

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



**CONDICIONES ACTUALES DE DRENAJE Y CALIDAD DEL  
AGUA FREÁTICA DEL EJIDO SAN ISIDRO, MUNICIPIO DE  
NADADORES, COAHUILA.**

**Por:**

**Hugo César Bautista Domínguez**

**TESIS**

**Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el  
Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Marzo de 2013**

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

CONDICIONES ACTUALES DE DRENAJE Y CALIDAD DEL AGUA  
FREÁTICA DEL EJIDO SAN ISIDRO, MUNICIPIO DE NADADORES,  
COAHUILA

Por:

Hugo César Bautista Domínguez

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO  
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA

*Manuela Bolívar Duarte*

Dra. Manuela Bolívar Duarte  
Asesor Principal

*Luis Rodríguez Gutiérrez*

M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez  
Asesor

*Luis Samaniego Moreno*

Dr. Luis Samaniego Moreno  
Asesor

*Luis Rodríguez Gutiérrez*

M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez  
Coordinador de la División de Ingeniería

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Marzo de 2013

Coordinación de  
Ingeniería

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme la vida y por nunca dejarme solo. Por haberme salvado la vida de aquel accidente y permitirme salir adelante gracias a la familia que me regaló: unos padres a los que respeto y admiro con todo mi ser y unos hermanos que quiero mucho. Y también por brindarme toda la sabiduría, paciencia, felicidad y salud para forjarme como profesionista en esta universidad, mi Alma Terra Mater.

Con respeto y cariño a mi Alma Terra Mater, por darme todos los conocimientos necesarios para realizarme como profesionista.

Al departamento de Riego y Drenaje, por compartir sus conocimientos y experiencias conmigo y por el tiempo que me brindaron su amistad durante el transcurso de la carrera.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte por haberme apoyado en la realización de este trabajo, por brindarme sus conocimientos y asesorías durante la carrera y este proyecto de tesis.

A mis asesores, el M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez y el Dr. Luis Samaniego Moreno por las observaciones y asesorías en este trabajo.

A la Biol. Silvia Guerrero Martínez y a la L. Socorro Mireles Vásquez por su ayuda en la realización del trabajo de laboratorio.

## DEDICATORIAS

Con todo mi amor y respeto dedico este trabajo a mis padres:

Sr. José Armando Bautista López

y

Sra. Filadelfa Domínguez Pérez

Por su eterno amor, cariño y apoyo incondicional, por su valiosa confianza que depositaron en Mí al no escatimar en esfuerzos y hacer todos los sacrificios posibles para alcanzar mis metas. Por sus consejos y ánimos para que saliera adelante pese a cualquier obstáculo que se me presentara y por haberme dado la oportunidad de vivir y crecer junto a ustedes. Nunca dejaré de agradecerles su valioso cariño... LOS AMO.

Con todo mi cariño y admiración mis hermanos (as): Jorge Antonio, Leydi Guadalupe, Fátima Dayani, Jorge Armando y Ma. De Lourdes, por ser mi inspiración durante esta etapa de mi vida y por el apoyo y cariño de cada uno de ustedes. LOS QUIERO MUCHO.

Al resto de mi familia: Tíos (as), Abuelos (as) y Primos por su amistad, cariño y cuidado que tuvieron conmigo para poder superarme.

A mi novia Irma Yenqueni por darme todo su apoyo, amor y cariño en las buenas y en las malas y por estar conmigo siempre pese a la distancia. TE QUIERO MUCHO BEBITA.

A mis compañeros y amigos de la generación CXIV por haber compartido tristezas y alegrías con ustedes, por ser una parte especial en mi vida ya que cada uno me regaló algo de su valioso tiempo y amistad. Gracias porque siempre estuvieron allí para ayudarme.

A todos mis amigos (as) de la Universidad los cuales no menciono porque se me puede pasar alguno, pero no dejaré de agradecerles que siempre estuvieron a mi lado para escucharme, darme consejos y darme la confianza para brindarles mi apoyo, nunca los voy a olvidar. Dios los bendiga SIEMPRE.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIAS .....	iv
INDICE DE CUADROS .....	viii
INDICE DE FIGURAS .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Antecedentes Históricos .....	4
2.1.1. Origen de Problemas de Salinidad .....	4
2.1.2. Origen del Drenaje Agrícola .....	5
2.2. Clasificación de Suelos Afectados por Salinidad .....	6
2.2.1. Suelos Salinos.....	7
2.2.2. Suelos salino - sódicos.....	8
2.2.3. Suelos sódicos .....	8
2.2.4. Identificación de Áreas con Problemas de Salinidad.....	9
2.3. Origen de los Problemas de Drenaje .....	10
2.4. Agricultura y Drenaje Agrícola .....	11
2.5. Condiciones de Hidromorfismo .....	13
2.5.1. Condiciones de hidromorfismo temporal (pseudogley): rasgos estágnicos o redoximorfos. ....	14
2.5.2. Condiciones de hidromorfismo permanente (gley): rasgos gléicos. .	14
2.5.3. Condiciones de hidromorfismo permanente muy reductoras (tubo: horizonte hístico. ....	14
2.6. Tipos de Drenaje .....	15
2.6.1. Drenaje Superficial .....	16
2.6.2. Drenaje Subterráneo .....	16
2.7. Estudios de Niveles Freáticos y Piezométricos .....	17
2.7.1. Recolección de Datos.....	19
2.7.2. Pozos de observación .....	20
2.7.3. Procesamiento de Datos .....	22

2.7.4.	Mapas de Agua Subterránea.....	23
2.8.	Papel que Desempeña la Calidad del Agua de Riego .....	24
2.9.	Criterios e Índices de Clasificación .....	27
2.9.1.	Conductividad Eléctrica (C.E) .....	29
2.9.2.	Salinidad Efectiva (SE) .....	30
2.9.3.	Salinidad Potencial (SP).....	30
2.9.4.	Relación de Adsorción de Sodio (RAS) .....	31
2.9.5.	Carbonato de Sodio Residual (CSR) .....	31
2.9.6.	Porcentaje de Sodio Posible (PSP).....	31
2.9.7.	Contenido de Boro y Cloro.....	31
2.9.8.	pH .....	33
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
3.1.	Descripción del Área de Estudio .....	35
3.1.1.	Localización .....	35
3.1.2.	Clima.....	36
3.1.3.	Orografía.....	36
3.1.4.	Hidrografía.....	36
3.2.	Estudios y Actividades Realizadas.....	37
3.2.1.	Delimitación.....	37
3.2.2.	Muestreo del Suelo .....	37
3.2.3.	Establecimiento de pozos de observación .....	37
3.2.4.	Lecturas del nivel freático y toma de muestras de agua del freático.....	38
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1.	Calidad del Agua.....	39
4.2.	Planos .....	41
4.2.1.	Plano Base del Área de Estudio.....	41
4.2.2.	Plano de Isobatas.....	42
4.2.3.	Plano de Isohipsas.....	43
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	44
VI.	BIBLIOGRAFIA .....	45

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de un suelo salino por su CE .....	8
Cuadro 2. Clases de suelos según su CE Y PSI .....	9
Cuadro 3. Clasificación de suelo por su PSI.....	9
Cuadro 4. Clases de capa freática.....	15
Cuadro 5. Clasificación de curvas isobatas. ....	24
Cuadro 6. Criterios de clasificación de aguas según Palacios y Aceves. ....	28
Cuadro 7. Clasificación del agua de riego por su conductividad eléctrica.....	29
Cuadro 8. Clasificación del agua de riego por su CE.....	32
Cuadro 9. Clasificación del agua de riego por RAS. ....	33
Cuadro 10. Calidad del agua del freático. ....	39

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pozos de observación del nivel freático a) no entubado y b) entubado... ..	21
Figura 2. Piezómetro.....	22
Figura 3. Esquema de Clasificación de Agua según Richards (1954) .....	34
Figura 4. Localización Geográfica del Ejido San Isidro, Mpio. De Nadadores, Coah. ....	35
Figura 5. Localización de los pozos de observación.....	38
Figura 6. Plano de curvas a nivel del área de estudio. ....	41
Figura 7. Plano de isobatas del freático.....	42
Figura 8. Plano de isohipsas y líneas de flujos. ....	43

## RESUMEN

Un problema que afronta la producción agrícola en México y el mundo es la degradación de los suelos agrícolas por factores como la salinidad del suelo y la falta de aireación del mismo por mantos freáticos elevados que propician merma en el rendimiento.

Los suelos de las zonas áridas y semiáridas tienen una tendencia natural de sufrir salinización ya que la evaporación superficial es más alta. La saturación de un riego concentra las sales de los niveles más bajos del perfil del suelo en la zona donde se desarrollan las raíces de las plantas.

En el Ejido San Isidro, Mpio. de Nadadores, Coah. existen problemas de salinidad debido a la presencia de manto freático elevado y su calidad de agua, por ello el presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar los planos de isobatas e isohipsas que indiquen la profundidad y comportamiento del nivel freático. Así como también determinar los parámetros que indiquen la calidad del agua.

Los principales índices de calidad que se determinaron en el trabajo fueron pH, Conductividad Eléctrica (CE), Salinidad Efectiva (SE), Salinidad Potencial (SP), Relación de Adsorción de Sodio (RAS), Carbonato de Sodio Residual (CSR) y Porcentaje de Sodio Posible (PSP).

**Palabras clave:** Drenaje Agrícola, Salinidad, Calidad del Agua, Manto Freático

## I. INTRODUCCIÓN

En México es prioridad mejorar la tecnología en todas las áreas de la producción agrícola y por consiguiente incrementar rendimientos. Un problema que se afronta en la actualidad es la degradación de los suelos agrícolas por muchos factores en los que podemos considerar la salinidad del suelo y la falta de aireación del mismo por mantos freáticos elevados que propician merma en el rendimiento.

El riego incrementa los problemas de salinidad, principalmente en las zonas áridas y semiáridas (como el caso de Coahuila) donde la evaporación superficial es más rápida y los suelos más salinos. La saturación concentra las sales ascendidas de los niveles más bajos del perfil del suelo, en la zona donde se desarrollan las raíces de las plantas. La sodificación (acumulación de sodio en los suelos) es una forma perjudicial de salinización que es difícil de corregir. Aunque los suelos de las zonas áridas y semiáridas tienen una tendencia natural de sufrir salinización, muchos de los problemas relacionados con el suelo podrían ser atenuados si se instalan sistemas adecuados de drenaje (Cisneros, 2003).

Para el autor anterior el drenaje agrícola consiste en la eliminación, por medios artificiales, del exceso de agua del suelo o de la superficie del terreno, siendo su objetivo hacer al suelo más idóneo para su uso por el hombre.

