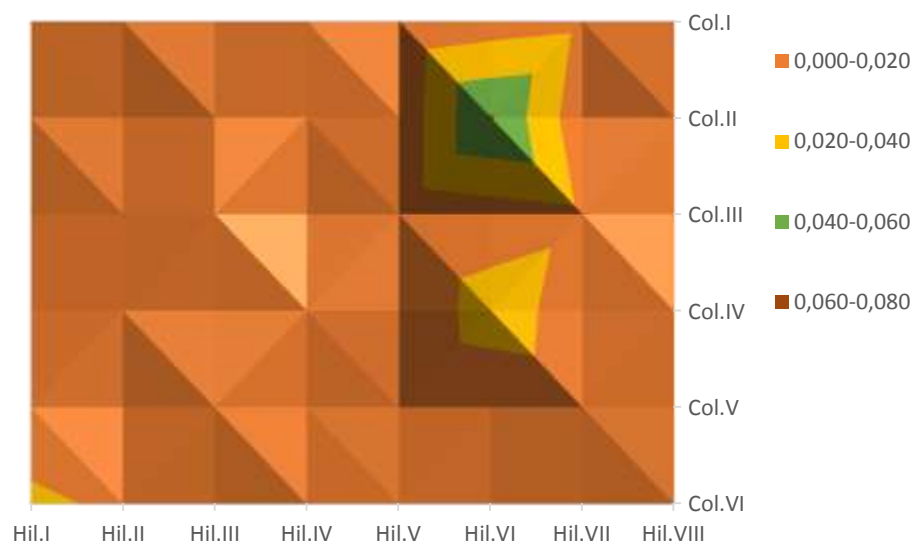
**Figura 4.21** Volumen de agua colectado de HCl.

Como se muestra en la figura 4.21 el 94% de la superficie es uniforme y se encuentra entre los valores de 7-50 cc colectados, el 4% (dos colectores) muestran un incremento, esto pudo haber sucedido por la dirección del viento o por los diferentes momentos que tienen los rotores al aplicar la lluvia, se trabajó con la lluvia de tres aspersores y no giraban ni tenían el mismo momento igual en el mismo cuadrante. La muestra que eleva mucho su valor es por la ubicación de un árbol, que al golpear el chorro del agua provocaba la precipitación del agua que contenía el follaje del mismo obteniendo así un mayor volumen colectado.



**Figura 4.22** Distribución de las concentraciones del HCL.

La mayor área estudiada (63%) es uniforme y se encuentra entre los valores de concentración estimada de 0,2 y 0,4 mL/L. el 31% de la superficie tubo un aumento encontrándose así entre los valores de 0,4-0,6 mL/L y solo una muestra nos da una concentración superior de 0,79L esto es porque la C.E. en ese punto también fue elevado los cambios que se muestran están en base a la C.E. registrada en cada uno de los colectores y esta fue alterada por las contaminaciones que sufrió al inyectar el ácido al sistema de riego.



**Figura 4.23** Cantidad de HCl en cada colector.

La estimación de las concentraciones que contenían cada colector esta en base a la concentración de HCl (ml/L) y el volumen colectado, esto nos muestra que el área tiene una buena uniformidad y que el 94% del área tratada presenta cantidades de 0,005 a 0,02 ml por colector, dos colectores tienen concentraciones de 0,021 ml y la muestra que nos arroja un valor elevado de 0.061 ml es por la ubicación del árbol ya que esta muestra registro un mayor volumen colectado como se explicó anteriormente.

**Cuadro 4.7** Uniformidad de distribución de los parámetros de calidad del agua dentro del patrón de aspersión durante la fertirrigación con Ácido Clorhídrico.

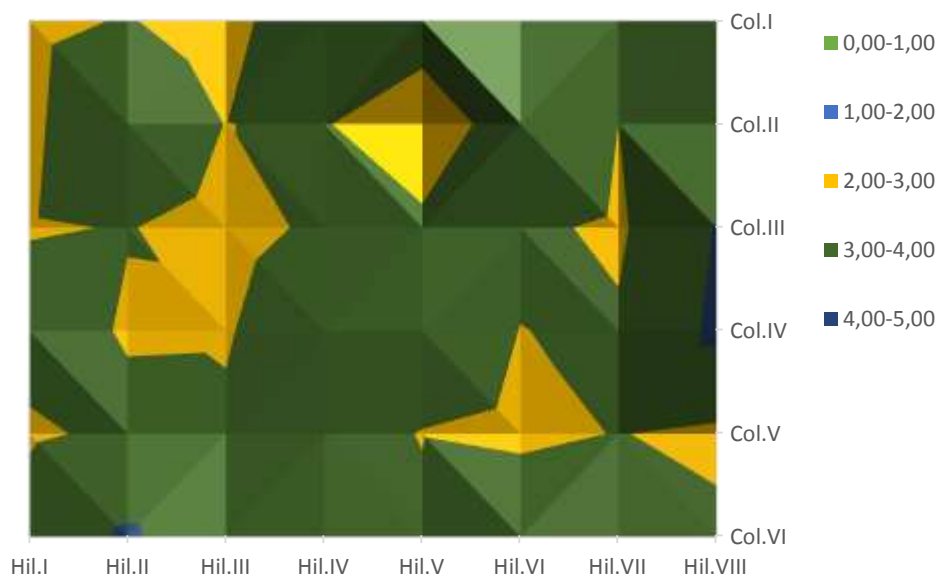
| Parámetros de calidad del agua | Media | Desviación Estándar | U.D % |
|--------------------------------|-------|---------------------|-------|
| pH/ colector                   | 8,46  | 0,119               | 98,59 |
| C.E. dS/m/colector             | 0,75  | 0,015               | 98,05 |
| Volumen cc/colector            | 28    | 11,07               | 61,01 |
| Concentración HCl mL/L         | 0,35  | 0,115               | 67,07 |
| Cantidad de HCl mL/ colector   | 0,010 | 0,0044              | 54,15 |

La uniformidad del patrón de aspersión es más baja que la uniformidad de distribución del ácido clorhídrico, las cantidades de ácido por colector son variables porque los volúmenes colectados se distribuyeron irregularmente.

