

**Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”**

**División de Ingeniería**



**Comportamiento de los niveles freáticos someros en el Distrito de Riego  
029 Xicotencatl Tamaulipas**

**Por:**

**Joel Hipólito Ozuna Ruiz**

**T e s i s**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Noviembre del 2005**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**División de Ingeniería**

**Departamento de Riego y Drenaje**

**Comportamiento de los niveles freáticos someros en el Distrito de Riego  
029 Xicotencatl Tamaulipas**

**POR:**

**Joel Hipólito Ozuna Ruiz**

**Tesis**

**Que somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito  
parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Irrigación.**

**APROBADA**

**EL PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**Dr. JUAN FRANCISCO PISSANI ZUNIGA**

**Sinodal**

**Sinodal**

---

**Dr. JAVIER DE J. CORTES BRACHO**

---

**MC. LUIS SAMANIEGO MORENO**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

---

**Dr. JAVIER DE J. CORTES BRACHO**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila; México a noviembre 2005.**

ii

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS**

Por brindarme la oportunidad de terminar mi carrera con salud al igual que toda la de mi familia, y darle la fuerza suficiente de salir adelante en los momentos en que me encontraba sin ninguna salida ya que tu siempre estuviste en las buenas y en las malas gracias dios por toda la fuerza que me distes para haber culminado con todo esto, así como también el darle la fuerza a mi familia que al igual con migo siempre has estado con ello.

### **A mi “alma mater”**

Gracias por abrirme las puertas para continuar con mi preparación y poder ser alguien en la vida, ya que sin la oportunidad que tú me brindaste no lo hubiera logrado.

**DR. Juan Francisco Pissani Zúñiga**

Por la enseñanza realizada durante mi carrera, así como también la paciencia que me tuvo cunado lleve clases y claro por la participación para la elaboración de esta tesis ya que sin su apoyo incondicional que me ha brindado no habría podido ser posible la culminación de este trabajo, al igual por su cariño y comprensión brindada durante el trabajo y que dios lo mantenga con salud siempre para que siga apoyando a otros compañeros con sus consejos tan sabios para poder ser alguien en esta vida.

iii

**MC. Luís Samaniego Moreno**

Le agradezco por su enseñanza durante la carrera, al igual Cuando necesitaba de su ayuda siempre estuvo ahí para darme la orientación necesaria para realizar las cosas lo mejor posible, así como también por la ayuda en la elaboración de este trabajo ya que sus intervenciones en ello me fueron de gran ayuda para llevara por buen camino el trabajo de tesis realizado, simplemente gracias de ser de esa manera con migo y que dios siempre lo mantenga con salud para seguir con esa labor que desempeña ya que todo lo realizado fue muy valioso para mi y en la culminación de este trabajo.

**Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho**

Gracias por los consejos brindados en el transcurso de la carrera, al igual por su ayuda incondicional brindada durante la elaboración de este trabajo, al igual cuando tenia alguna duda siempre estuvo ahí para aconsejarme al igual por su enseñanza en las materias, las cuales me han servido de mucho para tener una idea mas amplia para poder realizar este trabajo.

iv

## **DEDICATORIA**

**A mis Padres**

**HIPÓLITO OZUNA DOMINGUEZ**

**MA. DEL CARMEN RUIZ VILLAGOMEZ**

Este es un trabajo dedicado principalmente a ellos ya que sin la ayuda de ellos no hubiese sido posible la culminación de este trabajo, ya que siempre estuvieron con migo en las buenas, al igual que en las malas orientándome y señalándome cual era el camino correcto el cual debería seguir para tomar las decisiones mas correctas.

**A mis hermanos**

**Marlene Ozuna Ruiz**

**Porfirio Ozuna Ruiz**

**Alvaro Ismael Ozuna Ruiz**

Gracias a ellos aunque lejos de mí siempre me apoyaron incondicionalmente cunado mas lo necesitaba siempre estuvieron ahí para darme un consejo el cual me fue de mucha utilidad para poder llegar al final de la meta ya que ellos sufrieron junto con migo al cual les agradezco infinitamente por todo eso, demostrándome lo mucho que me estiman y se preocupan por mi por eso mil gracias.

**A mis sobrinos**

**Berenice Gordillo Ozuna**

**German Alexander Gordillo Ozuna**

Ya que ellos me han demostrado lo mucho que se puede hacer cuando se quiere hacer las cosas por las lecciones que a su edad me han dado ya que han sido un gran aliento para mi por su forma de ser con migo por eso gracias

v

**A mis primos**

**Ma. del Socorro Valdez Ruiz**

Principalmente a ella le debo mucho el poder haber podido terminar la carrera ya que fue y será un gran ejemplo para mi ya que me ha demostrado que cuando se quieren hacer las cosas se pueden hacer a pesar de cualquier obstáculo que se nos presente, ya que al igual que todos siempre estuvo apoyándome con sus conocimientos sobre la vida por eso yo te dedico este trabajo por que tu me enseñaste que tan valioso es obtener lo que uno se propone, es por eso que te agradezco infinitamente todo eso y que dios te bendiga siempre.

#### **Darinel Ozuna Santiago (†)**

Gracias por enseñarme y preocuparte por mi par que yo pudiera terminar mi carrera, por que siempre estuviste dándome buenos consejos para seguir adelante y enfrentar los problemas y saber sobrellevar la situación, ya que hasta los últimos días que estuviste con migo te preocupabas de mi, por eso y muchas cosas mas gracias y que dios te tenga en su santa gloria.

#### **Marcos Virgilio Ozuna Santiago**

Por compartir parte de tu vida con migo orientándome sobre las cosas buenas, el cual me fueron de mucha utilidad para poder seguir adelante y poder culminar esta meta que ha sido de gran importancia para mi, por eso muchas gracias

#### **A Mis compañeros de la generación XCVII**

A todo ellos con quienes compartimos cosas buenas como malas pero en especial a Isabel, Marcos, Obdulio, Jezabel ya que con ellos compartí muchas cosas al igual en los consejos brindados por ellos y que siempre estuvieron apoyaron cuando más los necesitaba

vi

## ÍNDICE

	# pagina
INDICE DE FIGURAS -----	xi
INDICE DE CUADROS -----	xiv
1. INTRODUCCIÓN -----	1
2. OBJETIVOS -----	4
3. REVICIÓN DE LITERATURA -----	5
3.1 Origen del problema de drenaje-----	5
3.2 Profundidad óptima del la capa freática para cada cultivo -----	7
3.3 Drenaje de los terrenos con agua de infiltración -----	9
3.4 Sistema de drenaje -----	10
3.4.1 Conductividad hidráulica -----	11
3.4.2 Espacio poroso drenable -----	12
3.5 Clasificación del problema de drenaje-----	13
3.6 Los acuíferos -----	16
3.6.1 Tipos de acuíferos litológicos -----	16
3.6.1.1 Acuíferos de poros -----	17
3.6.1.2 Acuíferos de grietas -----	17

3.6.1.3 Acuífero cárstico -----	18
3.7 Tipos y conceptos hidrodinámicos -----	18
3.7.1 Acuíferos no confinados o acuífero libre -----	18
3.7.2 Acuíferos confinados -----	19
3.7.3 Acuíferos semiconfinados -----	19
3.7.4 Acuíferos artesianos -----	19
3.7.5 Acuíferos colgados -----	19

Vii

	# pagina
3.7.6 Acuíferos de estratos múltiples -----	20
3.8 Efectos de las fluctuaciones del nivel freático -----	21
3.9 Sistemas de manejo del agua -----	25
3.9.1 Precipitaciones -----	26
3.9.2 Inundaciones -----	26
3.9.3 Riegos -----	27
3.9.4 Suelos -----	27
3.9.5 Topografía -----	28
3.9.6 Filtraciones -----	28
4. MATERIALES Y METODOS -----	29
4.1 Reconocimiento del área de estudio -----	29
4.1.1 Localización geográfica -----	29
4.1.2 Características generales del distrito de Riego 029 Xicotencatl Tamaulipas -----	29
4.1.3 Infraestructura hidroagrícola -----	31

4.1.4 Canales drenes y caminos -----	33
4.1.4.1 Drenes -----	34
4.1.4.2 Caminos -----	34
4.1.5 Volumen de agua para uso agrícola -----	34
4.2 Materiales-----	36
4.3 Métodos -----	36
4.3.1 Estudios topográficos -----	36
4.3.2 Planos de niveles freáticos con respecto a la superficie del terreno (isobatas)-----	37
4.3.3 Gráfica de áreas tiempo -----	39
4.3.4 Planos de niveles freáticos con respecto al nivel del mar (isohypsas) -----	41
4.3.5 Planos de mínimos niveles freáticos-----	42
viii	
	# pagina
4.3.6 Trazo de líneas de corriente -----	43
4.3.7 Planos de incrementos -----	43
5. RESULTADOS Y DISCUCIONES -----	45
5.1 Estudio topográfico -----	45
5.2 Localización de los pozos de observación del manto freático -----	45
5.3 Estudios específicos de drenaje-----	48
5.3.1 Estudios del manto freático -----	48
5.3.2 Interpretación de isobatas de los años de 1991,1997 y 2001-----	48