El mismo autor también menciona que desde hace mucho tiempo en algunas civilizaciones ya se tenían indicios de cómo evacuar el exceso de agua, por ende, la práctica del drenaje agrícola puede ser tan antigua como la agricultura. Aunque hubo civilizaciones que ya habían practicado el drenaje, es en Roma donde se tienen hechos registrados, de que allí se inició el drenaje e Inglaterra renovara completamente esta práctica.

La importancia del drenaje agrícola radica en los problemas de ensalitramiento y/o de mantos freáticos someros que se presentan en las áreas agrícolas bajo riego de todo el mundo, ya que se generan impactos negativos en la producción y calidad de los cultivos y condiciones del suelo. Se estima que existen más de 45 millones de hectáreas afectadas de las aproximadamente 240 millones de hectáreas que se riegan en todo el mundo (Dregne *et al.*, 1992, mencionados por Samaniego, 2011).

En México, específicamente en la superficie bajo riego, los problemas de drenaje y salinidad se encuentran en un 33 por ciento de las áreas dedicadas a la producción de cultivos importantes para la alimentación humana y animal; Lo que representa una baja importante en la productividad de los suelos, debido a que la producción agrícola por irrigación equivale aproximadamente a la mitad de la producción agrícola nacional, y de ésta, el 65 por ciento corresponde a

productos agrícolas de exportación. Así mismo, es importante resaltar que el 50 por ciento de los alimentos producidos en el campo, se cultivan en suelos bajo riego. Por lo anterior, el problema de salinidad de suelos cobra importancia debido a la disminución de fertilidad del suelo y a las pérdidas económicas provocadas (Manzano, 2012).

Ante el avance de este fenómeno –a un ritmo de diez mil ha por año– la mejor alternativa técnica y económica para recuperar suelo es el drenaje parcelario.

En el Ejido San Isidro, Mpio. de Nadadores, Coah. se encuentran problemas de salinidad y drenaje agrícola debido a la presencia de manto freático elevado . Por lo que los objetivos planteados en este trabajo son:

- Determinar la profundidad del nivel freático
- Determinar comportamiento del freático a través del tiempo
- Determinar calidad del agua del freático
- Elaborar planos de Isobatas e Isohipsas

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Antecedentes Históricos

#### 2.1.1. Origen de Problemas de Salinidad

Como agentes contaminantes al suelo, las sales son el resultado de un mal uso por parte del hombre y en la inmensa mayoría de los casos, son consecuencia del riego. Esta problemática es una de las grandes afectaciones para la agricultura mundial, fundamentalmente para las regiones áridas y semiáridas ya que se reportan daños globales considerados entre un 40-50 por ciento (Manzano, 2012).

La fuente principal de sales en los suelos reside en los minerales primarios que conforman las rocas presentes en los estratos superficiales de la corteza terrestre. Estas sales son liberadas gradualmente tras los procesos de intemperización química (hidrólisis, hidratación, solución, oxidación y reducción). La acumulación de sales primarias sólo ocurre en regiones sumamente áridas, donde las precipitaciones, inferiores a 50 ó 100 mm anuales no alcanzan a eliminarlas del perfil del suelo, incluso en aquéllos mejor drenados, al no existir percolación profunda del agua de lluvia (Niborski, 2008).

El mismo autor menciona que los suelos salinos se originan exclusivamente por acumulación de sales acarreadas por el agua (sales secundarias), tanto subterránea como de superficie, en áreas deprimidas y de drenaje restringido. Las aguas actúan como fuentes de sales en las zonas de riego, donde los suelos pueden ver incrementando su contenido salino en cortos periodos, incluso utilizando aguas de riego con bajos contenidos de sales solubles cuando no se observan adecuadas condiciones de drenaje. De esta manera se originan suelos salinizados.

### **2.1.2. Origen del Drenaje Agrícola**

Aunque el término de drenaje no fue utilizado sino hasta el siglo XIX, existían ya trabajos importantes sobre evacuación de aguas en el Medio Oriente y Asia, muchos siglos antes. Un ejemplo de ellos es el control del agua en los ríos Éufrates (Mesopotamia) y Nilo (Egipto), ríos Amarillo y Azul en China (Cisneros, 2003).

El mismo autor menciona que en Roma, Columela (I d.C.) considerado como uno de los primeros agrónomos, en su obra “De Re Rústica” habla ya de zanjas de aproximadamente 90 cm de profundidad ocultas y superficiales para drenar tierras. Dieciocho siglos más tarde la técnica descrita por Columela es utilizada para evacuar excesos de humedad en Inglaterra.

Fue precisamente en Inglaterra donde se pusieron en práctica las técnicas de drenaje en gran parte de su territorio. El actual drenaje

entubado se originó en la propiedad de Sir James Graham, en Northumberland, en 1810. Mientras que el uso del drenaje data de la antigüedad, se puede considerar que el desarrollo teórico de esta ciencia empezó en Francia hace apenas 100 años, con los experimentos llevados a cabo por Henry Darcy (Luthin, 1986).

## **2.2. Clasificación de Suelos Afectados por Salinidad**

Un suelo se considera salino cuando tiene un exceso de sales solubles. Como sales se entienden los diferentes componentes químicos que entran en la alimentación de las plantas, o bien se encuentran en la solución del suelo. Por lo tanto, todo suelo contiene sales, ya que se han formado a partir de los minerales característicos del mismo y que con el paso de los años o los siglos se han solubilizado e incorporado a la solución del suelo (Porta *et al.*, 1994; Rodríguez *et al.*, 2006; mencionados por Manzano 2012).

La salinización natural del suelo es un fenómeno asociado a condiciones climáticas de aridez y a la presencia de materiales originales ricos en sales, mientras que la inducida se debe al riego prolongado con aguas de elevado contenido salino, suelos de baja permeabilidad y climas secos subhúmedos o más secos (Ávila, 1998).

Los suelos con este problema son aquéllos en los que las plantas cultivadas presentan problemas que se traducen en una mala nacencia, deficiente crecimiento, bajos rendimientos y a veces muerte de las plantas,

debido a la presencia en exceso de sales más solubles que el yeso en la fase líquida del suelo (suelos salinos) o de sodio intercambiable por encima de cierto umbral (suelos sódicos) (Porta y López - Acevedo, 2005).

Estos autores indican que el Personal de Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América (1985) clasifica a los suelos con problemas de salinidad en tres grupos: suelos salinos, suelos salinos-sódicos y suelos sódicos no salinos.

### **2.2.1. Suelos Salinos**

Para Porta y López Acevedo (2005) los suelos salinos son aquellos en los que se ha producido una acumulación de sales más solubles que el yeso, en suficiente cantidad para interferir en el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas. La disminución del rendimiento es proporcional al potencial osmótico, es decir, a la concentración de sales. Su Conductividad Eléctrica (CE) es mayor que  $4 \text{ dS m}^{-1}$  y su Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) es menor que 15.

Los mismos autores mencionan que la propuesta inicial del United Salinity Laboratory Staff (1954) establecía unos criterios de ámbito general de la siguiente manera (cuadro 1):

**Cuadro 1. Clasificación de un suelo salino por su CE. (Porta y López-Acevedo, 2005)**

<b>CE (dS m<sup>-1</sup> a 25° C)</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>
<b>0 – 2</b>	<b>Normal</b>
<b>2 – 4</b>	<b>Ligeramente salino</b>
<b>4 – 8</b>	<b>Medianamente salino</b>
<b>8 – 16</b>	<b>Fuertemente salino</b>

### **2.2.2. Suelos salino - sódicos**

Bolívar (2011) define a los suelos salinos-sódicos como aquéllos cuya CE del extracto de saturación es mayor de 4 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C y el PSI es mayor de 15. Este tipo de suelos se forman como resultado de los procesos combinados de salinización y acumulación de sodio; su pH es menor de 8.5. Presentan manchas blancas por efecto de Ca y Mg y oscuras aceitosas, por efecto del sodio intercambiable.

### **2.2.3. Suelos sódicos**

Es aquél que resulta de un proceso de sodificación. Se caracterizan por presentar un PSI superior al 15 por ciento (cuadro 2). El sodio intercambiable tiene un efecto perjudicial para las propiedades físicas y químicas: el pH elevado, dispersión de las arcillas, mala estructura, mala aireación, entre otros (Porta y López Acevedo, 2005).

**Cuadro 2. Clases de suelos según su CE Y PSI (Porta y López–Acevedo, 2005)**

Clase de suelo	CE (dS m <sup>-1</sup> )	PSI	pH
Salino	> 4 dS	< 15	< 8.5
Salino – Sódico	>4 dS	> 15	< 8.5
Sódico	<4 dS	> 15	> 8.5

Fácilmente se les identifica cuando son “altamente sódicos” (cuadro 3) la materia orgánica dispersa y disuelta se deposita en la superficie de ellos causando un ennegrecimiento con costras quebradizas.

**Cuadro 3. Clasificación de suelo por su PSI (Porta y López–Acevedo, 2005)**

PSI (%)	TIPO DE SUELO
0 – 7	Normal
7 – 15	Ligeramente alcalino (sódico si pH < 8.5)
15 – 20	Medianamente alcalino
20 – 30	Fuertemente alcalino
> 30	Extremadamente alcalino

#### **2.2.4. Identificación de Áreas con Problemas de Salinidad**

De acuerdo al lugar, cultivo, calidad del agua y/o condiciones del suelo, por ejemplo en una región árida, un lugar donde es poco el evento de precipitación o crecen ciertas plantas nativas se puede indicar si se tiene problemas de salinidad o sodicidad; principalmente se detectan costras blancas de sal en la superficie del suelo, se presentan manchones

de color oscuro y provocan que los suelos sean impermeables y reduzcan la producción.

### **2.3. Origen de los Problemas de Drenaje**

Los problemas de una zona de drenaje están estrechamente relacionados con sus condiciones geomorfológicas y geogenéticas. La presencia o ausencia de capas con buenas propiedades de transmisividad del agua, de barreras para el flujo de agua subterránea, de manantiales, así como la relación entre agua subterránea y agua superficial (sea dulce o salina), afecta directa o indirectamente las condiciones del agua freática en o en las proximidades de la zona radicular (International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), 1978).

Según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 1998) reportado por Cisneros (2003) mencionan que los problemas de ensalitramiento o de mantos freáticos someros se presentan a nivel mundial en las áreas bajo riego y que se estima que existen más de 45 millones de ha afectadas de las 240 millones que se riegan en todo el mundo. Que para el caso de México se estimó que existían cerca de 500 mil ha afectadas por salinidad y drenaje inapropiado, las cuales se encuentran en los principales Distritos de Riego del país.

La aplicación excesiva del agua de riego parece ser una de las principales causas de los problemas de drenaje. Todo indica que en muchos casos con agua abundante y barata, los agricultores son pródigos

en su uso y crean así sus propios problemas; los métodos de riego superficial traen consigo existencia de cierta percolación del agua aplicada, debajo de la zona radicular de las plantas. Un estudio en el Valle Imperial California afirma que una cantidad importante de agua de riego se debe desperdiciar con una aplicación liberal, como un medio necesario para prevenir el aumento de la salinidad del suelo. (Luthin, 1986).