#### 4.6 Comportamiento de las concentraciones del ácido sulfúrico.

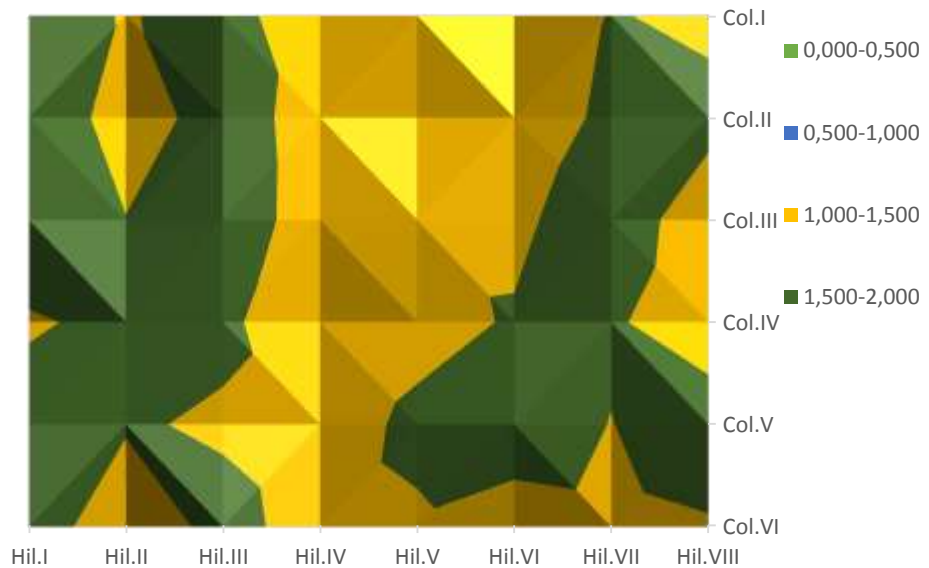
La inyección del ácido sulfúrico se realizó a una concentración de 1 ml/L durante 40 min., el pH se volvió ácido con respecto al valor del agua natural de la fuente ya que tenía un valor inicial de 8,52 y la C.E se incrementó ya que el valor inicial de sales era de 0,625 dS/m.

El ácido sulfúrico se disocia fácilmente en iones de hidrogeno (H) e iones sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), cada molécula produce dos iones  $\text{H}^+$ , ósea que el ácido sulfúrico es dibásico. El ácido sulfúrico es un agente oxidante y deshidratante.



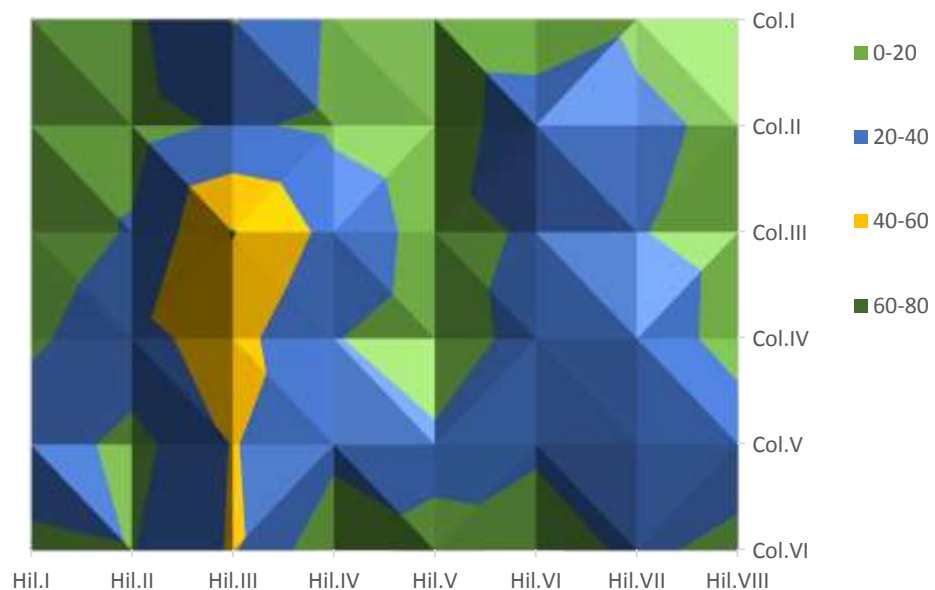
**Figura 4.24** Mapeo de valores de pH.

Como se puede apreciar en la imagen anterior, los valores de pH tiene una buena uniformidad siendo la mayor superficie (62.5%) se encuentran entre los rangos de 3 - 4 observando una buena respuesta como se esperaba al bajar el pH de su valor inicial. El 31.25% del área tratada tiene valores aún más bajos de 2-3, y solo 3 muestran valores más altos (4 -4,20). Estos cambios suceden por las altas concentraciones de hidrogeno liberadas en la disociación del ácido con el agua, la temperatura también es un factor que cambia ligeramente el pH ya que al aumentar la temperatura la molécula de agua se descompone lo que produce más hidrogeno y aumenta el pH del agua.