5.3.3 Isobatas 1991-----	48
5.3.4 Isobatas 1997-----	50
5.3.5 Isobatas 2001-----	51
5.4 Gráfica áreas tiempo -----	65
5.5 Determinación de las isohypsas de los años de 1991, 1997 y 2001 -----	68
5.5.1 Isohypsas de 1991 -----	68
5.5.2 Isohypsas de 1997 -----	68
5.5.3 Isohypsas del 2001 -----	69
5.6 Interpretación de los planos de mínimos de los años de 1991, 1997 y 2001 -----	81
5.7 Determinación de los incrementos del manto freático de los años 1991,1997 y 2001-----	85
5.7.1 Incrementos de los años de 1991, 1997,2001 -----	85
5.8 Determinación de los incrementos y decrementos de los años de 1991, 1997 y 2001 -----	97
5.8.1 Incrementos y decrementos 1991 -----	97
5.8.2 Incrementos y decrementos 1997 -----	98
5.8.3 Incrementos y decrementos 2001 -----	98
5.9 Interpretación de los hidrogramas de los años de 1991, 1997 y 2001 -----	108
5.10 Interpretación de los transectos de los años	

de 1991, 1997 y 2001 -----	108
6. CONCLUSIONES -----	116
7. RECOMENDACIONES -----	117
8. BIBLIOGRAFIA CITADA-----	119

Figura 1. Drenaje generalizado del drenaje superficial -----	14
Figura 2. Modelo hidrológico simplificado del drenaje superficial-----	15
Figura 3. Acuíferos de poros -----	17
Figura 4. Acuíferos de grietas -----	17
Figura 5. Acuífero carstico -----	18
Figura 6. Plano topográfico 2002 -----	46
Figura 7. Localización de los pozos de observación del manto freático-----	47
Figura 8. Isobata de abril de 1991-----	53
Figura 9. Isobata de julio de 1991 -----	54
Figura 10. Isobata de agosto de 1991 -----	55
Figura 11. Isobata de septiembre de 1991 -----	56
Figura 12. Isobata de mayo de 1997 -----	57
Figura 13. Isobata de junio de 1997 -----	58
Figura 14. Isobata de julio de 1997-----	59
Figura 15. Isobata de noviembre de 1997-----	60
Figura 16. Isobata de mayo del 2001-----	61
Figura 17. Isobata de Agosto del 2001-----	62
Figura 18 Isobata septiembre del 2001 -----	63
Figura 19. Isobata de octubre del 2001 -----	64
Figura 20. Gráfica áreas tiempo -----	66
Figura 21. Precipitaciones y volúmenes extraídos de agua de la presa para riego -----	67
Figura 22. Isohypsa de julio 1991 -----	70
Figura 23. Isohypsa de agosto 1991-----	71
Figura 24. Isohypsa de septiembre 1991 -----	72
Figura 25. Isohypsa de enero 1997 -----	73

Figura 26. Isohypsas de marzo 1997 -----	74
Figura 27. Isohypsas de junio 1997-----	75
Figura 28. Isohypsas de agosto 1997-----	76

xi

# pagina

Figura 29. Isohypsas de enero 2001 -----	77
Figura 30. Isohypsas de marzo 2001 -----	78
Figura 31. Isohypsas de noviembre 2001-----	79
Figura 32. Isohypsas de diciembre 2001-----	80
Figura 33. Plano de mínimos 1991-----	82
Figura 34. Plano de mínimos 1997-----	83
Figura 35. Plano de mínimo 2001 -----	84
Figura 36. Plano de incremento de julio con base al de mínimos niveles freáticos 1991 -----	86
Figura 37 Plano de incremento de agosto con base al de mínimos niveles freáticos 1991 -----	87
Figura 38. Plano de incremento de septiembre con base al de mínimos niveles freáticos 1991 -----	88
Figura 39. Plano de incremento de enero con base al de mínimos niveles freáticos 1997 -----	89
Figura 40. Plano de incremento de febrero con base al de mínimos niveles freáticos 1997 -----	90
Figura 41. Plano de incremento de mayo con base al de mínimos niveles freáticos 1997 -----	91
Figura 42. Plano de incremento de diciembre con base al de mínimos niveles freáticos 1997 -----	92

Figura 43 Plano de incremento de julio con base al de mínimos niveles freáticos 2001 -----	93
Figura 44. Plano de incremento de mayo con base al de mínimos niveles freáticos 2001 -----	94
Figura 45. Plano de incremento de noviembre con base al de mínimos niveles freáticos 2001 -----	95
Figura 46. Plano de incremento de Febrero con base al de mínimos niveles freáticos 2001 -----	96
Figura 47 Incrementos y decrementos de los meses abril – julio 1991-----	99

xii

	# pagina
Figura 48. Incrementos y decrementos de los meses marzo – agosto 1991 -----	100
Figura 49. Incrementos y decrementos de los meses mayo – septiembre 1991-----	101
Figura 50. Incrementos y decrementos de los meses diciembre – enero 1997 -----	102
Figura 51. Incrementos y decrementos de los meses septiembre – octubre 1997 -----	103
Figura 52. Incrementos y decrementos de los meses mayo - junio 1997-----	104
Figura 53 Incrementos y decrementos de los meses febrero – septiembre 2001 -----	105
Figura 54. Incrementos y decrementos de los meses enero – agosto 2001 -----	106

Figura 55. Incrementos y decrementos de los meses octubre – septiembre 2001-----	107
Figura 56. Hidrograma del pozo # 80 de Julio 1991 -----	110
Figura 57 Transectos de los pozos # 35, 49, 61, 72 ,83 de Julio 1991-----	111
Figura 58. Hidrograma del pozo # 80 de Julio de 1997 -----	112
Figura 59. Transectos de los pozos # 35, 49, 61, 72, 83 de Julio 1997-----	113
Figura 60. Hidrograma del pozos # 80 de septiembre 2001 -----	114
Figura 61. Transectos de los pozos # 35, 49, 61, 72, 83 de Julio 2001-----	115

Xiii

## ÍNDICE DE CUADROS

	# pagina
Cuadro 1. Características de los acuíferos -----	20
Cuadro 2. Profundidad límite del nivel freático -----	24
Cuadro 3. Características de las presas-----	32

Cuadro 4. Características de las presas derivadoras -----	33
Cuadro 5. Superficies y volúmenes programados y realizados a nivel distrito de los años agrícolas (1991-2002) -----	35
Cuadro 6 Superficies afectadas por niveles freáticos, de los años del 1991, 1997 y 2001 del periodo comprendido (1991 – 2002)-----	52

México tiene una superficie de riego de 6 millones de hectáreas, de estas 3.2 millones están distribuidas en 78 distritos de riego y 2.8 millones de Unidades de Riego para el Desarrollo Rural (URDERAL).

La distribución del agua para el riego en México se realiza con bajas eficiencias de conducción a niveles de red mayor de canales y parcelario. Los altos costos de la conservación, mantenimiento de las redes de distribución, drenajes y estructuras de control y medición, las bajas cotas de cobro por el servicio de riego no son suficientes para cubrir estos costos lo cual ocasionado que esta se difiera, agudizándose con esta la problemática existente, en cuanto a grandes pérdidas de volumen de conducción, incremento de la superficie afectada por altos niveles freáticos y salinidad.

En México el 50 por ciento de la superficie de riego se encuentra en tres estados, del norte del país, Sinaloa con 21 por ciento, Sonora con 17 por ciento Tamaulipas con 12 por ciento.

En el estado de Tamaulipas, la superficie regable del estado es de 620.618 hectáreas, de estas 498.022 hectáreas pertenecen a siete Distritos de Riego, transferidos a los usuarios organizados en 30 módulos de riego para

llevar a cabo la operación conservación, mantenimiento y administración y 122,596 hectáreas distribuidas en 809 URDERAL. El volumen bruto medio utilizado para el riego es de 2,011.459 millones de m<sup>3</sup>.

En el estado de Tamaulipas predomina el cultivo del sorgo en el norte del estado, maíz en el centro y en el sur destaca la caña de azúcar, el arroz, maíz y hortalizas. Los Distritos de Riego en Tamaulipas presentan problemas similares a otro Distrito del país, existe, una superficie afectada con niveles freáticos de 0 a 1.5 metros de 125,494 hectáreas, que representa el 25 por ciento de la superficie total de riego y una superficie afectada por diferentes grados de salinidad en 74,373 hectáreas que representa el 14.9 por ciento de la superficie total de riego.

El distrito de Riego 029 Xicoténcatl, se encuentra transferido a los productores a través de dos módulos de Riego, el modulo I por la Asociación Civil de Usuarios de Xicoténcatl Río Frío con una superficie de 14,007 hectáreas y el módulo II por la Asociación Civil de Usuarios de San Lorenzo con una superficie de 10,600 hectáreas. En las zonas de Riego de los módulos I y II uno de los aspectos de mayor importancia por su repercusión en la productividad son los niveles freáticos someros, el ensalitramiento de los suelos, agrícolas, su manejo durante la preparación, establecimiento y

desarrollo de los cultivos, una baja eficiencia en el manejo y conservación del agua a nivel parcelario, así como un deficiente mantenimiento de la infraestructura hidroagrícola.

En el presente trabajo se pretende determinar las causas del porque se originan los problemas de manto freático someros, para lo cual se capturo, y analizo el comportamiento del manto freático por un periodo de 12 años (1991 - 2001), así como de las precipitaciones y de los volúmenes de agua extraídos de las presas para el riego de los cultivos, del distrito de Riego 029 Xicotencatl.