Martínez (2004) menciona que el exceso de agua sobre los terrenos puede ser ocasionado por cuatro causas principales: precipitación, inundaciones, limitaciones topográficas y edáficas. La precipitación es la principal fuente de exceso de agua; las inundaciones son causas de la precipitación y las limitaciones topográficas y edáficas contribuyen a agravar la acción de las causas anteriores.

#### **2.4. Agricultura y Drenaje Agrícola**

Los problemas de drenaje se presentan cuando las inundaciones superficiales asfixian a los cultivos, debido a que el aire es remplazado por el agua. Esto evita toda posibilidad de provisión de oxígeno y afecta también a la actividad biológica y al mismo suelo. Además, internamente reduce el volumen de suelo disponible para las raíces, afectando la aireación y el desarrollo radicular, por lo que se disminuye la capacidad de absorción de agua y nutrientes de la mayoría de las plantas (Llerena, 2007).

Se entiende por drenaje agrícola a todas las acciones del hombre encaminadas a eliminar el exceso del agua en el suelo o de la superficie del terreno que sean perjudiciales a los cultivos (ILRI, 1978; mencionados por Bolívar, 2010).

El ILRI (1978) menciona que el drenaje consiste en evacuar el exceso de agua de riego o precipitaciones con el propósito de prevenir el daño a los cultivos, evitar la acumulación de sales en el suelo o mejorar suelos potencialmente útiles para los cultivos ubicados en lugares bajos que se inundan. Los sistemas de drenaje son costosos de instalar, pero son económicos cuando el aumento de la producción agrícola es mayor que el costo del sistema.

Pazos (2005) menciona a Valverde (1998) que el drenaje dará lugar con frecuencia a la puesta en cultivo de nuevas zonas o al cambio en el tipo de cosechas porque las condiciones serán más favorables para una gama mayor o diferentes cultivos. Cuando zonas inundadas o salinas son recuperadas por medio del drenaje, los tipos normales de monocultivo dejan camino libre a una variedad mayor de cultivos. En el drenaje del agua excedente se puede hacer una distinción entre:

- Superficie del suelo
  
- Zona radicular
  
- Agua freática

El mismo autor menciona que la finalidad que persigue el drenaje es mantener las condiciones adecuadas de aireación y actividad biológica en el suelo, para que se dé el desarrollo normal de las raíces de los cultivos. También el drenaje permite la eliminación de sales de suelo y el mantenimiento de un balance salino adecuado para los cultivos.

Un suelo mal drenado produce en el cultivo la reducción o eliminación del espacio con aire del suelo, evitando de esta manera la entrada de oxígeno atmosférico hacia las raíces, indispensable para sus funciones de respiración y crecimiento. Bajo tales circunstancias se limita el intercambio gaseoso en el suelo al no permitir la salida del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con lo cual el sistema radical de las plantas puede morir por asfixia produciéndose la pérdida del cultivo (Pizarro, 1985; citado por Soto, 1994).

Asimismo, este autor manifiesta que las plantaciones establecidas en terrenos con mal drenaje no pueden hacer uso eficiente de los fertilizantes, ya que la energía derivada de la respiración dentro de la raíz es utilizada parcialmente en el proceso de absorción de nutrientes y en tales condiciones dicha energía es mínima.

## **2.5. Condiciones de Hidromorfismo**

El hidromorfismo es la capacidad de algunos componentes de formar una película impermeable cuando se ponen en contacto con el agua de lluvia, lo que impide su correcta absorción y por tanto producen

encharcamientos y sus consecuencias fatales para la vegetación que sustenta.

Atendiendo a las condiciones de exceso de agua en el suelo se pueden distinguir según Duchafour (2001) mencionado por Porta y López – Acevedo (2005):

**2.5.1. Condiciones de hidromorfismo temporal (pseudogley): rasgos estagnicos o redoximorfos.**

Afecta generalmente a la parte superior del suelo durante el período húmedo y posiblemente frío. Aporte de agua de lluvia y existencia de capa impermeable a poca profundidad. Capa freática colgada.

**2.5.2. Condiciones de hidromorfismo permanente (gley): rasgos gléicos.**

El exceso de agua se debe a una capa freática subterránea, que puede presentar oscilaciones de nivel a lo largo del año.

**2.5.3. Condiciones de hidromorfismo permanente muy reductoras (tubo: horizonte hístico.**

Acumulación de materia orgánica mal descompuesta.

La presencia de agua libre (capa freática colgada o capa freática regional) se clasifica en diversas clases atendiendo a su espesor como se muestra en el cuadro 4 en caso de capa colgada, profundidad y duración (Porta y López – Acevedo).

**Cuadro 4. Clases de capa freática (Porta y López Acevedo, 2005)**

CRITERIO	CLASE
<b>Espesor capa colgada</b> < 10 cm 10 – 30 30 – 100 > 100	Extremadamente delgada Muy delgada Delgada De gran espesor
<b>Profundidad</b> > 150 cm 150 – 100 100 – 50 50 – 25 < 25 cm	Muy profunda Profunda Moderadamente profunda Superficial Muy superficial
<b>Duración anual acumulada</b> Ausente Muy transitoria Común Persistente Permanente	<b>Presencia</b> No observada < 1 mes 1 a 3 3 a 6 6 a 12 Continuamente

## 2.6. Tipos de Drenaje

El ILRI (1978), menciona que existen dos tipos de drenaje: superficial y subterráneo. El primero drena los escurrimientos presentes en la superficie del suelo y el segundo, todos los excesos de humedad existentes en el perfil del suelo. Cuando éste tiene drenaje natural deficiente, se requiere para esto, tuberías ranuradas subterráneas colocadas a cierta profundidad y espaciamiento entre las mismas, siendo necesario recubrirlas con un material filtrante denominado “envolvente”.

### **2.6.1. Drenaje Superficial**

Por drenaje superficial se entiende la remoción de los excesos de agua acumulados sobre la superficie del terreno, a causa de lluvias muy intensas y frecuentes, topografía muy plana e irregular y suelos poco permeables (Rojas, 1984; mencionado por Ortega y Sagado, 2001).

El mismo autor menciona que la necesidad del drenaje superficial se justifica en zonas donde los factores climáticos, las condiciones hidrológicas, las características de los suelos, la topografía y la utilización de la tierra, dan lugar a que el agua permanezca inundando la superficie del suelo, durante un tiempo superior al que los cultivos pueden soportar sin manifestar serios efectos sobre los rendimientos y/o sobrevivencia.

### **2.6.2. Drenaje Subterráneo**

Roe (1960) mencionado por Estrada (2000) reporta que el objetivo del drenaje subterráneo es hacer descender el nivel del agua libre dentro de la zona de raíces, o tan cerca como sea posible de la profundidad media de arraigamiento de los cultivos y mantenerlos aproximadamente constante como sea posible.

El mismo autor menciona que: para el diseño de un sistema de drenaje subterráneo, es necesario conocer cuál debe ser la separación más adecuada en los drenes de campo, los cuales se instalan generalmente paralelos. A esta distancia de separación, se denomina espaciamiento entre drenes. Para aproximar el espaciamiento adecuado,

se han utilizado diversos métodos tales como ecuaciones o fórmulas analíticas, mapeo informal, método de hidrógrafo. Los métodos que emplean fórmulas son los más comúnmente utilizados para resolver casos de drenaje de tierras agrícolas.

Fuentes y García (2003) mencionan que cuando el nivel freático está a una profundidad inferior a los dos metros, el agua de la capa subterránea asciende por capilaridad a medida que el agua del suelo va disminuyendo debido a la evapotranspiración. Si el agua subterránea contiene sales, éstas se van acumulando en la zona radical con mayor o menor rapidez, según la concentración de sales en el agua, la profundidad de la capa freática y el manejo que se haga del riego. Para controlar la salinidad en este caso se requiere, además de la lixiviación, un sistema de drenaje eficiente que estabilice el nivel freático a una profundidad adecuada.

### **2.7. Estudios de Niveles Freáticos y Piezométricos**

Parte esencial de una investigación con fines de drenaje, es el estudio de las condiciones y características del agua subterránea presente en el acuífero freático como en acuíferos confinados o semiconfinados que se presentan en el perfil del suelo. Esto implica la determinación de la posición actual del nivel freático y la identificación de las causas que han provocado el problema.

Los principales objetivos de un estudio de niveles freáticos y piezométricos, serán (Grassi, 1981; citados por Salgado, 2010):

- a) Determinar la calidad del agua del freático.
- b) Determinar el grado, extensión y naturaleza de los problemas de drenaje existentes o potenciales.
- c) Determinar el origen del problema de drenaje.

Previo a la iniciación de cualquier trabajo de terreno será necesario tener presente que es altamente recomendable una acuciosa revisión del material cartográfico e informes disponibles. Dicho material puede ser:

- Mapas topográficos.
- Fotografías aéreas. Proveerán fundamentalmente información acerca de la hidrogeología y cubierta vegetal del área de estudio.
- Mapas geológicos. Permiten identificar zonas de recarga, descarga y los diferentes tipos de acuíferos.
- Datos hidrológicos (precipitación, caudales, pozos, lagunas, embalses, sistemas de riego, etc.).
- Datos sobre calidad de aguas.