**Figura 4.25** Gráfico de C.E. alrededor del punto de aspersión.

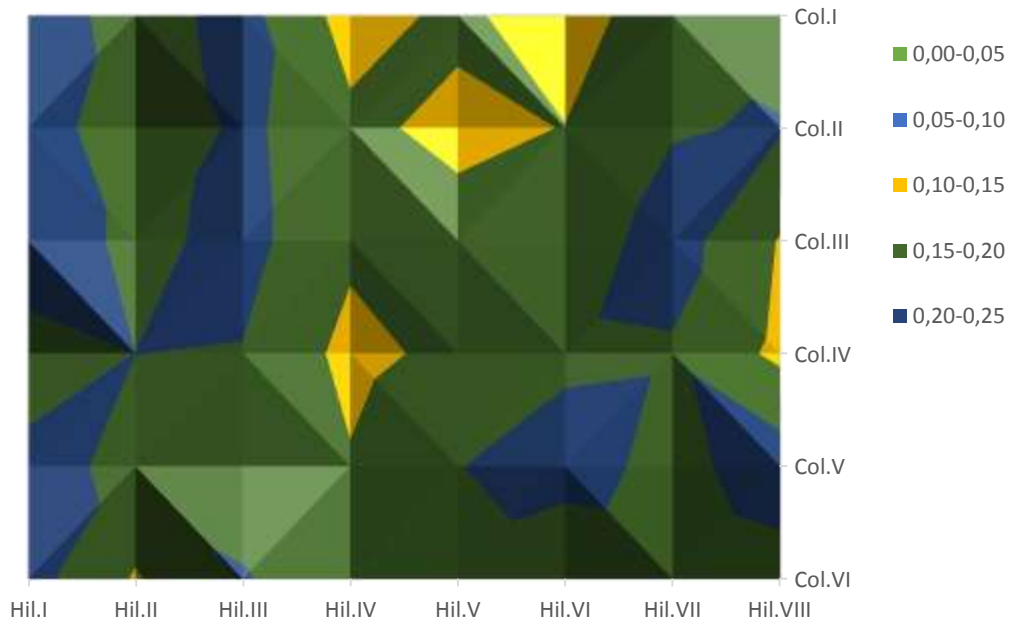
La C.E aumenta de su valor inicial lo que nos indica que el ácido sulfúrico baja el pH pero aumenta las sales en la solución, muestra una uniformidad igual entre los dos rangos que se muestran en la figura 4.25, un 50% está entre los valores de 1-1,5 dS/m y el otro 50% entre los valores de 1,5 a 2,0 dS/m, los ácidos son buenos conductores esto dependerá de la cantidad conducida por el número de iones presentes y su movilidad. Un aumento en la temperatura, disminuye la viscosidad del agua y permite que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad. Este efecto de la temperatura es diferente para cada ion, pero típicamente para soluciones acuosas diluidas, la conductividad varía de 1 a 4 % por cada ° C.



**Figura 4.26** Mapeo del volumen colectado.



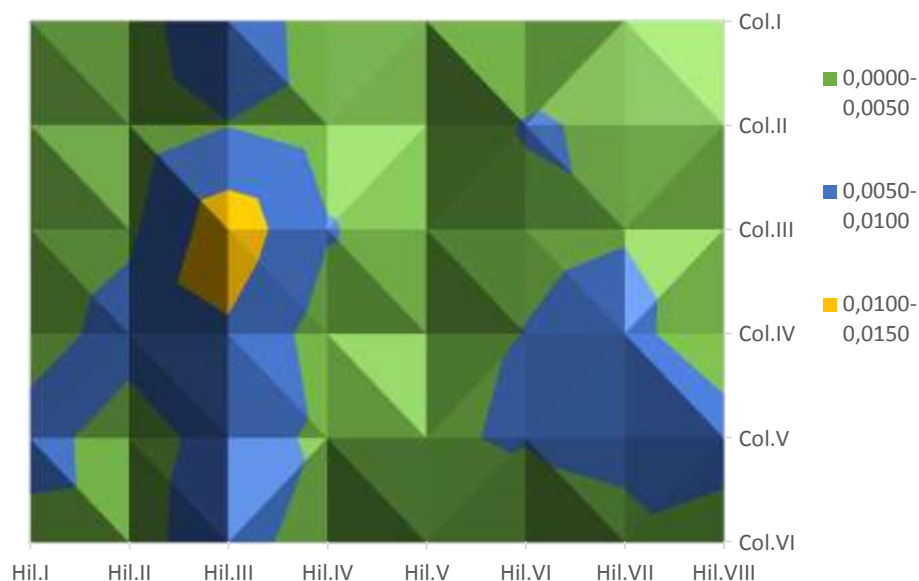
Como se puede observar existen muchas variaciones, el 52,5% tienen valores de 4-20 cc, el 37,5% se encuentra entre los valores de 20 a 40 cc, 4 de las muestras volúmenes de 41-47 cc y un solo colector muestra un valor de 61 cc. Las variaciones se pueden dar por la presencia de viento el día de la aplicación, esto altera el patrón de aspersion ya que el rotor cuenta con dos modos de aplicación de la lluvia uno lento y otro rápido. Reduce intermitentemente su velocidad esto permite lograr un alcance máximo.