Lo anterior determina la importancia que representa el estudio y análisis del problema de los mantos freáticos someros, como una necesidad de encontrar una solución adecuada para la prevención y/o rehabilitación de las áreas con problemas de drenaje subsuperficial en el Distrito de Riego 029 Xicotencatl

## 2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo lo siguiente

- Analizar el comportamiento del manto freático somero del periodo comprendido entre los años de 1991 al 2002 del Distrito de Riego 029 Xicotencatl Tamaulipas
- Estudiar las causas y los factores que originan los problemas de drenaje superficial
- Plantear las recomendaciones pertinentes para las condiciones del drenaje del Distrito de Riego 029 Xicotencatl Tamaulipas

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### *3.1 Origen del problema de drenaje*

Wither y Vipond (1978) Menciona que para controlar el nivel freático el agua freática se retira del suelo mediante un sistema de zanjas abiertas regularmente espaciados o con drenes de tuberías permeables, en el terreno. En un terreno plano el nivel freático se encontrara mas alto en su punto medio entre drenes. La profundidad y el espaciamiento de los drenes depende de la permeabilidad del suelo, el índice de suministro de agua drenable y del grado de protección que se requiere, medido por la profundidad mínima aceptable hasta el nivel freático o el índice medio aceptable de caída, después de un flujo repentino de entrada. La profundidad y el espaciamiento se puede modificar juntos para obtener un grado dado de protección; cuando mayor sea la profundidad del dren, tanto mayor podrá ser el espaciamiento. La profundidad de los drenes esta limitada por el costo, la capacidad de las maquinas de drenaje y las características hidráulicas del sistema de eliminación. Con frecuencia, los suelos en fisuras, al interior de la arcilla y cualquier nivel freático detectado puede ser puramente local y encicada o colgada.

En las zonas áridas y semiáridas, los drenajes desalojan las aguas de lavado con altos contenidos de sales y evitan el ensalitramiento de los suelos. En las zonas tropicales desalojan los excesos de aguas producidas por las abundantes lluvias y por desbordamientos de arroyos y ríos. En un régimen regularizado de humedad del suelo, el drenaje forma parte fundamental, sin embargo no todos los problemas de drenaje se resuelven con la construcción de drenaje en ocasiones la solución requiere de otra vía. Los problemas de empantanamiento se producen por encharcamiento y saturación de la capa arable, el cual se soluciona con una red de canales de desagüe cuando se produce por subinundación debida a altos niveles freáticos, ya sea por una alimentación de agua del subsuelo mayor que la capacidad de drenaje natural del suelo debida a lluvias intensas en las cercanías o dentro de la zona de estudio corrientes naturales que invaden dicha zona, filtraciones de los canales de riego, altos niveles en los drenajes colectores por mala conservación y topografía desfavorable, baja permeabilidad de los suelos, altos niveles piezométricos de mantos confinados. No siempre será la construcción de drenes, en ocasiones con reducir el flujo de la fuente de abastecimiento o eliminar un obstáculo en la salida del agua del subsuelo se remedia esta situación razón por la cual requiere de un estudio permita analizar las causas que ocasionan los problemas de empantanamiento, los cuales requieren seguir una metodología, como es la de detectar y caracterizar el problema, analizar las causas o factores del mismo, jerarquizar los factores, proyectar y

realizar las medidas correctivas y evaluar periódicamente los resultados logrados para realizar su ajuste. Palacios (1979)

Para detectar y caracterizar el problema, por lo general se utiliza entre otras cosas los datos de estudio freaticos los cuales se obtienen mediante la instalación de una red de 153 pozos de observación de tres a cuatro metros de profundidad y de cinco a diez centímetros (cm) de diámetro, haciendo observaciones cuando menos en forma mensual, en forma simultánea y en el menor tiempo posible, palacios (1979).

Luthin (1967) menciona que la aplicación excesiva de 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 superficiales traen consigo existencia de ciertas percolaciones de agua aplicada, debajo de la zona radicular de las plantas.

### 3.2 Profundidad óptima de la capa freática para cada cultivo

La profundidad óptima de la capa freática es un dato fundamental para el proyecto de una instalación de drenaje ya que en función de él se calcula la profundidad de los drenes o zanjas, su espaciamiento, diámetro o sección y otras características. Aquí aparece ya una de las primeras dificultades al tratar de definir la profundidad óptima. Pizarro (1978)

Según Rojas (1984) los problemas de drenaje agrícola se dividen a su vez, naturalmente en tres clases principales según el cuál pueden ser considerados un drenaje eficaz.

Clase I problemas puramente de drenaje superficial, comprendiendo sólo la evacuación rápida del agua superficial.

Clase II Problemas combinados de drenaje superficial y subterráneo comprendiendo a la vez la eliminación del agua superficial y la reducción de la humedad excesiva en el propio suelo dentro de la zona de las raíces de las cosechas.

Clase III problemas de drenaje puramente subterráneo comprendiendo sólo la reducción de la humedad excesiva en el propio suelo.

Las tres clases deben referirse generalmente a dos estados del agua en el terreno:

- 1) Aguas completamente estancadas o aguas con movimiento inapreciable tanto sobre la superficie como a través del suelo sin la ayuda artificial.
- 2) Aguas que se mueven sobre amplias áreas ya sea sobre la superficie, ya sea a través del suelo, o ambas maneras a la vez.

### *3.3 Drenaje de los terrenos con aguas de infiltración*

Según Roe H. B (1960) las superficies planas y casi planas están sujetas a agua estancada, debido a:

- 1) Superficie desigual del suelo con bolsones o crestas que impiden o retrasan el escurrimiento natural. (los suelos lentamente permeables aumentan el problema)
- 2) Canales o zanjas evacuadoras de baja capacidad dentro de la zona que eliminan el agua muy lentamente que el alto nivel del caudal de los canales hace que haya encharcamiento en las tierras durante periodos capaces de causar daños.
- 3) Condiciones de desagües que mantienen la superficie del agua por encima del los niveles del suelo, tales como alturas elevadas de agua en lagos y estanques, o elevaciones del agua debidas a las mareas.

Las fuentes del agua superficial son las lluvias o la fusión de las nieves en el propio lugar, el riego superficial excesivo, el escurrimiento de las filtraciones de la tierra contiguas más altas, o el derrame de los causes de corrientes de agua. Los métodos para el drenaje de superficie, tales como la nivelación o aplanado y zanjas de campo, se emplean en los campos para que recojan y lleven el agua superficial hasta canales naturales o sistemas

artificiales de evacuación. Los problemas de drenaje del subsuelo dimanar de diversas causas. Las tierras planas tienden a estar deficientemente drenadas, en particular cuando la permeabilidad del subsuelo es baja, sin embargo hay muchas extensiones de tierras anegadas en las que no existen ninguna relación manifiesta entre la superficie de filtración o un alto nivel de aguas freáticas, y la topografía del lugar. Los altos niveles de la capa freática pueden darse en lugares con permeabilidad rápida o lenta del suelo de clima húmedo o árido, y en tierras planas o en pendientes. Rojas H. B (1960)

### 3.4 Sistemas de drenaje

International Institute for Land Reclamation (ILRD) (1978) menciona que un sistema de drenaje agrícola, es que recibe el exceso de agua directamente de la parcela y lo conduce al sistema de drenaje principal debe proporcionar una salida libre y segura para los drenes de las parcelas. En un sistema de drenaje subsuperficial pueden distinguirse tres categorías de drenes: laterales, colectores y drenes principales. Los laterales denominados también drenes a nivel parcelario, drenes de la finca drenes de succión, sirven principalmente para evitar las fluctuaciones de la capa freática, aunque también puedan recoger el escurrimiento superficial. El agua de los colectores que fluye conduce el agua al sistema principal de drenaje a través del cual es conducido a la salida del área. En el sistema de drenaje a través del cual es conducida a la salida del área en el sistema de drenaje agrícola, puede consistir de uno o varios tipos de drenes; áreas abiertas o zanjas; drenes topo que son conductores subterráneos no revestidos; drenes enterrados, los cuales consisten en tubos de arcilla, hormigón o plásticos a cierta profundidad del suelo.

#### 3.4.1 Conductividad hidráulica

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) (1978) menciona que la conductividad hidráulica es probablemente la característica de los suelos más importantes y difíciles de estimar adecuadamente. Son

múltiples los problemas que no pueden ser resueltos satisfactoriamente si no se cuenta con este dato, en las cuestiones referidas a la de ingeniería de riego y drenaje de las tierras, especialmente como parámetros importantes para el cálculo de la separación entre los drenes. Señala que han sido objeto de confusión los términos permeabilidad y conductividad hidráulica (K). La permeabilidad se refiere a la porosidad de los suelos y otros medios porosos de permitir el paso del agua su uso es generalmente en sentido cualitativo. La conductividad hidráulica es la velocidad de filtración que se presenta en un medio saturado, cuando el gradiente de energía es igual a la unidad, mientras que la permeabilidad es una propiedad que varía exclusivamente con el medio, la conductividad hidráulica depende tanto de las características del suelo como del fluido. Dentro de las características del medio en este caso el suelo, se tiene el área porosa, la distribución del tamaño de los poros y la sinuosidad; características del fluido que afectan la conductividad es la densidad y la viscosidad del mismo, es decir varía en función de la salinidad y temperatura del suelo.

Milanovic (1981) menciona que la porosidad primaria es de origen sin génico, es decir formada en algún tiempo como la deposición de sedimentos, este tipo de porosidad cárstica no es muy común, ocurre en mayor cantidad en acuíferos cársticos en la región de Miami Florida en Estados Unidos de Norteamérica su profundidad llega a los 33 metros. Este tipo también ocurre en la península de Yucatán en México las elevaciones cársticas está formada en 40 metros de espesor de calizas de edad terciaria. Acuífero cárstico con

porosidad primaria significa están asociados con arrecifes de calizas recientes. La porosidad secundaria consiste de uniones de cavernas, canales cársticos y cavernas de sedimentos, este tipo de porosidad es mucho más representativa en las series cársticas que la porosidad primaria.