Este trabajo preparatorio puede ser de gran ayuda en el trazado de un plan eficiente y efectivo para el estudio de aguas subterráneas con fines de drenaje el cual debe comprender las siguientes etapas:

- Recolección de datos

- Procesamiento de datos
- Evaluación de datos

### **2.7.1. Recolección de Datos**

En la recolección de datos de niveles freáticos y piezométricos se pueden utilizar las siguientes alternativas en forma individual y/o complementaria, dependiendo de las características del estudio en marcha. Las observaciones se pueden hacer en (Salgado, 2010):

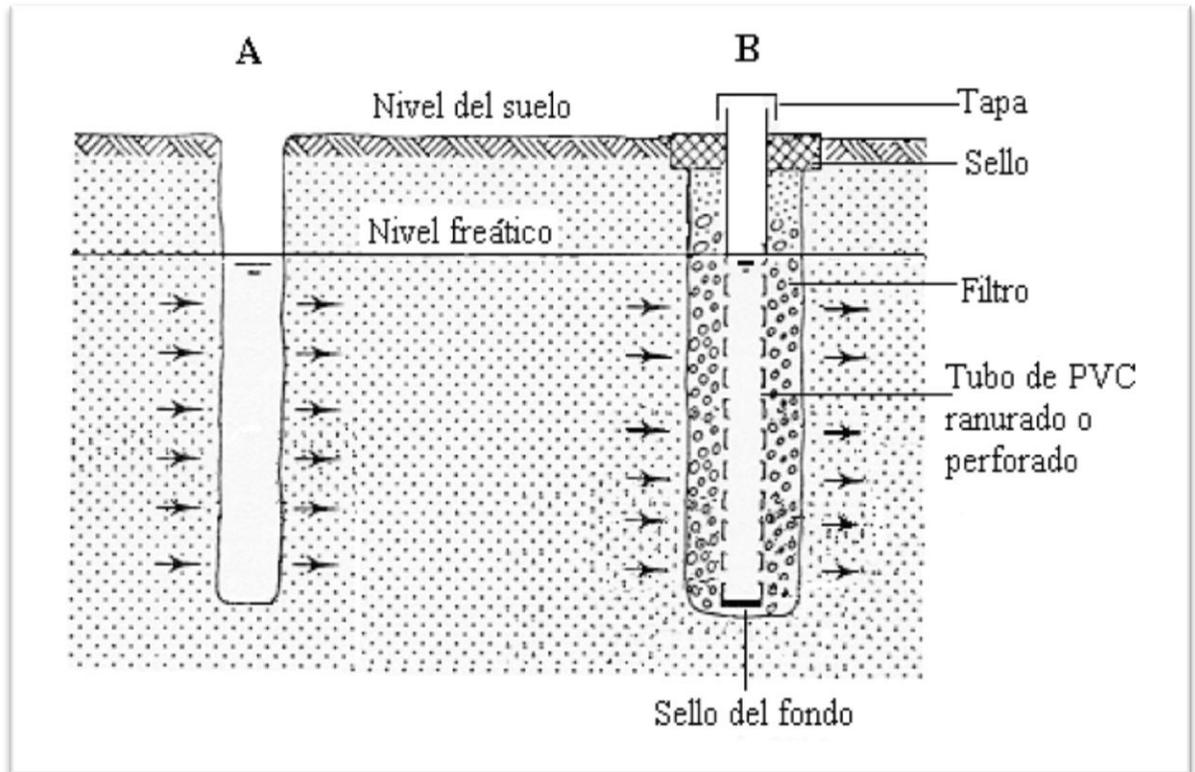
- a) Pozos existentes. Son frecuentemente los sitios más convenientes para la medida de los niveles freáticos en una etapa preliminar. Tienen que ser cuidadosamente evaluados en cuanto a su confiabilidad y representatividad. En cada pozo deben condiciones de profundidad, perfil del suelo y revestimiento. De esta información puede concluirse si el pozo está siendo abastecido con aguas freáticas y/o artesianas.
- b) Superficies de agua libre (lagos, ríos, canales, drenes, pantanos, vertientes, etc.). Suministran información de utilidad en la medida que exista conexión con el agua subterránea. Si el nivel de agua libre se encuentra por sobre o bajo el nivel del agua subterránea, indicará si dicha superficie se comporta como fuente de recarga o descarga del acuífero, respectivamente.
- c) Tubos de observación especialmente instalados para tal propósito. En adición a los pozos y superficies de agua libre existentes,

frecuentemente es necesaria la construcción de estructuras especiales para medir la profundidad del agua subterránea, ubicados en puntos estratégicos dentro y fuera del área del proyecto. Estos pueden ser pozos de observación o piezómetros.

### **2.7.2. Pozos de observación**

Un pozo de observación (figura 1) puede ser una perforación hasta una profundidad de importancia agronómica, entre 1.8 y 2.0 m. Sin embargo, para asegurar las lecturas durante un largo periodo de tiempo y evitar la influencia directa de las lluvias o de la escorrentía sobre el nivel del agua en el pozo, se acostumbra a instalar un tubo perforado de PVC o una manguera rígida de polietileno de 25 a 50 mm de diámetro, que se recubren con una malla obtenida a partir de los empaques sintéticos de fertilizantes comerciales (Cruz, 1995).

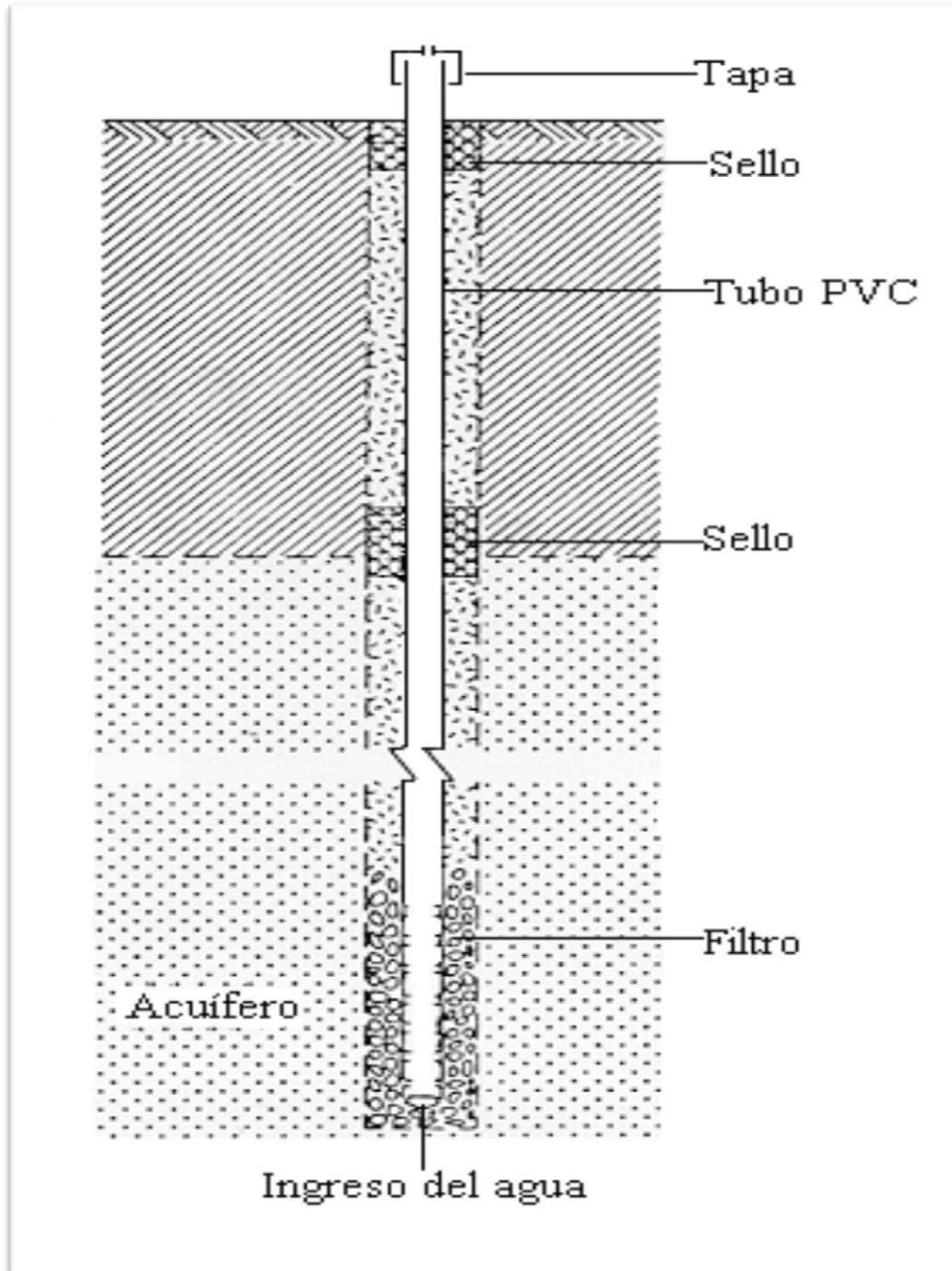
El mismo autor menciona que para conocer la situación del nivel freático en una zona, se requiere información de varios puntos, para lo cual se debe instalar una red de pozos de observación que cubra el área en estudio. La distribución de estos pozos se puede hacer en forma sistemática en cuadrícula o rectángulo, o por concentración de puntos de acuerdo con las áreas críticas, colocándolos en sitios de fácil acceso y evitando que queden cercanos a canales, drenes, ríos, pozos de bombeo y caminos o vías de tránsito, para prevenir su destrucción u obturación.



**Figura 1. Pozos de observación del nivel freático a) no entubado y b) entubado**

d) Piezómetros. Es una tubería de diámetro pequeño, abierta en ambos extremos, generalmente no perforada (excepto en una sección pequeña, no superior a 10-20 cm), instalada mediante barreno o percusión en el suelo de modo tal que no se produzcan filtraciones entre la pared exterior del tubo y el suelo y permitir que toda el agua que ingrese a su interior lo haga sólo por el extremo inferior (figura 2).

Una tubería instalada en tales condiciones sirve para medir la presión hidrostática del agua subterránea en acuíferos confinados o no confinados en el punto donde se encuentra el extremo inferior del tubo.



**Figura 2. Piezómetro**

### **2.7.3. Procesamiento de Datos**

Antes de sacar cualquier conclusión sobre la causa, extensión y/o severidad del problema de drenaje del área en estudio, todos los datos de terreno, incluyendo niveles freáticos piezométricos, calidad del agua, etc.

deben ser procesados de alguna forma que permitan su correcta interpretación y, al mismo tiempo, que a partir de ellos se pueda extraer la mayor información posible.

A modo de clasificación es posible señalar que el procesamiento de datos incluye la construcción de hidrogramas y mapas o planos.

#### **2.7.4. Mapas de Agua Subterránea**

Existe una considerable cantidad de mapas o planos que pueden confeccionarse a partir de los datos del agua subterránea. Cada uno de ellos tiene un objetivo específico. Los más comunes son:

Plano de Isohipsas. Son líneas que unen puntos de igual cota de nivel freático. Se pueden trabajar con el promedio de isohipsas para un periodo largo, siendo suficientes dos planos en el periodo lluvioso y uno en el periodo seco. A partir de estas líneas se puede determinar la dirección del flujo de agua subterránea, ya que éste es perpendicular a las líneas isohipsas (Cruz, 1995).

Plano de Isobatas. Son curvas que unen puntos de igual profundidad al nivel freático. Definen las áreas con mayor o menor profundidad a la freática y marca las áreas que se encuentran afectadas a mayor escala (Díaz *et al.*, 2001).

De la Peña (1979) mencionado por Bolívar (2010), clasifica a las curvas isobatas de la siguiente manera (cuadro 5):

**Cuadro 5. Clasificación de curvas isobatas (Bolívar, 2010)**

Rango de clasificaciones		Color
0	1.00 m	Rojo
1.00	1.50 m	Amarillo
1.50	2.00 m	Verde
2.00	3.00 m	Azul
	>3.00 m	Café

### **2.8. Papel que Desempeña la Calidad del Agua de Riego**

El término “calidad del agua para riego agrícola” se utiliza para indicar la conveniencia o limitación del empleo de agua, con fines de riego de cultivos agrícolas, para cuya determinación generalmente se toman como base las características químicas, pero actualmente al emplear riego por goteo/microaspersión o aspersión es relevante considerar las características físicas y biológicas; así como la tolerancia de los cultivos a las sales, las propiedades del suelo, las condiciones de manejo del suelo y agua y las climatológicas (Cánovas,1986; citado por Pérez, 2011).