**Figura 4.27** Concentración estimada del ácido sulfúrico mL/L.

El mapa de las concentraciones estimadas del ácido sulfúrico observamos diversas variaciones en la distribución, el 15% de la superficie solo alcanzó un valor de 0,13- 0,15 ml/L, el 52% se encuentra entre un rango intermedio siendo la mayor parte de la superficie con una concentración de 0,15- 0,2 ml/L, y el resto de la superficie (33%) se encuentra entre los valores más altos (0,2 a 0,25 ml/L), la diferencia entre las distribuciones se puede dar por los cambios químicos que siguen pasando en el agua al contener ácido sulfúrico, o que posiblemente mientras se trasladaban a laboratorio para realizar las mediciones correspondientes, estas pudieron ser alteradas por los cambio de temperatura o alguna contaminación.





**Figura 4.28** Cantidad de ácido sulfúrico contenido por colector.

Como se puede apreciar en la figura 4.28 la cantidad de ácido calculada en base a la C.E y el volumen de cada colector muestra ser mayormente uniforme, el 71% de la superficie contiene entre 0,0009 a 0,005 ml de ácido sulfúrico, el resto de la superficie tratada (27%) contiene mayor número de ml de ácido teniendo valores de 0,005- 0,01, solo una muestra tiene un valor muy elevado llegando así a contener 0,0130 ml de ácido, estos datos estimados dependen directamente de la cantidad de volumen de lluvia colectada.

**Cuadro 4.8** Uniformidad de distribución de los parámetros de calidad del agua dentro del patrón de aspersión durante la fertirrigación con Ácido Sulfúrico.

| Parámetros de calidad del agua    | Media | Desviación Estándar | U.D % |
|-----------------------------------|-------|---------------------|-------|
| pH/ colector                      | 3,19  | 0,386               | 87,87 |
| C.E. dS/m/colector                | 1,47  | 0,208               | 85,90 |
| Volumen cc/colector               | 21    | 12,47               | 41,65 |
| Concentración A. Sulfúrico mL/L   | 0,18  | 0,030               | 83,33 |
| Cantidad de A. Sulfúrico mL/ col. | 0,004 | 0,0026              | 34,01 |

La uniformidad de la cantidad de ácido en el patrón de aspersión es más baja que la uniformidad de distribución del ácido sulfúrico, las cantidades de ácido por colector son variables porque los volúmenes colectados se distribuyeron irregularmente.

## V. CONCLUSIONES

En conclusión del presente trabajo de investigación se confirma que la distribución del fertilizante en campo depende directamente de la uniformidad de distribución del sistema de riego que se utilice, también es afectada por las condiciones climáticas o reacciones químicas que suceden constantemente en el agua de riego.

Las curvas de titulación obtenidas en laboratorio, para los fertilizantes y ácidos, que consistieron en analizar el pH y C.E. del agua a diferentes concentraciones resultaron de gran utilidad para poder apreciar claramente las alteraciones en la calidad del agua y así preparar las soluciones madres que se inyectaron en cada aplicación. Las gráficas de C.E y pH son necesarias en un programa de fertirriego para modificar, controlar, indicar, ajustar, diagnosticar prevenir o evaluar las dosificaciones antes de tomar decisiones. El pH/ colector y la C.E dS/m del agua asperjada alrededor de los puntos de emisión reportó una uniformidad de adecuada a excelente (86 a 99%).

Sin embargo existen variaciones significativas en la uniformidad de distribución de los volúmenes de agua colectados dentro del patrón e aspersión, que causaron diferencias en campo sobre la distribución de las cantidades de fertilizante y de ácidos.

Los mapas de concentraciones y cantidades de fertilizantes están relacionadas directamente con la C.E y el volumen colectado, observando que la uniformidad de distribución es alta para los parámetros de calidad y baja para los parámetros de la pluviometría (Volúmenes colectados y cantidades aplicadas). En urea la uniformidad de distribución para los parámetros de calidad fue de un 94 a 99% y para cantidad de un 15% a 83% esto último se puede incrementar con una mejora de traslape entre las líneas de aspersión y mayor área de prueba. En triple 17, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico la tendencia fue similar.

Las concentración de fertilizantes son uniformes alrededor del punto de emisión pero las cantidades aplicadas resultaron diferentes por lo tanto se concluye que el % UD riego es diferente del % UD fertilizante aceptando así la hipótesis alternante.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar pruebas con diferentes calidades de agua y en diferentes temporadas del año (secas y lluvias).
- Realizar pruebas con otros sistemas de riego localizado y observar las variaciones existentes con aspersión.
- Tomar datos de pH y C.E en suelo y agua a diferentes tiempos después de su aplicación.
- Contar con un Kits portátil para ver si existen variaciones entre las mediciones en condiciones de campo y en laboratorio.
- Contar con sistemas automáticos que midan el pH y C.E durante la inyección de agroquímicos.
- Tener control sobre la calidad del agua ya que es un componente clave para el éxito de la fertirrigación y necesita especial atención.
- Tener mucho cuidado con la precipitación de los fertilizantes agregados dentro del sistema esto ocurre si la solubilidad de los fertilizantes es excedida o si existe alguna reacción entre el fertilizante y alguna impureza en el agua de riego.
- Tener un control sobre el pH del agua ya que también provoca precipitaciones.
- Considerar las sales presentes en el agua de riego más las sales agregadas por los fertilizantes para poder establecer un cultivo y evitar daños.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

Amoros C. M. 1993 Riego por goteo en cítricos. Ed. Agroguías mundi-prensa. 2da edición, 1993. Reimpresión, 2000. Madrid, España. Pág. 17.