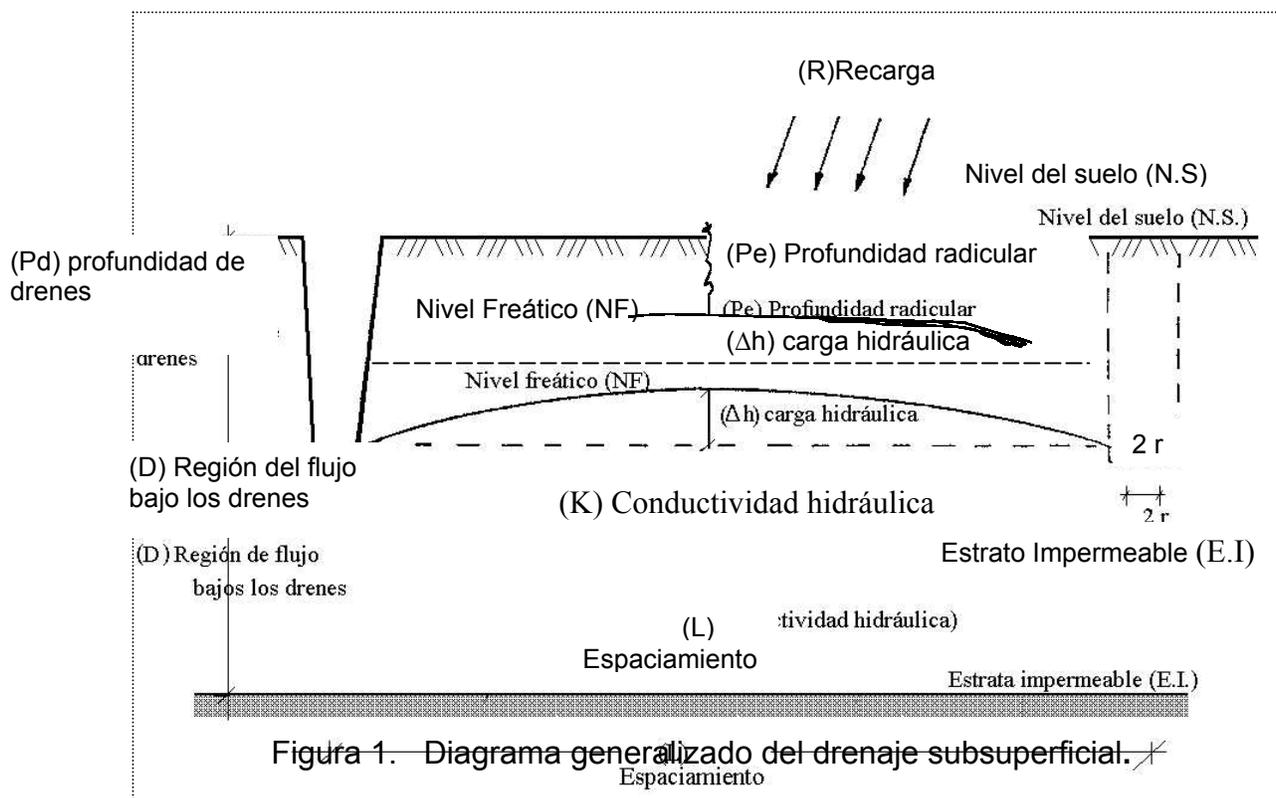
### 3.4.2 Espacio poroso drenable

Gupta (1993) menciona que el espacio poroso drenable es tratado comúnmente como una constante aunque varía con la profundidad del nivel freático conocido. Haciendo estimaciones de campo apropiadas de este parámetro, la ecuación de Glover y Dumm fue integrada para desarrollar fórmulas que podrán tomar en cuenta cálculos del espacio poroso drenable utilizando en campo mediciones de carga hidráulica y descarga de drenaje. Los datos analizados revelan que el espacio poroso drenable en una estación aumentó linealmente con aumentos de profundidad hasta que el nivel freático fue bajando. En la otra estación el espacio poroso drenable no varió con mediciones de cargas hidráulicas. Los resultados de la prueba en la primera estación revelan un mejor juego con datos obtenidos de las observaciones que con aumentos constantes del espacio poroso drenable.

### 3.5 Clasificación del problema de drenaje.

Roja (1984) menciona que según la localización de los excesos de agua, el problema de drenaje se clasifica en subsuperficial y superficial. En el caso del

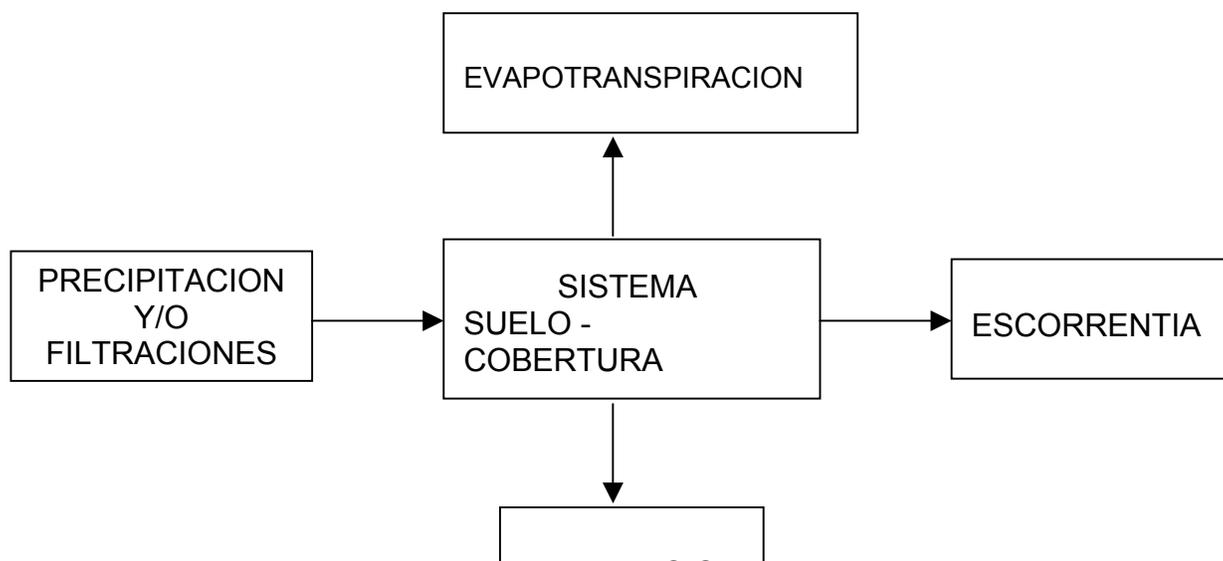
drenaje subsuperficial, el problema se produce por un exceso de agua en el interior del suelo, debido a la presencia de una napa freática, permanente o fluctuante, a una profundidad tal que restringe el desarrollo radicular. Se llama "napa freática", a la superficie de agua presente en el suelo, la cual marca el límite entre el suelo saturado y el suelo no saturado. Generalmente, la napa freática se ubica sobre una estrato impermeable, la cual impide el movimiento vertical del agua, produciendo la condición de suelo saturado. En la Figura 1 se presenta un diagrama generalizado de un sistema de drenaje subsuperficial.



Fuente Rojas, Rafael. 1984. Drenaje Superficial en Tierras Agrícolas. Serie Riego y Drenaje. CIDIAT. Venezuela. 96 p.

En cambio, 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. 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 rendimiento y/o sobrevivencia. Rojas (1984)

El modelo hidrológico considera un área independiente sin aportes externos y en tal caso las “entradas” se reducen sólo a la precipitación sobre el área, la cual es afectada por el sistema suelo-cobertura que regula las “salidas” que son la evapotranspiración, infiltración y escorrentía. Conociendo el comportamiento de la precipitación, la variación de la evaporación e infiltración y el efecto regulador del sistema suelo-cobertura, puede determinarse la escorrentía, la cual constituye la información básica para el cálculo de la red de drenaje.



### Figura 2. Modelo hidrológico simplificado del drenaje superficial.

Fuente Rojas, Rafael. 1984. Drenaje Superficial en Tierras Agrícolas. Serie Riego y Drenaje. CIDIAT. Venezuela. 96 p.

## 3.6 los acuíferos

Davis (1971) menciona que solamente una reducida minoría de zonas freáticas puede suministrar caudales significativos de agua a los pozos que le atraviesan. Las zonas que poseen agua se llaman acuíferos. Una roca que ni almacena ni trasmite se llama acuífugo término que contrasta, pues con el de acuífero, que se refiere a las formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua a los pozos gracias a los espacios porosos que existen en su interior, y con el de acuicludo, que se refiere a las formaciones geológicas que solamente alcanzan el agua, pero no la transmiten en cantidades significativas para describir las formaciones geológicas que, aunque almacenan agua y la transmiten por sí misma instantáneamente a los pozos.