La calidad del agua generalmente está asociada con la zona geográfica donde se encuentra el sistema de riego. En las zonas áridas se encuentran aguas con pH altos y concentraciones altas de carbonatos, calcio y magnesio. En las zonas húmedas, generalmente los pH del agua son bajos y contienen fierro y sulfuros. Por otra parte, la calidad del agua depende también de las fuentes de abastecimiento. Las aguas

provenientes de ríos, canales y lagos pueden tener sólidos inorgánicos y orgánicos en suspensión, con presencia de algas y bacterias, y pueden ser de bajos contenidos de sales solubles. Las aguas provenientes de pozos profundos pueden tener contenidos de sales solubles mayores que los de aguas superficiales (Peña, 1995; mencionado por Palacios *et al.*, 2010).

En algunos sistemas de riego se aplican 25 ton de sales por hectárea en cada riego de 15 cm de lámina, y el uso persistente de tales aguas acumula las sales en el suelo a niveles que lo hacen improductivo (Hernández, 1997; citado por Palacios *et al.*, 2010).

Espinoza (2006) menciona que Custodio y Llamas (1976) indican que la calidad de las aguas subterráneas depende mucho de las condiciones del acuífero, de su litología, de la velocidad de circulación, de la calidad del agua de infiltración, de las con otras aguas o acuíferos y de las leyes del movimiento de las sustancias transportadas por el agua. Además, las aguas subterráneas tienen la oportunidad de absorber materiales por las lentas velocidades de circulación, mayor presión y temperatura a las que están sometidas y facilidad de disolver bióxido de carbono del suelo no saturado. Por ello, sus concentraciones salinas son superiores a las de aguas superficiales en general y su calidad queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contienen o el conjunto de todos ellos, permite establecer las posibilidades de su utilización clasificando así, de acuerdo con límites estudiados de su destino para bebida, usos agrícolas, industriales, entre otros.

El agua requerida para los procesos de crecimiento de las plantas es absorbida por las raíces desde la solución del suelo. Todas las aguas de riego, ya sea derivadas de manantiales, corrientes o bombeadas de pozos, contienen cantidades apreciables de sales solubles. El contenido de sales en las aguas de riego varían entre 70 y 3500 ppm. Si el agua de riego es de buena calidad, los suelos los cuales se aplica pueden ser mejorados, pero si la calidad no es satisfactoria, el suelo puede deteriorarse hasta que ya no produzca cosechas satisfactorias (ILRI, 1978).

La calidad del agua para riego está determinada por la cantidad y tipo de sales que la constituyen. El agua de riego puede crear o corregir suelos salinos o sódicos. La concentración de sales en el agua de riego reduce el agua disponible para los cultivos, es decir la planta debe de ejercer mayor esfuerzo para poder absorber el agua; puede llegar incluso a sufrir estrés fisiológico por deshidratación, afectando esto su crecimiento (Moya, 2009, citado por Pérez, 2011)

El deterioro del suelo frecuentemente resulta por la aplicación de agua de riego buena o mala a suelos con drenaje deteriorado, puesto que en este caso no se puede evitar la acumulación de las sales solubles. También surgen problemas de sales y álcali, si el sistema de drenaje es adecuado, pero se aplica agua de riego en cantidad insuficiente para que se haga el lixiviado o lavado necesario del exceso de sales (ILRI, 1978).

Los parámetros que determinan la calidad del agua de riego se dividen en tres categorías: químicos, físicos y biológicos.

## 2.9. Criterios e Índices de Clasificación

El uso de varios tipos de agua para la irrigación hizo necesaria la creación de un sistema de clasificación que fuera completamente diferente a aquéllos que se utilizan para propósitos geoquímicos, industriales o sanitarios. Las características más importantes que determinan la calidad del agua para riego son la concentración total de sales solubles, la concentración relativo de sodio con respecto a otros cationes, la concentración de boro u otros elementos que puedan ser tóxicos y bajo ciertas condiciones, la concentración de bicarbonatos con relación a la de calcio mas magnesio. Los principales iones que se evalúan en el agua son: calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2+}$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), (Cortés *et al.*, 2009)

Aguas con alto contenido de calcio o magnesio se consideran “duras” y no son recomendables para uso doméstico. Sin embargo, este tipo de agua se considera buena para irrigación. De los cationes encontrados en el agua, el sodio es el más peligroso. A diferencia de las aguas cálcicas o magnésicas, aquellas altas en sodio son consideradas “blandas” y generalmente no son recomendables para irrigación. El ión sulfato no provoca en general daños a las plantas. Sin embargo, contribuye al incremento de la salinidad en la solución del suelo. En contraste, el cloro tiene un efecto tóxico directo sobre algunas plantas (Glover, 1993; citado por Cortés *et al.*, 2009).

Palacios y Aceves (1970), mencionados por Martínez (1996), mencionan que existen tres criterios de clasificación para juzgar la conveniencia o limitación del empleo del agua con fines de riego de cultivos agrícolas. Estos criterios son: el contenido de sales solubles, el efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos y el contenido de elementos tóxicos para las plantas como se observa en el cuadro 6:

**Cuadro 6. Criterios de clasificación de aguas según Palacios y Aceves (1970) (Martínez, 1996)**

Criterios	Índices	Abreviaturas
Contenido de sales solubles	Conductividad eléctrica Salinidad efectiva Salinidad potencial	CE SE SP
Efecto probable del sodio	Relación de adsorción de sodio Carbonato de sodio residual Porcentaje de sodio posible	RAS CSR PSP
Contenido de los elementos tóxicos	Contenido de boro Contenido de cloruros	B Cl

Los índices de calidad de agua se describen a continuación según Palacios y Aceves (1970) citados por Bolívar (2011).

### 2.9.1. Conductividad Eléctrica (C.E)

Es una medida indirecta de la Presión Osmótica (P.O) e indica la presencia de sólidos disueltos totales (SDT). A mayor valor, mayor es la concentración de sales de la solución y viceversa, por lo que es un parámetro muy útil para la clasificación del agua de riego (cuadro 7). Se expresa en dS/m a 25°C.

$$\text{SDT (ppm)} = 0.64 * \text{C.E.} * 10^6$$

$$\text{SDT (ppm)} = 640 * \text{C.E.} * 10^3$$

$$\text{SALES (Meq/l)} = 10 * \text{C.E.} * 10^3$$

$$\text{P.O} = 0.36 * \text{C.E.} * 10^3$$

**Cuadro 7. Clasificación del agua de riego por su conductividad eléctrica Palacios y Aceves (1970) (Bolívar, 2011)**

SDT ppm o mg/L	CE dS.m <sup>-1</sup>	Riesgo de Salinidad
<500	<0.8	Bajo
500 - 1000	0.8 - 1.6	Medio
1000 - 2000	1.6 - 3	Alto
> 2000	> 3	Muy Alto

### **2.9.2. Salinidad Efectiva (SE)**

Es una estimación del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego cuando pasan a formar parte de la solución del suelo. Se calcula con las siguientes opciones:

1). Sí,  $Ca > (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$ , entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$$

2). Sí  $Ca < (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$  pero  $Ca > (CO_3 + HCO_3)$ , entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - Ca$$

3). Sí  $Ca < (CO_3 + HCO_3)$ , pero  $(Ca + Mg) > (CO_3 + HCO_3)$ , entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (CO_3 + HCO_3)$$

4). Sí,  $Ca + Mg < CO_3 + HCO_3$ , entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (Ca + Mg)$$

\* suma de cationes o aniones, la que sea mayor

### **2.9.3. Salinidad Potencial (SP)**

Es un índice para estimar el peligro del Cl y  $SO_4$  una vez que se ha perdido el 50% de la humedad aprovechable y que aumenta considerablemente la P.O. de la solución del suelo (Palacio y Aceves, 1970; mencionados por Bolívar, 2011).

$$SP = Cl + \frac{1}{2} SO_4$$

#### **2.9.4. Relación de Adsorción de Sodio (RAS)**

Es uno de los índices más evaluados para medir el peligro de sodificación que presenta el agua de riego. Su cálculo es sencillo y se correlaciona con el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) del suelo que está en equilibrio con el agua de riego. Así mientras mayor es el valor de RAS, mayor el valor del PSI del suelo y mayor peligro de sodificación.

$$\text{RAS} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg})/2]^{1/2}$$

#### **2.9.5. Carbonato de Sodio Residual (CSR)**

Se expresa en Meq/l e indica el peligro de sodificación una vez precipitados los carbonatos y bicarbonatos de calcio y de magnesio.

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

#### **2.9.6. Porcentaje de Sodio Posible (PSP)**

El peligro del desplazamiento del calcio y del magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio, empieza cuando el contenido de sodio en la solución representa más de la mitad de los cationes disueltos. También se expresa en Meq/l.

$$\text{PSP} = \text{Na} / \text{SE} * 100$$

#### **2.9.7. Contenido de Boro y Cloro**

El boro es indispensable para el buen desarrollo de las plantas. Sin embargo a muy bajas concentraciones empieza a ser tóxico para la mayoría de los cultivos.

El ion cloro es un peligro cuando es absorbido por los tejidos de las plantas y acumulado en niveles resultando quemaduras en las hojas cuando están presentes en cantidades excesivas (Christiansen *et al.*, 1977; mencionados por Orduña, 1996).