Asociación de agrónomos indígenas de cañar (AAIC). 2004., Cartilla de fertirrigación en el cultivo de tomate en invernadero. Ed. Promsa 2. Sede central, sector Iza Vieja, comunidad de Quilloac. Quito, Ecuador. Pag. 22- 26, 57-58.

Bar- Yosef, B. 1999. Advances in Fertigation. In: Advances in Agronomy. Academic Press. 65 Pag. 2-208.

Bianchi et al., 1985. DripFertilizationPractices and SoilPermeability. Drip/Trickle. Irrigation in ActionProceeding of theThird International Drip/Trickle. IrrigationCongress, ASAE. Vol. 1, November 1985, Fresno California USA.

Burt, C., K. O. Connor, and T. Ruehr. 1995. Fertigation.Irrigation Training and Research Center. 1ª Ed. California Polytechnic State Univ., San Luis Obispo, CA.

Cadahía L., C. 2005. Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Ed. Mundi-Prensa. 3ra edición ampliada. Madrid España. Pág. 104 – 105

Dominguez V., A. 1993. Fertirrigación. Ed. Mundi-Prensa.Madrud, España. Pág. 215.

Domínguez V.A. (1997). Tratado de fertilidad. 3ra edición revisada y ampliada. Pág. 613

FAO (2002). Los fertilizantes y sus usos. Cuarta edición, revisada, FAO e IFA. Roma, 2002. IFA 28, RueMarbeuf 75008 Paris, Francia. Pág. 48 – 51.

Finck A. 2009. Fertilizantes y Fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Editorial Reverte. Barcelona, España. Pág. 13

Guerrero Riascos R. 2004. Propiedades Generales de los Fertilizantes Solidos. Manual Técnico. Monómeros Colombo Venezolanos S.A. Cuarta edición. Pág. 9-11, 29-39

Jutglar L., G. M. Termonidamica. Ed. Marcombo. Primera edición. Pág. 131.

Martinez H., J. 1993. Fertirrigación y quimigación. Notas del Diplomado de Ingeniería de Riego. CNA-IMTA- Programa de Hidrociencias-CP. Montecillo, Edo de Mexico.

Nathan, H. 1994. La fertilización combinada con el riego. AICI. Ministerio de Agricultura de Israel. Pág. 51

RAIND BIRD. 1990. Manual de mantenimiento para sistemas de riego de bajo volumen. RAIN BIRD INTERNATIONAL; INC. Glendora, California, USA. Pág. 70

Ramos Ángeles H. Estrella C. P. 2009. Física 2. Editorial CENGAGE Learning. Pág. 227-228.

Rodríguez S. F. 1982. Riego por goteo. 1ª Edición. Mexico D.F Pág. 117-123.

Sánchez J. 2000. Fertirrigación, Principios, Factores, Aplicaciones. Seminario de Fertirrigación. Apukai- Comex Perú Lima. Pág. 1-28.

SIAR, 2005. Fertirrigación. Hoja informativa No.11. Castilla-La Mancha. Pintor Matías Moreno, 4-45071, Toledo, España. Pág. 1-8. Página WEB SIAR: [www.jccm.es](http://www.jccm.es) o <http://crea.uclm.es>

Subirós R.F. 2000. El cultivo de la caña de azúcar. Ed. EUNED. 1ra reimpresión de la 1ra edición. San José, Costa Rica. Pág. 195-196

Thereadgil, D. E. 1985. Chemigation and Chemicals Hanbook. Irrigation agel Midroirrigation. The Webb Company, St paul Minnesota E.U.A.

Usón M. A. et al. 2010. Tecnología de suelos: estudio de casos. Ed. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza. 1ª edición. Zaragoza, España. Pag. 101-102.

Valverde, Franklin; Juan Córdova y Rafael Parra 1998. Fertilización del cultivo de papa, INIAP, 5ta edición. Ecuador. Pag. 21-25.

Villa G. M., R, Aguilar R.J.I. 2005. Manual de prácticas Química inorgánica. Ed. Universidad de Medellín. 1ra edición. Medellín, Colombia. Pág. 63-64.

Wilches Z. M. et al. 2007. Bioingeniería VI, Fundamentos de instrumentación para la química clínica y las radiaciones ionizantes. Ed. Universidad de Antioquia. 1ra edición. Colombia. Pág. 181-182.

Zoldesk y Jorgense. 1993. Chemigation guideline in Subsurface drip Irrigation Theor, Practic and Aplication. Center for Irrigation Tecnology CSU. Fresno California, E.U.A.

### VIII. APENDICE

Datos de titulación de los fertilizantes utilizados, observados y obtenidos en el Laboratorio de Calidades del Agua de la UAAAN.

|      | UREA<br>(46%) | PERLADA | TRIPLE 17 |          |
|------|---------------|---------|-----------|----------|
| g/l  | CE.dS/cm      | pH      | pH        | CE.dS/cm |
| 0    | 0,617         | 8,49    | 8,25      | 0,69     |
| 0,25 | 0,633         | 8,56    | 7,66      | 0,939    |
| 0,5  | 0,651         | 8,67    | 7,59      | 1,207    |
| 1    | 0,653         | 8,73    | 7,41      | 1,667    |
| 1,5  | 0,655         | 8,74    | 7,24      | 2,12     |
| 2    | 0,658         | 8,67    | 7,18      | 2,67     |

Datos de titulación de los Ácidos utilizados, observados y obtenidos en el Laboratorio de Calidades del Agua de la UAAAN.