Los acuíferos pueden estar constituidos por depósitos sedimentarios no consolidados, por rocas masivas plutónicas masivas fracturadas, por estratos

de areniscas porosas, por bancos de calizas carstificadas y por otros muchos contextos geológicos diferentes. Davis (1971)

### 3.6.1 Tipos de acuíferos litológicos

Werner (1996) señala que los principales tipos de acuíferos son:

#### 3.6.1.1 Acuífero de poros

En su mayor parte se trata de sedimentos sueltos de gravas y arenas, donde al agua se mueve en los poros (intersticios del medio) Figura 3

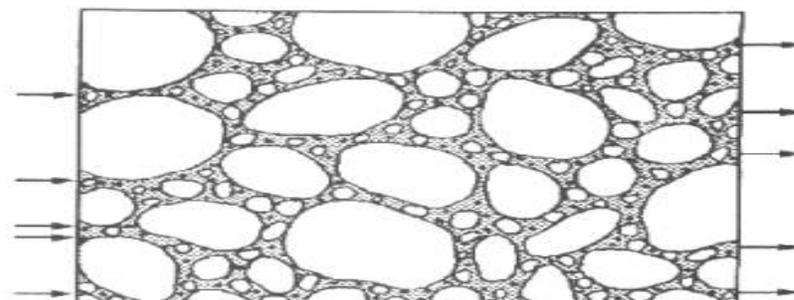


Figura 3 Acuífero de Poros.

Fuente Warner, J. 1996 Introducción a la hidrogeología. Facultad de Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Nuevo León. México p.174

#### 3.6.1.2 Acuífero de grietas

Rocas consolidadas como areniscas, calizas no carstificadas, basaltos, granitos u otras rocas extrusivas e intrusivas, gneisses (Figura 4). El agua en



este tipo de acuífero se mueve en las fracturas abiertas de origen tectónico o de intemperismo. El contenido de poros generalmente es despreciable.

Figura 4 Acuífero de grietas.

Fuente Warner, J. 1996 Introducción a la hidrogeología. Facultad de Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Nuevo León. México p.174

### 3.7.1.3 Acuífero cárstico

Rocas carstificadas (calizas, dolomías, yeso), el agua se mueve en los huecos cársticos de diámetros muy variables (canales y cavernas). El contenido de poros es despreciable (Figura 5).

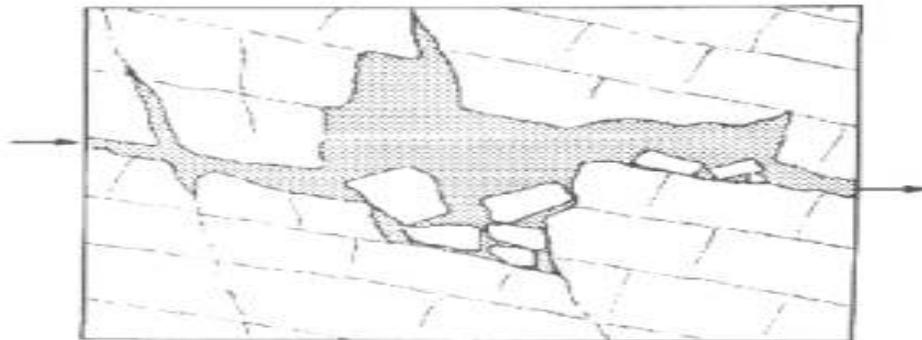


Figura 5. Acuífero cárstico.

Fuente Warner, J. 1996 Introducción a la hidrogeología. Facultad de Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Nuevo León. México p.174

## 3.7 Tipos y conceptos hidrodinámicos

Según Warner j. (1996) un acuífero normalmente está delimitado hacia abajo por un sustrato de baja permeabilidad. En muchos casos existen también límites laterales (capas de baja permeabilidad adyacentes en posición tectónica más o menos vertical). Por sus límites superiores los acuíferos son clasificados en dos tipos hidrodinámicos principales:

#### 3.7.1 Acuíferos no confinados o acuíferos libres

Donde el nivel freático es el límite superior, se trata de un límite hidrodinámico, que debido a las variaciones temporales del nivel no se mantiene constante.

#### 3.7.2 Acuíferos confinados

Con techo confinante formado por capas de baja permeabilidad. Cuando un pozo ha atravesado la capa confinante y alcanza el acuífero confinado, el agua sube en el pozo hasta alcanzar el nivel de presión del acuífero confinado.

Otros conceptos relacionados con los límites superiores de los acuíferos son:

#### 3.7.3 Acuíferos semiconfinados

Representan un tipo hidrodinámico de transición. Están confinados por capas semipermeables.

#### 3.7.4 Acuíferos artesianos

Nombre derivado de la provincia de Artois, Francia. El mismo acuífero puede estar conformado por una zona no confinada con nivel freático libre y una zona confinada. Las perforaciones que alcanzan al acuífero en esta zona se convierten en pozos artesianos o surgentes, de los cuales el agua subterránea brota libremente.

### 3.7.5 Acuíferos colgados

Son acuíferos libres de menor importancia, colocados sobre un acuífero principal no confinado, de modo que se encuentra en la zona no saturada de este último.

### 3.7.6 Acuíferos de estratos múltiples.

Los complejos de estratos múltiples consisten en varios acuíferos individuales, más o menos bien separados por capas de permeabilidad baja y de espesor pequeño. Paquetes de este tipo pueden ser considerados como un acuífero de alta anisotropía vertical. Así un acuífero de estratos múltiples es un complejo de capas de permeabilidad elevada (por ejemplo calizas o areniscas) separados por capas de permeabilidad baja y de pequeño espesor (por ejemplo lutitas o pizarras).

Cuadro 1. Caracterización de los acuíferos

Capa superior	Tipo de acuífero
---------------	------------------

Impermeable (acuicierre)	Confinado
Semipermeable (Acuitardo) en que se puede Ignorarse la componente horizontal del flujo	Semiconfinado
Semipermeable (acuitardo). Menos permeable Que la parte principal del acuífero, en que hay Que tomar en cuenta la componente horizontal del flujo	Semilibre
Igual que la parte principal del acuífero	Libre

Fuente: Warner, J. 1996 Introducción a la hidrogeología. Facultad de Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Nuevo León. México

Castany (1971), menciona que la superficie piezométrica de las capas acuíferas presentan fluctuaciones del nivel en función del tiempo podemos distinguir variaciones naturales y artificiales. Las variaciones naturales, debidas a factores meteorológicos, hidrológicos o geológicos, presentan un carácter cíclico o accidentado. Las oscilaciones cíclicas pueden ser estacionales o seculares, o bien de corta duración, y pueden deberse a las precipitaciones, la evapotranspiración la presión atmosférica, las mareas oceánicas, las mareas terrestres y los cambios en el nivel de base. El nivel más importante es el constituido por las precipitaciones este mismo factor junto con la evapotraspiración intervienen también en las fluctuaciones cíclicas estacionales, e incluso en las seculares. Las fluctuaciones artificiales son provocadas por las acciones del hombre, entre ellos, los más importantes son: Las modificaciones del nivel de base de las superficies del agua libre (en particular a causa de las presas de los embalses), y por explotación intensiva e irracional de los mantos.

### 3.8 Efectos de las fluctuaciones del nivel freático

Thorne y Peterson (1977), menciona que la altura de los niveles freáticos en las zonas áridas están relacionadas muy estrechamente con las condiciones salinas y alcalinas del suelo y que si existe un nivel freático formado por agua salada a una profundidad no mayor de 1.8 metros. La sal se puede acumular rápidamente en la superficie, especialmente si no tiene vegetación y su textura es más ligera que la de la arcilla. Si en condiciones semejantes. El agua salada se encuentra a 90 centímetros o menos de la superficie y el suelo es tal que la elevación capilar sería rápida, la acumulación de sales también sería rápida. Por otra parte una capa freática elevada puede ser perjudicial o benéfica para la producción de cosechas parece ser que existe un nivel óptimo de la capa freática para cada cultivo en particular, bajo ciertas condiciones dadas, aunque bajo condiciones de campo este nivel tienda a ser excedido fácilmente como resultado de las lluvias de la temporada de crecimiento. Sin embargo la profundidad del nivel freático más favorable depende del tipo de cultivo y de suelo. Así mismo, esta profundidad varía de un año a otro en relación con la evapotranspiración potencial y con la precipitación pluvial.

La superficie con problemas de ensalitramiento de los suelos y la presencia de un amanto somero alcanza una superficie de 413,411 hectáreas (ha) que se encuentran distribuidas principalmente en los distritos de riego del

norte y noroeste. Donde la región administrativa III, Pacífico Norte es la que tiene la mayor superficie con 110 mil hectáreas afectadas le sigue en importancia la región Administrativa VI, Río Bravo con 105 mil hectáreas y posteriormente las regiones II, Noroeste y la I de Baja California con 70 mil hectáreas y 40 mil hectáreas respectivamente. El problema del ensalitramiento o incremento en el nivel del mato freático es debido principalmente a los sistemas de riego utilizados, ya que actualmente un 90% del riego es por gravedad aunado a la baja precipitación, exceso de evaporación y los contenidos de sales en el agua de riego. En las zonas áridas y semi-áridas de México e nivel parcelario se utiliza el drenaje subterráneo horizontal entubado (sin trincheras o con trincheras rellenas con material de excavación) a cielo abierto o drenaje vertical. Manual Comisión Nacional del agua (C.N.A) (1998)

La (C.N.A) (1998) menciona que el objetivo principal de estos tipos de drenaje es:

- Abatir el nivel freático hasta una profundidad no menor de 1.0 metro (mts) en los terrenos de riego continuo durante todo el año y no menor de 1.4 metros en los terrenos con uno o dos cultivos anuales.
- Prevenir y combatir la inundación

Arita (1977) menciona que la producción adecuada de cosechas y las conservaciones y mejoramiento de la fertilidad del suelo en las zonas regadas requiere de mantener las capas de agua a profundidades iguales a mayores de 1.80 metros, en muchos casos, incluso donde se han instalado redes de drenes mayor de 0.9 metros, lo que constituye un grave inconveniente para la producción agrícola. En relación a las normas de drenaje señala que este término se refiere a las profundidades mínimas permisibles del manto freático (cuando las aguas subterráneas son dulces) para diferentes etapas del desarrollo de los cultivos y que se obtienen a partir de los regímenes de las aguas freáticas de diferentes subzonas y por comparación con ciertas especificaciones, es posible determinar la necesidad de drenaje.