Jarsun (2008) menciona que El Laboratorio de Salinidad de Riverside (U.S.) propone clasificar el peligro de salinización de los suelos según la conductividad eléctrica del agua utilizada para el riego de acuerdo al siguiente esquema (cuadro 8):

**Cuadro 8. Clasificación del agua de riego por su CE (Jarsun, 2008)**

<b>CLASES</b>	<b>PELIGRO DE SALINIZACIÓN</b>	<b>CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (<math>\mu\text{S cm}^{-1}</math> a 25 °C)</b>	<b>CONTENIDO DE SALES TOTALES (<math>\text{g l}^{-1}</math>)</b>
<b>C1</b>	<b>Bajo</b>	<b>&lt; 250</b>	<b>&lt; 0.15</b>
<b>C2</b>	<b>Moderado</b>	<b>250 – 750</b>	<b>0.15 – 0.50</b>
<b>C3</b>	<b>Medio</b>	<b>750 – 2250</b>	<b>0.50 – 1.15</b>
<b>C4</b>	<b>Alto</b>	<b>2250 – 4000</b>	<b>1.15 – 2.50</b>

El mismo autor también menciona que El Laboratorio de salinidad de Riverside (U.S.) clasifica la peligrosidad de sodificación del suelo (cuadro 9) por el agua de riego en función de su índice R.A.S

**Cuadro 9. Clasificación del agua de riego por RAS (Jarsun, 2008)**

CLASE	CLASIFICACIÓN	RAS
S1	BAJA peligrosidad sódica.	0–10 ó 0–2 depende de la clase por peligro de salinización.
S2	MEDIANA peligrosidad sódica.	10-18 ó 2-6 depende de la clase por peligro de salinización
S3	ALTA peligrosidad sódica.	18–26 ó 6–10 depende de la clase por peligro de salinización
S4	MUY ALTA peligrosidad sódica.	> 26 ó > 10 depende de la clase por peligro de salinización

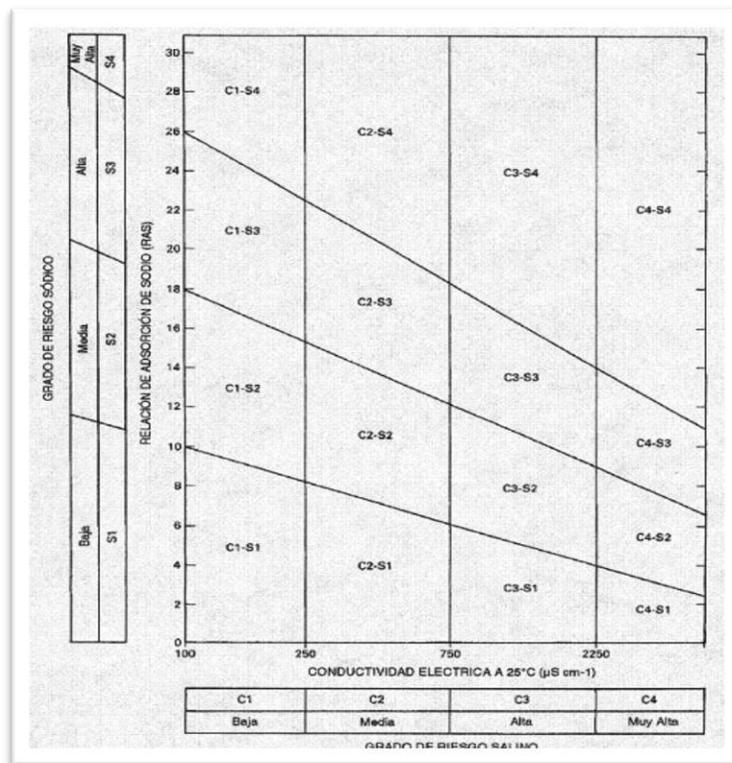
Asimismo, este autor reporta que las clasificaciones del Laboratorio de Salinidad de Riverside (U.S.) vistas anteriormente se resumen en el muy conocido cuadro que presentó Richards en 1954, que se muestra en la figura 3.

#### **2.9.8. pH**

Otros de los parámetros que se usan para ver la acidez o alcalinidad del agua es el pH, el cual está definido según Custodio y Llamas (1976) por la cantidad de gases de CO<sub>2</sub> disuelto y por los carbonatos y bicarbonatos de las sales minerales. Por eso la lectura debe de ser tomada inmediatamente como sea posible debido a que se pierde rápidamente. De otra manera se deduce que una muestra de agua que se tome de un pozo no representa el verdadero carácter químico del agua

del acuífero por lo que es necesario realizarlo en el campo (Martínez, 1996).

El mismo autor menciona que la mayoría de las aguas subterráneas según Pizarro (1975) tienen un pH entre 6.5 y 8.0 por la presencia de CO<sub>2</sub> y carbonatos disueltos. Este índice es de poca importancia por sí mismo, más sin embargo, Limón (1988) establece que el principal uso del pH, es que permite una evaluación rápida de la posibilidad de que el agua no sea adecuada, sabiendo que el rango normal del agua para riego su pH es de 6.5 a 8.4, las aguas con valores fuera de este rango pueden ser usadas, pero también se puede sospechar que debido a su uso puedan originar algunos problemas relacionados con la nutrición o toxicidad de las plantas.



**Figura 3. Esquema de Clasificación de Agua según Richards (1954) (Jarsun, 2008)**

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción del Área de Estudio

Según el INEGI (2003) estas son las características que presenta el área de estudio:

##### 3.1.1. Localización

El trabajo se estableció en el Ejido San Isidro, Mpio. de Nadadores, Coah. Situado en las coordenadas 27° 1'38.34" Latitud Norte y 101°35'38.66" Longitud Oeste, con una altitud de 520 msnm como se muestra en la figura 4.



**Figura 4. Localización Geográfica del Ejido San Isidro, Mpio. De Nadadores, Coah**

### **3.1.2. Clima.**

Su clima es seco semicálido, con una temperatura media anual de entre 20°C y 22°C; su precipitación anual es de 350 mm, con régimen de lluvia en los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre y escasas en Noviembre y Diciembre. Los vientos predominantes soplan en dirección noreste con velocidades de 12 a 22 km.h<sup>-1</sup> La frecuencia de heladas es de 0 a 20 días y granizadas de cero a un día.

### **3.1.3. Orografía.**

Las montañas que rodean al municipio de Nadadores son las siguientes, al Sur se localiza El Divisadero, Loma Alta, Loma de en Medio, y los Puertecitos; al Norte, El Huarache y el Cerrito; al Sureste, El Cerro de los Nadadores y al Oeste la Sierra del Carmen.

### **3.1.4. Hidrografía.**

Ingresa por el Sur el río Nadadores, que viene del Sureste de Lamadrid y entra a San Buenaventura por el Sureste. También está el Río San Marcos que nace en Cuatrociénegas, pero riega las tierras de Nadadores; además se localiza el manantial del Carmen que produce aguas delgadas; el Río Salado pasa por el municipio.

## **3.2. Estudios y Actividades Realizadas**

En el Ejido San Isidro se realizaron los siguientes estudios o actividades en los meses de Junio y Diciembre.:

### **3.2.1. Delimitación.**

Con ayuda de una estación total se trazó una cuadrícula a una distancia de 30 metros, marcándose un total de 33 pozos como se muestra en la Figura 5.

### **3.2.2. Muestreo del Suelo**

Con ayuda de una barrena tipo holandesa se extrajeron las muestras de suelo utilizándose el método de muestreo sistemático. Cada muestra obtenida se almacenó para después ser analizada en el Laboratorio de Calidad de Agua del Dpto. de Riego y Drenaje de la UAAAN.

### **3.2.3. Establecimiento de pozos de observación**

Como las perforaciones no se pueden proteger por completo durante mucho tiempo, se además con un tubo d PVC sanitario de 2", el cual se le hicieron ranuras a su alrededor, el tubo es más largo que el pozo de observación y se cubre con una "tapa". El agua de los alrededores del pozo entrará al tubo y se registrará la profundidad del nivel freático.



Figura 5. Localización de los pozos de observación

#### 3.2.4. Lecturas del nivel freático y toma de muestras de agua del freático.

En los pozos de observación en los que hubo presencia de nivel freático, se registró su profundidad respecto a la superficie del suelo y se muestreó el agua del nivel freático determinándose en campo la CE y el pH. Posteriormente se transportaron al mismo laboratorio para determinársele su calidad (cationes:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ; aniones:  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  y B).

Cabe mencionar que en el mes de Diciembre se visitó el predio para medir la profundidad del nivel freático y la calidad del agua.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Calidad del Agua

Con los resultados obtenidos de las muestras donde se encontró presencia de agua se pudieron analizar los iones (ANEXO A) para así calcular los índices de clasificación (ANEXO B) que determinaron la calidad de la misma en cada pozo de observación como se muestra en el cuadro 10.

**Cuadro 10. Calidad del agua del freático**

<b>POZO</b>	<b>Clasificación</b>
<b>A1</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>A2</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>A3</b>	<b>Sin agua</b>
<b>A4</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>A5</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>A6</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>A7</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>A8</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>A9</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>A10</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>A11</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>

**Cuadro 10. .... continuación.**

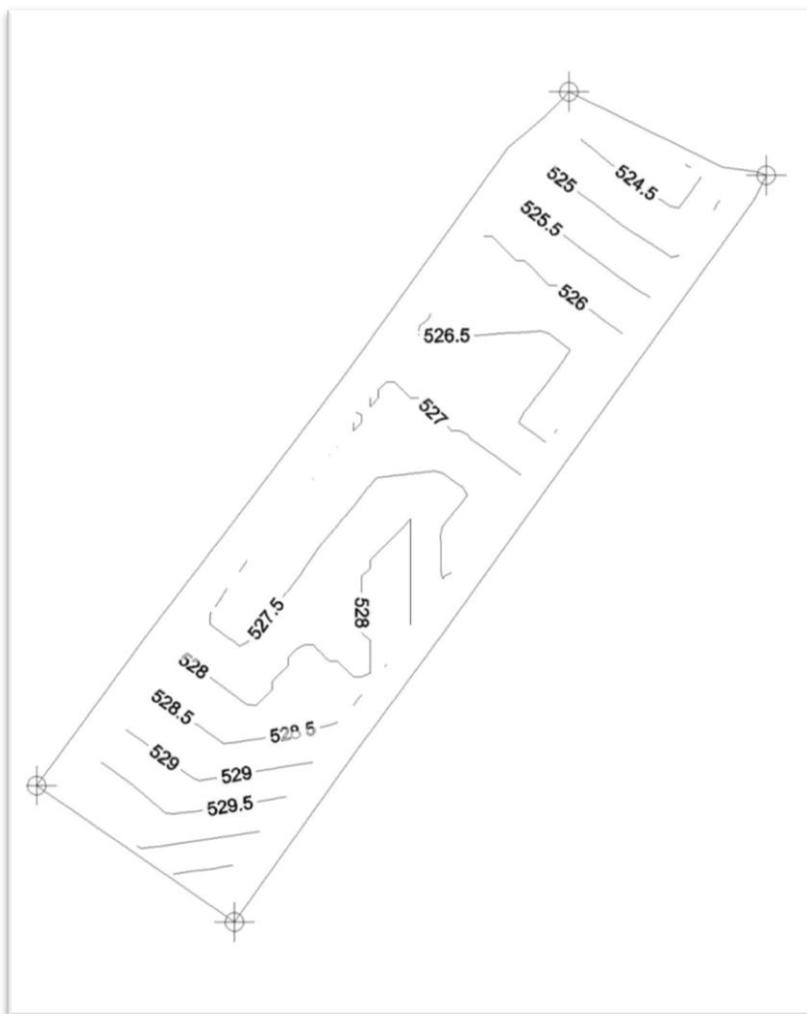
<b>POZO</b>	<b>Clasificación</b>
<b>B1</b>	<b>Sin agua</b>
<b>B2</b>	<b>Sin agua</b>
<b>B3</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>B4</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>B5</b>	<b>Sin agua</b>
<b>B6</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>B7</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>B8</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>B9</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>B10</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>B11</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>C1</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>C2</b>	<b>Sin agua</b>
<b>C3</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>C4</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>C5</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>C6</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>C7</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>C8</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>C9</b>	<b>C<sub>4</sub> ,S<sub>1</sub></b>
<b>C10</b>	<b>Sin agua</b>
<b>C11</b>	<b>Sin agua</b>

## 4.2. Planos

Con los datos obtenidos de las lecturas de la profundidad de los niveles freáticos y las cotas del área de estudio (ANEXO C) se pudieron realizar los planos de curvas a nivel, isobatas e isohipsas con ayuda de los programas AutoCAD y SURFER.