| Ácido clorhídrico |      |           | Ácido sulfúrico |      |           |
|-------------------|------|-----------|-----------------|------|-----------|
| mL/ L             | pH   | C.E. dS/m | mL              | pH   | C.E. dS/m |
| 0,1               | 7,11 | 0,701     | 0               | 8,28 | 0,648     |
| 0,2               | 6,73 | 0,731     | 0,1             | 5,41 | 0,702     |
| 0,25              | 6,35 | 0,744     | 0,2             | 2,25 | 1,37      |
| 0,3               | 6,52 | 0,757     | 0,3             | 2,18 | 2,04      |
| 0,4               | 6,39 | 0,786     | 0,4             | 2,12 | 2,96      |
| 0,5               | 6,07 | 0,78      | 0,5             | 2,01 | 3,98      |
| 1                 | 4,97 | 0,846     |                 |      |           |
| 1,5               | 2,71 | 1,26      |                 |      |           |
| 0                 | 8,25 | 0,69      |                 |      |           |

Resultados de Campo.

| Urea perlada (46%) |               |        |         |        |               |        |         |        |                       |        |         |        |                            |        |         |        |                                     |        |         |        |
|--------------------|---------------|--------|---------|--------|---------------|--------|---------|--------|-----------------------|--------|---------|--------|----------------------------|--------|---------|--------|-------------------------------------|--------|---------|--------|
| pH                 |               |        |         |        | C.E. dS/m     |        |         |        | Volumen cc / colector |        |         |        | Concentración de urea gr/L |        |         |        | Cantidad urea aplicado mg/ colector |        |         |        |
| No DE COLECTOR     | No DE HILERAS |        |         |        | No DE HILERAS |        |         |        | No DE HILERAS         |        |         |        | No DE HILERAS              |        |         |        | No DE HILERAS                       |        |         |        |
|                    | Hil.I         | Hil.II | Hil.III | Hil.IV | Hil.I         | Hil.II | Hil.III | Hil.IV | Hil.I                 | Hil.II | Hil.III | Hil.IV | Hil.I                      | Hil.II | Hil.III | Hil.IV | Hil.I                               | Hil.II | Hil.III | Hil.IV |
| Col.I              | 8,57          | 8,53   | 8,63    | 8,52   | 0,68          | 0,756  | 0,714   | 0,68   | 78,5                  | 7,7    | 6,1     | 50     | 2,92                       | 7,29   | 4,87    | 2,92   | 0,23                                | 0,06   | 0,03    | 0,15   |
| Col.II             | 8,48          | 8,57   | 8,55    | 8,53   | 0,692         | 0,714  | 0,895   | 0,747  | 61                    | 15     | 85      | 8,2    | 3,61                       | 4,87   | 5,00    | 6,77   | 0,22                                | 0,07   | 0,43    | 0,06   |
| Col.III            | 8,41          | 8,39   | 8,52    | 8,54   | 0,664         | 0,745  | 0,722   | 0,688  | 14                    | 10     | 27      | 47     | 2,00                       | 6,65   | 5,33    | 3,38   | 0,03                                | 0,07   | 0,14    | 0,16   |
| Col.IV             | 8,57          | 8,49   | 8,49    | 8,54   | 0,719         | 0,703  | 0,712   | 0,703  | 19                    | 40     | 71      | 30     | 5,16                       | 4,24   | 4,76    | 4,24   | 0,10                                | 0,17   | 0,34    | 0,13   |
| Col.V              | 8,55          | 8,6    | 8,5     | 8,58   | 0,725         | 0,702  | 0,709   | 0,713  | 23                    | 11     | 26      | 48     | 5,50                       | 4,18   | 4,58    | 4,81   | 0,13                                | 0,05   | 0,12    | 0,23   |
| Col.VI             | 8,64          | 8,63   | 8,52    | 8,65   | 0,715         | 0,732  | 0,707   | 0,722  | 12                    | 8      | 107     | 8      | 4,93                       | 5,91   | 4,47    | 5,33   | 0,06                                | 0,05   | 0,48    | 0,04   |

Triple 17

| No DE COLECTOR | pH            |      |      |      |      |      |      |      | C.E dS/m      |      |      |      |      |      |      |      | Volumen cc    |    |     |    |    |    |     |      |
|----------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|----|-----|----|----|----|-----|------|
|                | No DE HILERAS |      |      |      |      |      |      |      | No DE HILERAS |      |      |      |      |      |      |      | No DE HILERAS |    |     |    |    |    |     |      |
|                | I             | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | I             | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | I             | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII |
| Col.I          | 7,85          | 7,87 | 8,01 | 7,92 | 7,78 | 7,82 | 7,99 | 8,06 | 1,17          | 1,67 | 1,40 | 1,50 | 1,21 | 1,24 | 1,20 | 1,38 | 8             | 28 | 26  | 20 | 18 | 13 | 17  | 17   |
| Col.II         | 7,85          | 7,94 | 7,90 | 8,07 | 7,78 | 7,86 | 7,92 | 8,18 | 1,57          | 1,35 | 1,68 | 1,18 | 1,45 | 1,24 | 1,31 | 0,98 | 14            | 25 | 27  | 22 | 24 | 23 | 23  | 36   |
| Col.III        | 7,91          | 7,91 | 7,86 | 7,90 | 7,70 | 7,97 | 8,02 | 8,06 | 1,70          | 1,50 | 1,46 | 1,48 | 1,42 | 1,18 | 1,01 | 1,17 | 30            | 27 | 20  | 23 | 45 | 23 | 22  | 24   |
| Col.IV         | 7,85          | 7,96 | 7,94 | 7,86 | 7,99 | 8,10 | 8,08 | 8,17 | 1,61          | 1,39 | 1,43 | 1,43 | 1,43 | 1,32 | 1,33 | 1,17 | 31            | 29 | 20  | 25 | 34 | 31 | 26  | 12   |
| Col.V          | 7,95          | 7,99 | 7,99 | 7,87 | 8,03 | 7,99 | 7,98 | 7,97 | 1,62          | 1,40 | 1,31 | 1,57 | 1,33 | 1,52 | 1,39 | 1,55 | 44            | 22 | 31  | 27 | 22 | 25 | 15  | 27   |
| Col.VI         | 7,92          | 7,97 | 7,90 | 7,90 | 8,01 | 7,83 | 8,00 | 8,05 | 1,74          | 1,54 | 1,44 | 1,42 | 1,41 | 1,91 | 1,46 | 1,27 | 34            | 32 | 40  | 25 | 27 | 23 | 25  | 25   |