Israelsen y Hansen (1965) muestran en un resumen de las profundidades límite del nivel freático (cuadro 2) aprobada por las autoridades de riego y también por compañías privadas interesadas en préstamos a largo plazo par mejoramiento de los terrenos de riego:

Cuadro 2 profundidades límites del nivel freático

Clasificación	Clasificación de las profundidades del nivel freático
Buena	Nivel freático estable por debajo de las 2.1 metros alcanzando los 1.8 metros durante un periodo de unos 30 días al año
Aceptable	Nivel freático a 1.8 metros que se eleva hasta 1.2 m. durante 30 días al año. no se producen elevaciones en general
Deficiente	Algo de álcali en la superficie. Nivel freático estable a

	1.2 – 1.8 metros durante 30 días al año.
Mala	Nivel freático a menos de 1.2 metros y ascendente. Los drenes naturales y artificiales están demasiados distantes entre si y desaguan mal.

Fuente: Israelsen Orson, W. Ph.D. y Hanse Vaughne, Ph. D. 1965 Principios y aplicaciones del Riego. Editorial Reverte S.A. Barcelona pp. 2 -3

Luthin (1983) menciona que en todos los registros disponibles sobre las fluctuaciones de la capa freática en la región deben ser analizados. Si las gráficas de la capa freática de los hidrógrafos se hacen coincidir con las de precipitación, riego, escurrimiento, bombeo y de otros fenómenos hidráulicos. se pueden entonces encontrar un indicativo relativo a la causa de la elevación o descenso de la capa freática.

De la Peña (1978) menciona que el estudio de los mantos freáticos comprende el aspecto más importante para conocer la naturaleza y magnitud de los problemas de drenaje, ya que a través de dicho estudio se obtiene gran parte de la información necesaria par estimar sus condiciones. Define el drenaje agrícola como el conjunto de acciones realizadas por el hombre con el fin de eliminar los excedentes de humedad del suelo donde se verifica el desarrollo radical de las plantas. Su objetivo es retirar el exceso de agua a fin de mantener la aireación y la actividad biológica, que son indispensables en los procesos fisiológicos de los cultivos; así como también la remoción y la lixiviación (lavado de sales hacia el subsuelo) de altos contenidos de sal. Indica que el primero drena los escurrimientos superficiales y el segundo todos los excesos de humedad subsuperficial

### 3.9 Sistemas de manejo del agua

García y Strzepek (1994) describen un nuevo método para diseñar un sistema de riego y drenaje a pequeña escala en zonas áridas de riego. Este método permite que este diseño de drenaje pueda ajustarse a los calendarios de riego para solucionar los problemas de inundación y salinidad. Una combinación de sistema de riego y drenaje, pueden ser muy complejas, para entender la ejecución de este gran término, el sistema combinado deberá ser a través de un modelo. En un análisis sobre la economía y métodos de reducción de drenaje a través de riegos imprevistos, mencionan que la uniformidad del agua aplicada y sobre riego causan excesivo de drenaje subsuperficial, de tal modo que las opciones disponibles para uniformizar la aplicación y la eficiencia incluyen, improvisar el manejo del agua de riego a partir de sistemas de riego ya existente (horario de riego, tiempo de aplicación del agua de riego) mejoramiento del sistema de riego superficial ya existentes convertir en sistemas de riego a presión (aplicación de sistemas de baja energía LEPA, riego por goteo).

Las opciones para el aprovechamiento del agua por surco consideran que reducir la longitud del campo en 50 por ciento y los tiempos de riego por lo menos el 50 por ciento se puede reducir el drenaje subsuperficial por abajo del 50 por ciento, en particular para campos con longitudes de menos de 400 metros de largo. Hanson y Fulton (1994)

Mourgues, M. (1996). Menciona que el exceso de agua sobre el suelo o en el interior del mismo, puede ser ocasionado principalmente por la conjunción de uno o más de los siguientes factores: precipitaciones, inundaciones, riegos, suelo, topografía y filtraciones.

#### 3.9.1 Precipitaciones.

La acción de la precipitación se manifiesta fundamentalmente en las zonas húmedas. En estas zonas, la precipitación excede a la evaporación y, en consecuencia, hay períodos de exceso de humedad, durante los cuales el suelo se encuentra saturado, y al ocurrir nuevas lluvias, el agua no puede ser

absorbida, aumentando el escurrimiento y produciendo acumulación en los terrenos ubicados en posición más baja.

### 3.9.2 Inundaciones.

Las inundaciones son una causa frecuente de problemas de drenaje, particularmente en los terrenos adyacentes a los ríos y esteros. Lluvias de alta intensidad en la parte alta de las hoyas hidrográficas, crean un aumento considerable del caudal de los ríos, los cuales al no ser contenidos en el cauce normal, se desbordan provocando problemas de drenaje a lo largo del plano de inundación ("vegas"). La alta precipitación en sí misma, sin embargo, no es la única causante. El mal mantenimiento del cauce de los ríos y esteros, puede ser en muchas ocasiones el factor determinante en su desbordamiento.

### 3.9.3 Riegos.

El uso de prácticas inapropiadas tales como: riego tendido, riego nocturno, tiempos excesivos y volúmenes incontrolables, provocan pérdidas excesivas por escurrimiento superficial y por percolación profunda. El primero se acumula en las depresiones del terreno, y el segundo contribuye a una rápida elevación de la napa freática.

### 3.9.4 Suelos.

Las características de textura, estructura y de estratificación, son determinantes en la formación de problemas de mal drenaje. Los casos más importantes al respecto son los siguientes:

- a) Suelos de texturas finas (arcillosas), y de estructura masiva en el estrato superficial, tienen una baja velocidad de infiltración.

- b) Ocurrencia de depósitos de limo en la superficie de los suelos, formando costras que impiden la infiltración.
- c) Suelos estratificados, particularmente aquellos que se encuentran en planos depositacionales de ríos ("vegas") o de cenizas volcánicas, presentan estratos que se comportan como impermeables e impiden el movimiento vertical del agua.

### 3.9.5 Topografía.

Se distinguen tres casos característicos, en que la topografía es causante del problema de drenaje.

- a) Topografías muy planas ( $< 0,5\%$ ), que impiden el libre escurrimiento de las aguas y con frecuencia causan acumulación superficial. Este efecto se agrava con la existencia de microrelieve con pequeñas o medianas depresiones.
- b) Suelos de lomaje, de topografía ondulada, tienen un alto escurrimiento superficial y los excesos se acumulan en las depresiones. Si éstas no poseen una adecuada salida natural, se presentan severos problemas localizados.
- c) Microrelieve con depresiones pequeñas y medianas, que dificultan el movimiento superficial del agua.

### 3.9.6 Filtraciones.

La red extra e intrapredial de canales de riego, construidos casi en su totalidad directamente en tierra, presentan filtraciones laterales de mayor o menor

grado, que van a abastecer la napa freática, o afloran a la superficie en sectores de posición más baja.

## 4. MATERIALES Y METODOS

### 4.1 Reconocimiento del Área de Estudio

#### 4.1.1 Localización geográfica

El distrito de Riego 029 Xicotencatl, se creó mediante el decreto presidencial de fecha 01 de abril de 1942, y dio inicio sus operaciones el 5 de junio de 1946,<sup>o</sup> enclavado en la zona sur del estado de Tamaulipas, se caracteriza por ser un área en donde predomina en importancia el cultivo de la caña de azúcar, sorgo, maíz, hortalizas y pastos teniendo una importancia económica vital para el desarrollo de los municipios de Xicotencatl y Gómez Farías, Tamaulipas, se localiza en los dos márgenes del Río Guayalejo y margen izquierdo del Río Frío, coordenadas geográficas de 22° 59' 30" latitud norte y 98° 56' 30" de longitud oeste, la altura es de 90 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) Y su topografía es relativamente plana.