### 4.2.1. Plano Base del Área de Estudio.

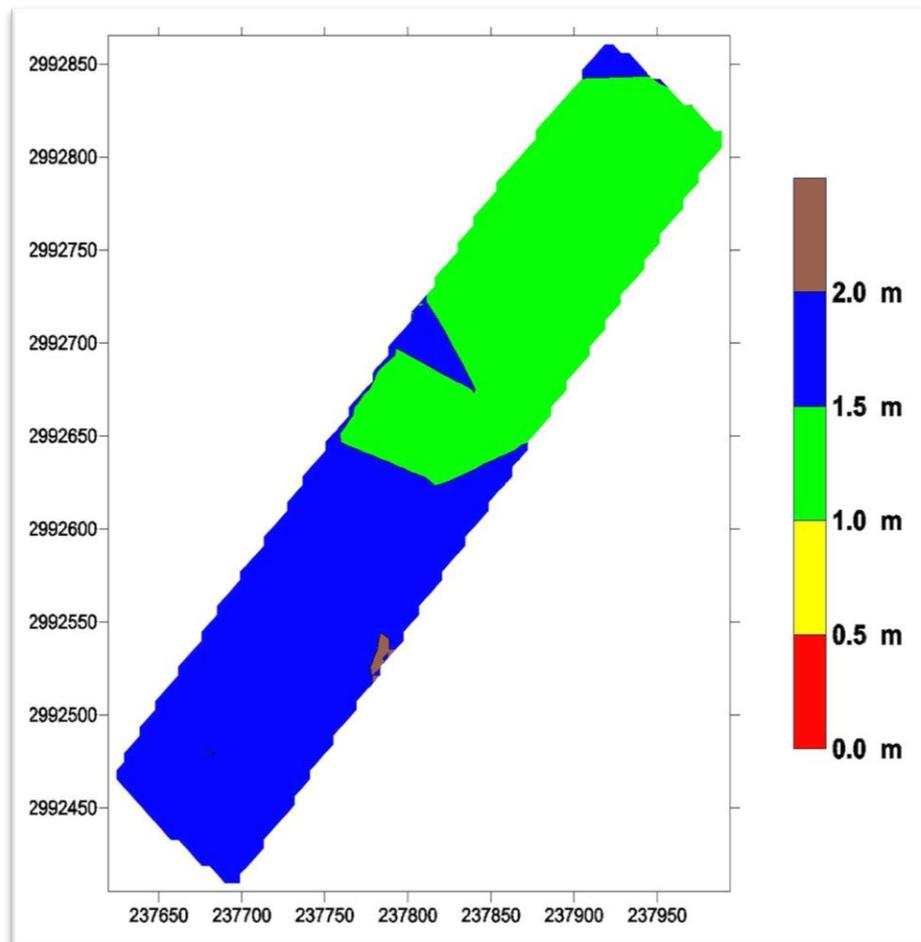
El área de estudio tiene un desnivel aproximado de 5 metros como se muestra en las curvas a nivel (Figura 6).



**Figura 6. Plano de curvas a nivel del área de estudio**

#### 4.2.2. Plano de Isobatas.

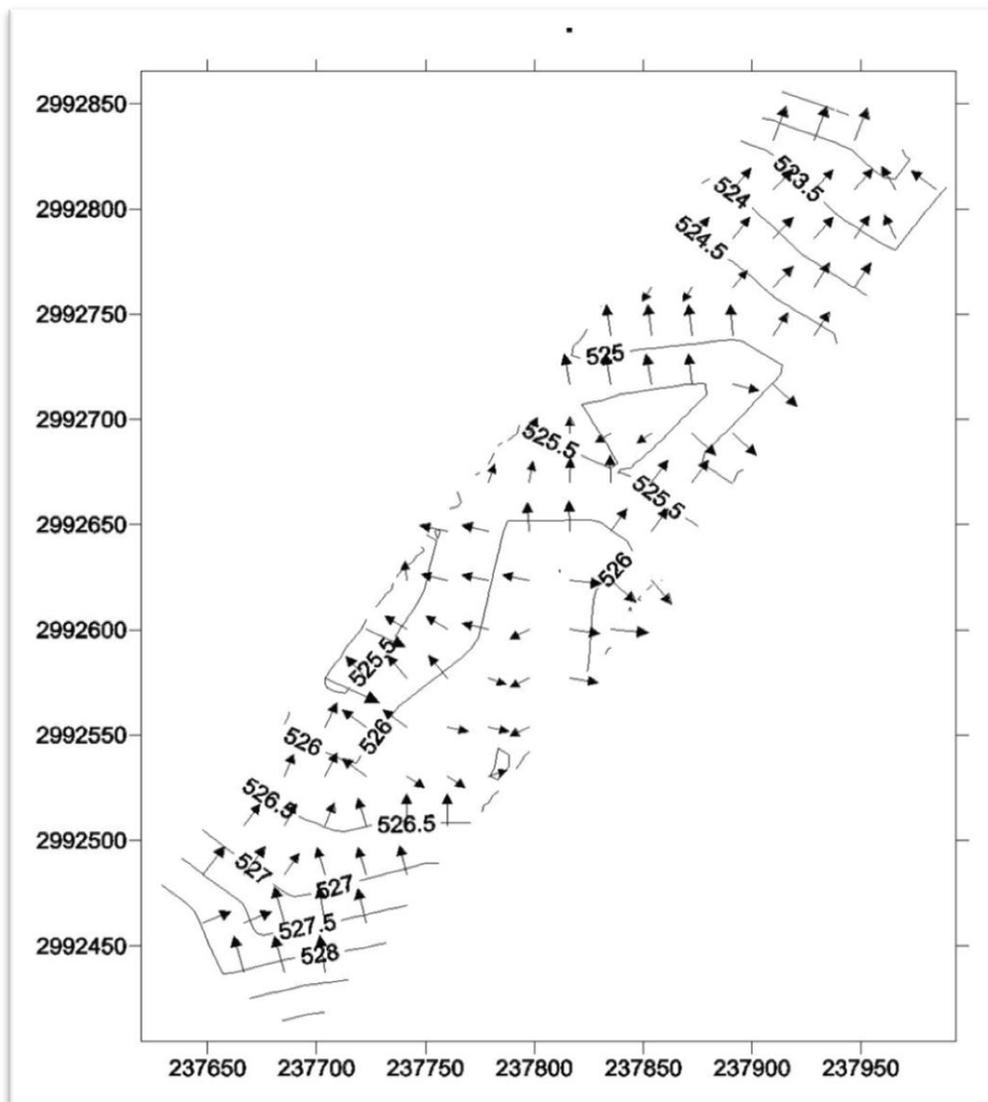
En la figura 7 se muestran las curvas isobatas que son realizadas con la profundidad del nivel freático respecto a la superficie del suelo. Como puede observarse la mayor presencia de agua en los pozos de observación se encuentra a un profundidad promedio de 1.5 metros. Estas curvas isobatas son clasificadas de acuerdo a lo señalado por De la Peña (1979) mencionado por Bolívar (2010): 0 a 0.5 m de profundidad color rojo, de 0.5 a 1.0 m color amarillo, de 1.0 a 1.5 m color verde; de 1.5 a 2 m color azul y mayor de 2 m color café.



**Figura 7. Plano de isobatas del freático**

#### 4.2.3. Plano de Isohipsas.

Las curvas isohipsas se obtienen de la diferencia de la cota del terreno menos la profundidad del nivel freático, éstas indican el sentido de flujo del freático y su comportamiento como en observa en la figura 8.



**Figura 8. Plano de isohipsa y líneas de flujo**

En la segunda visita no hubo presencia de agua freática en ningún pozo de observación.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos se determinó la calidad del agua del freático por lo cual se puede dar la siguiente recomendación:

Agua  $C_4S_1$ . Agua muy altamente salina y baja en sodio. No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias; puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables y el drenaje adecuado, debiendo aplicarse una lámina de sobre riego (RL) para lograr un buen lavado; en este caso se debe seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales, como es el caso de la alfalfa aunque su rendimiento se ve afectado. Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

Con los datos tomados en los pozos de observación pudo determinarse que la mayor presencia de agua del freático se encontró a una profundidad de 1.50 m. Sin embargo, en la visita de Diciembre, no se encontró nivel freático presente, por lo que se recomienda se sigan tomando datos los meses subsecuentes para determinar la época crítica y definir el tipo de cultivo por establecer.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- Ávila, D.R. 1998. Diagnóstico del Drenaje de Distrito de Riego 029 Xicoténcatl, Tam. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. 137 p.
- Bolívar D., M. 2010. Apuntes de Drenaje Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. 51 p.
- Bolívar D., M. 2011. Apuntes de Suelos Salinos y Sódicos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. 58 p.
- Cisneros A., R. 2003. Apuntes de Riego y Drenaje. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. p. 116 – 132.
- Cortés J., J. M., Troyo D., E. y Garatuza P., J. 2009. Correlación Entre Indicadores de la Calidad del Agua para Uso Agrícola. Folleto técnico No. 66. INIFAP. Obregón, Sonora. México. 36 p.
- Cruz V., R. 1995. Drenajes. En: CENICAÑA. El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA. p. 211 – 233.
- Díaz L., E., Duarte, O. y Ricciardi, C. 2001. Tecnología de Tierras y Aguas I. Apuntes de Teoría de Drenaje. Universidad Nacional de Entre Ríos, Uruguay. p. 1 – 9.

- Espinoza C., C. 2006. Calidad de Agua y Contaminación de Agua Subterránea. Apuntes de Hidráulica de Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento. Universidad de Chile. 54 p.
- Estrada de L., M. A. 2000. Reubicación, Rehabilitación y Acondicionamiento de un Simulador de Drenaje. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. p. 3 – 32, 47 – 53.
- Fuentes Y., J. L. y García L., G. 2003. Técnicas de Riego. 4 ed. Mundi Prensa. DF. México. p. 67 – 92.
- Fritsch F., N. 1978. Apuntes de Drenaje de Suelos Agrícolas. Universidad de Chile. p. 1 – 36.
- Hernández, C. J. 1997. Apuntes del Curso de Maestría “Métodos de Riego”. División de Estudios de Postgrado, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.
- International Institute for Land Reclamation and Improvement. 1978. Wageningen the Netherlands. International Course of Land Drainage Wageningen. Drainage Principles and applications.
- Jarsun, R. O. 2008. Manual de Uso e Interpretación de Aguas. Secretaría de Ambiente. Córdoba, Veracruz, México. 50 p.
- Llerena V., F. A. 2007. Drenaje Superficial en Terrenos Agrícolas. SAGARPA. México. 15 p.
- Luthin, J. N. 1986. Drenaje en Tierras Agrícolas. Teoría y Aplicaciones. 4 ed. Limusa. México. 675 p.