| Triple 17          |      |      |      |      |      |      |      |                       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Concentración gr/L |      |      |      |      |      |      |      | Cantidad gr/ colector |       |       |       |       |       |       |       |
| No DE HILERAS      |      |      |      |      |      |      |      | No DE HILERAS         |       |       |       |       |       |       |       |
| I                  | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | I                     | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  |
| 0,49               | 1,00 | 0,72 | 0,82 | 0,53 | 0,56 | 0,52 | 0,70 | 0,004                 | 0,028 | 0,019 | 0,016 | 0,009 | 0,007 | 0,009 | 0,012 |
| 0,90               | 0,67 | 1,01 | 0,49 | 0,77 | 0,56 | 0,63 | 0,29 | 0,013                 | 0,017 | 0,027 | 0,011 | 0,019 | 0,013 | 0,014 | 0,010 |
| 1,03               | 0,83 | 0,78 | 0,80 | 0,74 | 0,50 | 0,32 | 0,49 | 0,031                 | 0,022 | 0,016 | 0,018 | 0,033 | 0,011 | 0,007 | 0,012 |
| 0,94               | 0,71 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,64 | 0,65 | 0,48 | 0,029                 | 0,021 | 0,015 | 0,019 | 0,026 | 0,020 | 0,017 | 0,006 |
| 0,94               | 0,72 | 0,63 | 0,90 | 0,65 | 0,85 | 0,71 | 0,88 | 0,041                 | 0,016 | 0,019 | 0,024 | 0,014 | 0,021 | 0,011 | 0,024 |
| 1,07               | 0,86 | 0,76 | 0,74 | 0,73 | 1,25 | 0,78 | 0,58 | 0,036                 | 0,028 | 0,030 | 0,019 | 0,020 | 0,029 | 0,020 | 0,015 |

| Ácido Clorhídrico |               |      |      |      |      |      |      |      |               |      |      |      |      |      |      |      |               |    |     |    |    |    |     |      |
|-------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|----|-----|----|----|----|-----|------|
| pH                |               |      |      |      |      |      |      |      | C.E dS/m      |      |      |      |      |      |      |      | Volumen cc    |    |     |    |    |    |     |      |
| No DE COLECTOR    | No DE HILERAS |      |      |      |      |      |      |      | No DE HILERAS |      |      |      |      |      |      |      | No DE HILERAS |    |     |    |    |    |     |      |
|                   | I             | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | I             | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | I             | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII |
| Col.I             | 8,57          | 8,49 | 8,41 | 8,37 | 8,30 | 8,18 | 8,52 | 8,56 | 0,75          | 0,74 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 0,76 | 0,76 | 0,74 | 31            | 33 | 33  | 37 | 7  | 23 | 33  | 27   |
| Col.II            | 8,61          | 8,57 | 8,46 | 8,46 | 8,14 | 8,21 | 8,51 | 8,63 | 0,76          | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,76 | 0,77 | 0,77 | 0,75 | 13            | 20 | 45  | 27 | 12 | 20 | 12  | 18   |
| Col.III           | 8,65          | 8,50 | 8,46 | 8,50 | 8,33 | 8,18 | 8,51 | 8,61 | 0,75          | 0,74 | 0,76 | 0,73 | 0,76 | 0,75 | 0,76 | 0,75 | 18            | 45 | 37  | 18 | 12 | 29 | 39  | 14   |
| Col.IV            | 8,50          | 8,53 | 8,46 | 8,50 | 8,57 | 8,21 | 8,51 | 8,52 | 0,75          | 0,74 | 0,75 | 0,76 | 0,74 | 0,74 | 0,76 | 0,77 | 33            | 53 | 36  | 25 | 26 | 28 | 30  | 19   |
| Col.V             | 8,52          | 8,47 | 8,46 | 8,51 | 8,41 | 8,48 | 8,55 | 8,50 | 0,77          | 0,74 | 0,76 | 0,75 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 32            | 44 | 48  | 20 | 21 | 30 | 42  | 20   |
| Col.VI            | 8,43          | 8,44 | 8,41 | 8,55 | 8,47 | 8,45 | 8,55 | 8,54 | 0,82          | 0,76 | 0,74 | 0,74 | 0,73 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 26            | 46 | 41  | 30 | 38 | 37 | 21  | 15   |