#### 4.1.2 Características generales del Distrito de Riego 029 Xicotencatl

##### Tamaulipas

El estado de Tamaulipas cuenta con una capacidad de almacenamiento de 7, 438.28 millones de m<sup>3</sup>. Existe 18 presas importantes de almacenamiento y derivación, e inciden en la operación del estado de las presas internacionales "La Amistad" y "Falcón", las cuales se rigen por la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), y la presa el "Cuchillo" localizada en el estado de Nuevo León (Mora, 1995)

La superficie regable del estado es de 620,618 hectáreas, de estas 498,022 hectáreas pertenecen a 7 Distritos de Riego transferidos a los usuarios organizados en 30 módulos de riego para llevar as cabo la operación, conservación, mantenimiento y administración, y 122,596 hectáreas (ha) distribuidas en 809 URDERAL. El volumen bruto medio utilizado para el riego es de 2,001.459 millones de m<sup>3</sup> los distritos de riego en Tamaulipas presenta problemas similares a otros distritos del país, existen una superficie afectada por diferentes grados de salinidad de 74,373 hectáreas que representa el 14.9 por ciento de la superficie total de riego y una superficie afectada con niveles freáticas de 0.00 a 1.5 metros de 125,494 hectáreas, que representan el 25 por ciento de la superficie total de riego. El distrito de riego 029 Xicoténcatl, se encuentra transferido a los productores a través de dos módulos de riego, el modulo I por la asociación civil de Usuarios de Xicoténcatl – Río Frío con una superficie de 14,007 hectáreas y el modulo II por la Asociación Civil de Usuarios de San Lorenzo con una superficie de 10,600 hectáreas estos dos módulos son los que se encargan de la operación, conservación y administración del distrito de riego, correspondiendo a la Comisión Nacional del Agua (C.N.A); la administración de las obras de cabeza y la entrega del agua a los módulos en punto de control definidos. En las zonas de riego de los módulos I y II unos de los aspectos de mayor importancia por su recuperación en la productividad son los niveles freáticos elevados y el ensalitramiento de los suelos, atribuidos a las diferentes condiciones climatológicas que se presentan, al origen de los suelos agrícolas y su manejo durante la preparación, establecimiento y desarrollo de los cultivos, así como a un deficiente manejo del

agua a nivel parcelario y deficiente conservación y mantenimiento de la infraestructura hidroagrícola. Lo anterior determina la importancia que representa el estudio y diagnóstico del problema de los mantos freáticos elevados a los suelos afectados por los excesos de sales, como una necesidad de encontrar una solución adecuada para la prevención o rehabilitación de una forma más económica. Mora (1995)

#### 4.1.3 Infraestructura hidroagrícola

Las principales fuentes de abastecimiento son el río Frío y el río Guayalejo. Las obras mediante las cuales se realizan los aprovechamientos son las presas derivadoras “El Nacimiento” y “Poza Azul” “El Conejo” y “San Gabriel” del río Guayalejo. Se cuenta además con la presa de almacenamiento “Lic. Emilio Portes Gil” la cual se alimenta del río Guayalejo a través de la derivadora San Gabriel y del canal del mismo nombre, el volumen de almacenamiento al Nivel de Aprovechamiento Máximo Extraordinario (NAME) es de 272 millones de m<sup>3</sup> su capacidad total es de 230.78 millones de metros cúbicos capacidad útil de 177.78 millones de metros cúbicos y una capacidad de azolve de 52 millones de metros cúbicos.

Cuadro 3 características de las presas

Gravedad de almacenamiento miles de metros cúbicos(mm <sup>3</sup> )	
Nombre:	Presa “Lic. Emilio Portes Gil”
Capacidad NAME:	NAMO: 255.650 miles de m <sup>3</sup>
Capacidad NAMO:	NAMO: 231.727 miles de m <sup>3</sup>
Capacidad de conservación	NAMO: 56.341 miles de m <sup>3</sup>
Capacidad muerta	53.034 miles de m <sup>3</sup>
Volumen útil	178.693 miles de m <sup>3</sup>
Capacidad de azolve	53.0 miles de m <sup>3</sup>
Capacidad del vertedor	32.0 m <sup>3</sup> / seg.
Gravedad derivación (miles de m <sup>3</sup> )	
Nombre	Presa derivadora “San Gabriel”
Escorrentamiento medio anual:	333.8 miles de m <sup>3</sup>
Volumen derivable:	167.08 miles de m <sup>3</sup>

Volumen anual aprovechable:	167.08 miles de m <sup>3</sup>
Capacidad de obra de toma	45.0 m/seg.
Nombre	Presas derivadas "El Conejo"
Escorrentamiento medio anual:	176.5 miles de m <sup>3</sup>
Volumen derivable:	79.056 miles de m <sup>3</sup>
Volumen anual aprovechable:	36.903 miles de m <sup>3</sup>
Capacidad de obra de toma	20.5 m/seg.
Nombre	Presas derivadas "pozo Azul y Nacimiento"
Escorrentamiento medio anual:	467.3 miles de m <sup>3</sup>
Volumen derivable:	217.01 miles de m <sup>3</sup>
Volumen anual aprovechable:	139.31 miles de m <sup>3</sup>
Capacidad de obra de toma	7.0 m/seg.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA) Gerencia Regional Golfo Norte Distrito de Riego 029 Xicotencatl Tamaulipas

Cuadro 4 Características de las presas derivadas

Nombre	Río donde se ubica	Capacidad de obra de toma (m <sup>3</sup> /seg.)	Otros datos
Pozo Azul ( canal principal alto)	Frío	3	Escorrentamiento medio anual: 453.655 millones de m <sup>3</sup>
Nacimiento (canal bajo)	Frío	4	Volumen anual aprovechable: 186.825 millones de m <sup>3</sup>
			La presa de San Gabriel se encuentra aguas

San Gabriel	Guayalejo	40	arriba de El conejo Y los volúmenes de agua entregados dependen de esta última
El conejo	Guayalejo	5	

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA) Gerencia Regional Golfo Norte Distrito de Riego 029 Xicotencatl Tamaulipas

#### 4.1.4 Canales drenes y caminos

De las 24,607 hectáreas dominadas se cuenta con 417.96 kilómetros de canales, de los cuales 22.64 Km. (5.4 %) pertenecen a las obras de cabeza y 395.32 Km. (94.6 %) a la red menor, existen cinco canales principales de agua del Río Frío; canal principal “Alto” y el canal principal “Bajo”; y del río Guayalejo el canal principal “El Conejo “ ; dos se alimentan de la presa de almacenamiento “ Emilio Portes Gil” el canal principal “ Xicotencatl” y el canal principal “San Lorenzo” la longitud es de 162.49 kilómetros (km) de estos 13.9 por ciento pertenece a la red mayor y 86.1 por ciento de la red menor. La mayoría de la red está sin revestimiento.

##### 4.1.4.1 Drenes

Se encuentran con 306.27 (km) de drenes de los cuales 111.4 (km) son drenes principales 36.4 por ciento y 194.87 (km) son secundarios 63.6 por

ciento. El 35.1 por ciento de la red está clasificado en buenas condiciones; y el 64.9 por ciento de regular a malas condiciones

#### 4.1.4.2 Caminos

Se encuentran 481.65 kilómetros (Km.) de caminos, destacándose tres tipos: los de operación de acceso y de intercomunicación.

#### 4.1.5 Volúmenes de agua utilizados para uso agrícola

Existe un incremento en los volúmenes de agua utilizados en los últimos cinco ciclos agrícolas, debido al incremento de la superficie de cultivo, la eficiencia de conducción (cuadro 5), se mantienen entre un 50 y 55 por ciento

Cuadro 5 superficies y volúmenes programadas y realizadas a nivel distrito de los años agrícolas (1991 - 2003)

Años agrícolas	Sup. física		Has Riego		Nº de riego		Vol. Neto mm3		Vol. Bruto mm3		Lam. Neta mm		Lam. Bruta mm		Eficiencias	
	Prog	Real	Prog	Real	Prog	Real	Prog	Real	Prog	Real	Prog	Real	Prog	Real	Prog	Real
1990-1991	20367	14386	72558	37930	3.56	2.64	129140	72755	237223	147224	63.41	50.57	116.47	102.34	54.44	49.42
1991-1992	20203	11727	75532	21511	3.74	1.83	138507	45281	252393	81947	68.56	38.61	124.93	69.88	54.88	55.62
1992-1993	20153	14406	76328	42108	3.79	2.92	155311	94464	270543	188640	77.07	65.57	134.24	130.95	57.41	50.08
1993-1994	20439	13801	77186	43203	3.78	3.13	138259	96133	243197	176727	67.64	69.66	118.99	128.05	56.85	54.40
1994-1995	24020	14849	90846	50371	3.78	3.39	159048	105814	283962	197880	66.21	71.26	118.22	133.26	56.01	53.47
1995-1996	24089	17543	86233	68006	3.78	3.88	131253	162956	248726	300156	54.49	92.89	103.25	171.10	52.77	54.29
1996-1997	21853	16488	79922	52958	3.66	3.21	156578	121445	304211	223069	71.65	73.66	139.21	135.29	51.47	54.44
1997-1998	21359	16622	86161	61754	4.03	3.72	148480	122126	288391	230592	69.52	73.47	135.02	138.73	51.49	52.96
1998-1999	18499	14746	87742	47939	4.74	3.25	163875	92775	313977	179298	88.59	62.92	169.73	121.59	52.19	51.74
1999-2000	18499	17498	88245	65608	4.77	3.75	164770	130345	315727	248099	89.07	74.49	170.67	141.79	52.19	52.54
2000-2001	18959	16109	85402	56601	4.50	3.51	164558	126861	315145	230263	86.80	78.75	166.22	142.94	55.22	55.09
2001-2002	17960	15982	81880	55246	4.56	3.46	163806	119269	306961	223418	91.21	74.63	170.91	139.79	53.36	53.38
2002-2003	17955	14164	81711	54769	4.55	3.87	163769	129464	308052	242852	91.21	91.40	171.57	171.46	53.16	53.31

Fuente: Comisión Nacional del Agua (C.N.A) Gerencia Regional Golfo Norte Distrito de Riego 029 Xicotencatl Tamaulipas  
 NOTA: Los volúmenes en uso agrícola

## 4.2 Materiales

En base a la información freaticométrica del Distrito de Riego 029 Xicotencatl Tamaulipas; que comprende de 1991 – 2002 abarcando un periodo de 12 años, dicha información fue proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CNA), la cual fue capturada y estandarizada en una hoja electrónica de Excel, la que sirvió de base para la realización de los análisis específicos de los manto freático someros de dicho distrito.