- Manzano B., J. I. 2012. Utilización de Metodologías Químicas y Físicas para la Recuperación y Manejo de Suelos Salino – Sódicos. Universidad Autónoma de Tamaulipas. México. 20 p.
- Martínez H., D. 1996. Calidad de Agua Subterránea del Ejido El Tunal, Municipio de Arteaga, Coah. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. p. 3 – 32, 47 – 53.
- Martínez S., L. 2004. Estudio de la Calidad Agronómica del Agua de Riego de las Islas Baleares. España. p. 5 – 45.
- Niborski C., M. J. 2000. El Exceso de Sales y Sodio en los Suelos de las Regiones Áridas y Semiáridas. Apuntes de Manejo y Conservación de Suelos. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 24 p.
- Ortega C., L. y Sagado S., L. 2001. Drenaje de Suelos Agrícolas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA – CARILLANCA) Chile. 74 p.
- Palacios M., A., Rodríguez A., M. y Barajas O., G. 2010. Tratamiento Electrostático (esp.) del Agua para Riego. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad Autónoma de Chihuahua. México. p. 1 – 6.
- Pazos R., V. 2005. Diseño de un Sistema de Drenaje Mediante Drenes Abiertos Empleando la Ecuación de Ernst para el Cultivo del Banano. Babahoyo, Ecuador. p. 5 – 29.
- Peña, P. E. 1995. Inyección de Fertilizantes en los Sistemas de Riego. Horticultura Mexicana, Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. A.C., vol. 3, n. 2. México.

Pérez L., J. M. 2011. Manual para Determinar la Calidad del Agua para Riego Agrícola. Trabajo de Experiencia Recepcional. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. p. 3 – 37.

Porta C., J. y López – Acevedo R., M. 2005. Agenda de Campo de Suelos. 1 ed. Mundi Prensa. Madrid, España. p. 267 – 382.

Rodríguez E., O. M. 2004. Drenaje Superficial en Tierras Agrícolas. Monografía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. p.1 – 7.

Salgado S., L. 2010. Apuntes de Estudios de Niveles Freáticos y Piezométricos. Universidad de Concepción. Chile. 48 p.

Samaniego M., L. 2011. Apuntes de Drenaje Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. p. 1.

Soto, M. 1994. El Cultivo del Banano, Producción y Comercialización: Planteamiento de una Empresa Bananera. San José, Costa Rica. p. 165 – 172.

Valverde, E. 1998. Riego y Drenaje. Mimeografiado. EUNED. Costa Rica. 233 p.

ANEXOS

## ANEXO A. ANALISIS DE AGUA

POZO	pH	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Mg (Meq/l)	Ca (Meq/l)	Na (Meq/l)	K (Meq/l)	C03 (Meq/l)	HCO3 (Meq/l)	Cl (Meq/l)	SO4 (Meq/l)
A1	7,28	3310,00	48,00	6,00	17,00	----	2,80	7,00	14,00	47,70
A2	7,02	3390,00	45,60	4,80	17,15	----	2,60	8,00	16,00	50,75
A3										
A4	6,96	4980,00	56,40	6,00	29,74	----	2,50	8,00	15,00	69,23
A5	7,58	4410,00	55,20	6,00	23,58	----	2,90	9,00	15,00	60,73
A6	7,28	3680,00	94,80	1,80	22,58	----	2,80	8,50	9,00	63,40
A7	6,94	3650,00	63,00	3,00	22,50	----	2,60	7,00	12,50	64,98
A8	7,31	4340,00	55,20	4,80	23,10	----	3,00	7,00	17,00	61,62
A9	7,21	6040,00	69,60	7,20	39,15	----	3,10	9,00	28,00	82,87
A10	7,07	3680,00	72,00	2,40	22,60	----	2,20	9,00	11,50	59,70
A11	7,32	3850,00	45,60	4,80	24,90	----	3,40	11,00	14,00	54,08
B1										
B2										
B3	7,36	2310,00	19,20	2,40	8,03	----	3,40	8,00	11,00	32,21
B4	7,01	5490,00	61,20	7,20	40,20	----	3,80	12,00	26,00	73,00
B5										
B6	7,46	4650,00	56,40	6,00	24,00	----	3,40	14,00	23,00	68,71
B7	7,34	4930,00	66,00	6,00	29,65	----	3,50	13,00	24,00	75,77
B8	7,41	5080,00	74,40	9,60	29,80	----	4,10	19,00	16,00	77,04
B9	6,79	3790,00	63,60	3,60	24,85	----	2,40	7,50	12,00	67,51
B10	6,88	5230,00	91,20	4,80	40,02	----	4,80	11,00	19,00	91,02
B11	6,43	3590,00	59,40	3,00	22,31	----	2,40	8,50	12,00	62,17
C1	7,38	2660,00	40,80	7,20	8,94	----	2,40	14,00	10,00	38,48
C2										
C3	7,28	3860,00	63,00	3,00	24,92	----	2,60	8,00	11,00	65,97
C4	6,86	3570,00	67,20	2,40	22,25	----	2,10	8,00	11,50	58,09
C5	7,37	4160,00	33,60	8,40	25,10	----	3,60	18,00	17,00	60,49
C6	7,36	3580,00	67,20	6,00	22,35	----	2,40	14,00	11,00	55,24
C7	7,14	3350,00	66,00	2,40	16,75	----	3,00	8,50	11,50	60,59
C8	7,27	4350,00	63,60	8,40	23,15	----	4,10	20,00	14,00	62,10
C9	7,32	5120,00	63,60	12,00	22,85	----	4,30	21,00	14,00	77,79
C10										
C11										

## ANEXO B. INDICES DE CALIDAD DEL AGUA

POZO	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	SE (Meq/l)	SP (Meq/l)	RAS (Meq/l)	PSP (%)	CSR (Meq/l)	CI (Meq/l)	B (ppm)
A1	3310,00	7,28	61.7	37.85	3.27	27.55	0	14	----
A2	3390,00	7,02	66.75	41.38	3.42	25.69	0	16	----
A3									
A4	4980,00	6,96	84.23	49.61	5.32	35.31	0	15	----
A5	4410,00	7,58	75.73	45.37	4.26	31.13	0	15	----
A6	3680,00	7,28	107.88	40.7	3.25	20.93	0	9	----
A7	3650,00	6,94	77.48	44.99	3.92	29.03	0	12.5	----
A8	4340,00	7,31	78.62	47.81	4.21	29.38	0	17	----
A9	6040,00	7,21	110.87	69.435	6.31	35.31	0	28	----
A10	3680,00	7,07	85.8	41.35	3.71	26.34	0	11.5	----
A11	3850,00	7,32	68.1	41.04	4.96	36.57	0	11.5	----
B1									
B2									
B3	2310,00	7,36	43.21	27.11	2.44	26.62	0	11	----
B4	5490,00	7,01	99	62.5	6.87	40.6	0	26	----
B5									
B6	4650,00	7,46	91.71	57.36	4.30	26.16	0	23	----
B7	4930,00	7,34	99.77	61.88	4.94	29.71	0	24	----
B8	5080,00	7,41	93.04	54.52	4.60	32.03	0	16	----
B9	3790,00	6,79	82.15	45.76	4.29	30.25	0	12	----
B10	5230,00	6,88	120.22	64.51	5.77	33.29	0	19	----
B11	3590,00	6,43	74.17	43.09	3.99	30.08	0	12	----
C1	2660,00	7,38	48.48	29.24	1.82	18.44	0	10	----
C2									
C3	3860,00	7,28	80.32	43.99	4.34	31.03	0	11	----
C4	3570,00	6,86	81.75	40.54	3.77	27.21	0	11.5	----
C5	4160,00	7,37	77.49	47.25	5.48	32.39	0	17	----
C6	3580,00	7,36	79.15	38.62	3.69	28.24	0	11	----
C7	3350,00	7,14	73.65	41.79	2.86	22.74	0	11.5	----
C8	4350,00	7,27	76.1	45.05	3.86	30.42	0	14	----
C9	5120,00	7,32	91.79	52.89	3.72	24.89	0	14	----
C10									
C11									

## ANEXO C. DATOS DE OBSERVACIÓN.

POZO	COTA	PROF. POZO	h tabla de agua	PROF. de N.F.	ISOBATA	ISOHIPSA
A1	531	1,97	0,42	1,55	1,55	529,45
A2	530	2,03	0,22	1,81	1,81	528,19
A3	529	1,86	0,00	1,86	1,86	529,00
A4	528	2,23	0,18	2,05	2,05	525,95
A5	528	1,96	0,24	1,72	1,72	526,28
A6	527	1,98	0,39	1,59	1,59	525,41
A7	527	1,80	0,30	1,50	1,50	525,50
A8	526	1,90	0,48	1,42	1,42	524,58
A9	526	1,72	0,46	1,26	1,26	524,74
A10	525	1,90	0,52	1,38	1,38	523,62
A11	525	2,02	0,59	1,43	1,43	523,57
B1	530	1,93	0,00	1,93	1,93	530,00
B2	529	2,01	0,00	2,01	2,01	529,00
B3	528	1,97	0,28	1,69	1,69	526,31
B4	528	2,02	0,32	1,70	1,70	526,30
B5	528	1,89	0,00	1,89	1,89	528,00
B6	528	1,97	0,50	1,47	1,47	526,53
B7	527	1,98	0,48	1,50	1,50	525,50
B8	527	1,73	0,35	1,38	1,38	525,62
B9	526	2,03	0,71	1,32	1,32	524,68
B10	525	1,88	0,51	1,37	1,37	523,63
B11	524	1,89	0,62	1,27	1,27	522,73
C1	530	1,94	0,47	1,47	1,47	528,53
C2	529	1,97	0,00	1,97	1,97	529,00
C3	528	2,02	0,15	1,87	1,87	526,13
C4	527	1,95	0,23	1,72	1,72	525,28
C5	527	2,01	0,31	1,70	1,70	525,30
C6	527	1,89	0,55	1,34	1,34	525,66
C7	527	2,00	0,45	1,55	1,55	525,45
C8	526	1,98	0,56	1,42	1,42	524,58
C9	526	2,01	0,71	1,30	1,30	524,70
C10	525	1,90	0,67	1,23	1,23	523,77
C11	524	1,89	0,00	1,89	1,89	524,00