| Ácido Clorhídrico  |      |      |      |      |      |      |      |                       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Concentración gr/L |      |      |      |      |      |      |      | Cantidad gr/ colector |       |       |       |       |       |       |       |
| No DE HILERAS      |      |      |      |      |      |      |      | No DE HILERAS         |       |       |       |       |       |       |       |
| I                  | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | I                     | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  |
| 0,33               | 0,27 | 0,20 | 0,28 | 0,38 | 0,40 | 0,43 | 0,31 | 0,010                 | 0,009 | 0,007 | 0,010 | 0,003 | 0,009 | 0,014 | 0,008 |
| 0,46               | 0,25 | 0,24 | 0,26 | 0,41 | 0,54 | 0,50 | 0,37 | 0,006                 | 0,005 | 0,011 | 0,007 | 0,005 | 0,011 | 0,006 | 0,007 |
| 0,33               | 0,25 | 0,45 | 0,20 | 0,42 | 0,37 | 0,41 | 0,35 | 0,006                 | 0,011 | 0,017 | 0,004 | 0,005 | 0,011 | 0,016 | 0,005 |
| 0,32               | 0,28 | 0,36 | 0,48 | 0,26 | 0,30 | 0,43 | 0,51 | 0,010                 | 0,015 | 0,013 | 0,012 | 0,007 | 0,008 | 0,013 | 0,010 |
| 0,55               | 0,30 | 0,41 | 0,35 | 0,23 | 0,28 | 0,28 | 0,31 | 0,018                 | 0,013 | 0,020 | 0,007 | 0,005 | 0,008 | 0,012 | 0,006 |
| 0,80               | 0,42 | 0,25 | 0,24 | 0,19 | 0,19 | 0,27 | 0,37 | 0,021                 | 0,019 | 0,010 | 0,007 | 0,007 | 0,007 | 0,006 | 0,006 |

| Ácido Sulfúrico |               |      |      |      |      |      |      |      |               |      |      |      |      |      |      |      |               |    |     |    |    |    |     |      |
|-----------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|----|-----|----|----|----|-----|------|
| No DE COLECTOR  | pH            |      |      |      |      |      |      |      | C.E dS/m      |      |      |      |      |      |      |      | Volumen cc    |    |     |    |    |    |     |      |
|                 | No DE HILERAS |      |      |      |      |      |      |      | No DE HILERAS |      |      |      |      |      |      |      | No DE HILERAS |    |     |    |    |    |     |      |
|                 | I             | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | I             | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | I             | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII |
| Col.I           | 2,88          | 3,03 | 2,75 | 3,61 | 3,87 | 3,14 | 3,11 | 3,36 | 1,81          | 1,46 | 1,72 | 1,12 | 1,34 | 1,06 | 1,53 | 1,40 | 18            | 16 | 21  | 17 | 10 | 11 | 17  | 14   |
| Col.II          | 2,92          | 3,40 | 2,99 | 3,09 | 2,00 | 3,95 | 3,00 | 3,04 | 1,87          | 1,29 | 1,68 | 1,34 | 1,17 | 1,27 | 1,58 | 1,63 | 14            | 12 | 23  | 16 | 15 | 23 | 23  | 17   |
| Col.III         | 2,96          | 3,02 | 2,83 | 3,09 | 3,30 | 3,14 | 2,88 | 4,04 | 1,85          | 1,51 | 1,71 | 1,33 | 1,39 | 1,41 | 1,76 | 1,24 | 12            | 22 | 20  | 27 | 12 | 23 | 21  | 12   |
| Col.IV          | 3,28          | 2,95 | 2,96 | 3,38 | 3,43 | 2,99 | 3,09 | 4,18 | 1,45          | 1,61 | 1,59 | 1,16 | 1,35 | 1,54 | 1,57 | 1,19 | 16            | 25 | 24  | 21 | 10 | 27 | 28  | 11   |
| Col.V           | 2,90          | 3,15 | 3,07 | 3,23 | 2,98 | 2,86 | 3,02 | 2,86 | 1,69          | 1,54 | 1,45 | 1,29 | 1,60 | 1,76 | 1,49 | 1,80 | 23            | 13 | 21  | 26 | 23 | 24 | 17  | 14   |
| Col.VI          | 3,40          | 4,13 | 3,28 | 3,32 | 3,11 | 3,58 | 3,27 | 3,14 | 1,73          | 1,23 | 1,63 | 1,34 | 1,44 | 1,28 | 1,35 | 1,46 | 15            | 19 | 21  | 10 | 17 | 14 | 25  | 13   |

Ácido Sulfúrico

| Concentración gr/L |      |      |      |      |      |      |      | Cantidad gr/ colector |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| No DE HILERAS      |      |      |      |      |      |      |      | No DE HILERAS         |       |       |       |       |       |       |       |
| I                  | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | I                     | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  |
| 0,23               | 0,18 | 0,22 | 0,13 | 0,16 | 0,12 | 0,19 | 0,17 | 0,004                 | 0,003 | 0,009 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,003 | 0,001 |
| 0,24               | 0,15 | 0,21 | 0,16 | 0,14 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,002                 | 0,002 | 0,005 | 0,003 | 0,001 | 0,005 | 0,005 | 0,003 |
| 0,24               | 0,19 | 0,22 | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,15 | 0,002                 | 0,004 | 0,013 | 0,005 | 0,002 | 0,004 | 0,005 | 0,002 |
| 0,18               | 0,20 | 0,20 | 0,14 | 0,16 | 0,19 | 0,19 | 0,14 | 0,003                 | 0,007 | 0,009 | 0,003 | 0,002 | 0,005 | 0,007 | 0,002 |
| 0,21               | 0,19 | 0,18 | 0,15 | 0,20 | 0,22 | 0,18 | 0,23 | 0,007                 | 0,002 | 0,007 | 0,004 | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 0,008 |
| 0,22               | 0,15 | 0,20 | 0,16 | 0,18 | 0,15 | 0,16 | 0,18 | 0,003                 | 0,003 | 0,009 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,004 | 0,002 |