## 4.3 Métodos

Los estudios y planos elaborados, precisan los factores que en forma directa o indirectamente, originan los problemas de drenaje. Deben precisarse y valorarse los aspectos que contribuyen a la recarga de los mantos freáticos, así como aquellos que interfieren la descarga. Para ello el proceso de investigación esta basado en los resultados que se obtienen de la realización e interpretación de los estudios siguientes:

### 4.3.1 Estudios topográficos

Es necesario contar con la configuración de la zona de estudio para tener una representación real de todos los accidentes naturales de importancia que faciliten o impidan el drenaje natural.

El plano topográfico constituye un auxilio importante en la planeación de los trabajos, en el diseño de los drenes y en el proyecto de las obras que se requieren para el drenaje de área. Conviene fijar con todo cuidado los cauces de los ríos o arroyos, así como también las alturas o depresiones que constituyen la topografía de la zona y marcar, si existen, los recorridos de las redes de distribución de agua de riego y de drenaje. Las curvas de nivel tendrán una equidistancia de 1 metro aunque es preferible contar con mayor detalle estableciéndolas a 0.5 ó a 0.25 metros los levantamientos se deben realizar concienzudamente pues revelan con mucha aproximación las trayectorias que sigue el flujo subterráneo, así como los puntos de concentración de estos movimientos. Los cambios fuertes de pendientes, los cauces de los ríos y arroyos, los canales y drenes, pueden influir en la velocidad de desplazamiento de las aguas excedentes. Son una ayuda para la estimación de las áreas que topográficamente presentarán dificultades para drenarse, al no permitir velocidades y cortes adecuados.

#### 4.3.2 Planos de niveles freáticos con respecto a la superficie del terreno (isobatas)

Es un plano a escala del área de estudio, se localizan cada uno de los 153 puntos donde fueron barrenados los pozos de observación y de cada uno de ellos, se anotan las profundidades de los niveles del agua desde la superficie del suelo.

Las profundidades observadas se separan en cinco grupos con base en los siguientes rangos:

- De 0.00 - 1.00 metros color rojo
- De 1.00 - 1.50 metros color amarillo
- De 1.50 - 2.00 metros color verde
- De 2.00 – 3.00 metros color azul
- Mayor de 3.00 metros color café

Con los planos de isobatas nos define las áreas con afectación freática, y las graficas de área tiempo, se estima la influencia que ejercen los volúmenes aplicados en el riego y/o la precipitación pluvial, en la recarga hidráulica. Se trazan líneas envolventes que circunscriban las lecturas y se calculan las superficies de cada uno de los grupos.

En los planos de isobatas se analizaran los siguientes aspectos:

- a) Localización de las zonas con diferentes profundidades de niveles freáticos.
- b) Superficies mensuales con diferentes profundidades del nivel freático
- c) Magnitud total de la superficie donde el manto freático se encuentra a menos de 2.00 metros de profundidad.

- d) Las áreas que presentan espesores de suelo saturado a menos de 2.00 metros de profundidad.
- e) Localización de las áreas con problemas de drenaje.
- f) Aumento o disminución de las áreas- problema, con respecto al tiempo.

#### 4.3.3 Gráficas de áreas – tiempo

Las fluctuaciones que sufre el nivel freático, se detecta en las observaciones verificadas mensualmente en los pozos, y consecuentemente, se reflejan en los planos de isobatas, en mayor o menor magnitud, como en áreas de diferente nivel freático.

La gráfica de “áreas- tiempo”, presenta con claridad los cambios de las superficies con distintos niveles freáticos a través del tiempo, y se forman mediante la colocación de los diferentes meses del año acumulando las superficies mensuales obtenidas en el orden de menor a mayor profundidad del nivel freático, siendo su suma la superficie total en estudio.

Paralelamente se realizó otra gráfica semejante donde se presentan conjuntamente las extracciones totales para riego y las precipitaciones mensuales.

El conjunto de estas dos gráficas proporciona los siguientes datos:

- a) Variación mensual del área de cada grupo.
- b) Los meses donde se presentan las mayores áreas con niveles freáticos más cercanos a la superficie del suelo y su duración.
- c) Los meses donde se presentan las áreas con niveles freáticos más profundos y su duración.
- d) Interacción de los niveles freáticos altos con los meses de mayor extracción del agua para riego, o sea con los volúmenes mensuales extraídos en las fuentes de abastecimiento.
- e) Influencia en la variación del manto freático de las precipitaciones pluviales y su duración.
- f) Fuentes principales de alimentación ( riego o lluvias)
- g) En caso de existir bombeos, su influencia en los abatimientos de los niveles freáticos, en los meses de mayor o menor extracción.

#### 4.3.4 Planos de niveles freáticos con respecto al nivel del mar

##### Isohypsas

Sirve para determinar los recorridos de las líneas de corriente y sus posibles fuentes de alimentación, y para estimar la velocidad de desplazamiento de flujo en las diferentes zonas que comprenden el estudio. Para formarlo, se anota en cada punto de observación el valor mensual de la altura o cota del nivel freático referida al nivel del mar. Con estos datos, se trazan las curvas de igual nivel a equidistancias que pueden variar de 0.25 a 1.00 metros según sea la diferencia de desnivel existente entre la mayor y menor altura del área de estudio. Con lo cual obtendremos las siguientes características:

- a) Las líneas equipotenciales
- b) La dirección de las líneas de corriente de las aguas freáticas (suelo homogéneo).
- c) Las zonas con diferentes valores de gradientes hidráulicos
- d) Posibles zonas de aportaciones o sumideros.
- e) Valor relativo de las conductividades hidráulicas de cada área.

#### 4.3.5 Plano de mínimo niveles freáticos

Las profundidades o cotas más bajas del nivel freático que fueron observados en cada pozo, durante un periodo no menor de 12 meses, se anotan en un plano del área en estudio. Con los valores resultantes se trazan las curvas de nivel, en forma semejante al realizarlo cuando se formó el plano de isohypsas.

Aunque este plano no muestra las condiciones del flujo de un momento dado, ya que el conjunto de lecturas mínimas que han sido seleccionadas no corresponde a una sola observación, sí representa los niveles de los mantos freáticos de cada lugar cuando éstos reciben las menores aportaciones, y es posiblemente la única representación hipotética del estado que tendrá en el manto freático después de que haya sido construida una red de drenaje que trabaje eficientemente. Es por lo tanto, el momento que más se aproxima a la condición de un régimen permanente y establecido sin efectos de alimentación temporales. Por otra parte las líneas de corrientes resultantes de las equipotenciales del plano de niveles mínimos, marcan la dirección y los recorridos más probables de los flujos de las aguas freáticas futuras. Por lo anterior, se comprende la importancia que tienen para el diseño del drenaje “interceptor” y de “alivio”, tanto de tipo general como parcelario.

#### 4.3.5.1 Trazó de líneas de corriente

Si se acepta la hipótesis anterior y se aceptando también que el estrato transmisor es homogéneo e isotrópico, las Isohypsas representan equipotenciales y consecuentemente las líneas equipotenciales a ellas y de recorrido ortogonales, serán las líneas de corriente del flujo de las aguas freáticas. La unión de varias líneas de corrientes define centros de acumulación o sumideros, en cambio la salida o difusión de ellas corresponderán a lugares de alta alimentación. Los recorridos muestran la tendencia y dirección del movimiento, así como las fuentes aportadoras de carácter permanente y su importancia. Este plano es necesario para diseñar la dirección de los drenes interceptores que tendrán que ser proyectados perpendicularmente a las líneas de corriente.

#### 4.3.6 Plano de incrementos

Al sobreponer el plano de isohypsas al de “mínimos niveles” resaltan los incrementos de cada mes. Si unen con líneas gruesas las isohypsas de un mes determinado y con las líneas punteadas las líneas de mínimos niveles, quedaran separados en magnitud los incrementos correspondientes, pudiendo localizar en forma clara los promontorios de agua, así como la forma en que se difunden. Con la ayuda de los planos mensuales, se pueden definir las causas que originan los promontorios, ya que es probable que aquellos que se desvanecen en unos y vuelven a aparecer en otros, tienen su origen en sobre – riegos o en filtraciones de canales que no se operan permanentemente.

En cambio, los que se desplazan con corrientes de forma más o menos constante por varios meses consecutivos, procederán de filtraciones de una fuente que se opera de forma constante. Constituye un complemento de líneas de corriente, al precisar las localizaciones que deben tener los drenes, así como las direcciones mas convenientes para interceptar los desplazamientos de agua.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1 Estudio topográfico

El plano topográfico en el presente trabajo fue realizado con la información de las cotas del terreno del año 2002, proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (C.N.A) del distrito de Riego 029 Xicotencatl Tamaulipas, en el que se observa la mayor altitud de 106.35 metros localizada al noroeste del distrito, y al centro varía entre los 60 y 80 metros en la parte plana y baja hasta el río Guayalejo, alcanzando una altitud que fluctúa entre los 60 y 70 metros. El relieve es plano con áreas onduladas en la parte noreste con una pendiente medida que oscila entre uno y dos por ciento en dirección norte – sur, encontrándose en la parte sur áreas con menor pendiente lo cual podemos observar en la (figura6)

### 5.2 Localización de los pozos de observación del manto freático.

Es una red de 153 pozos de observación los cuales están conformados en una malla regular con una equidistancia de 1.5 kilómetros (km) en estos pozos se realizaron las observaciones mensuales del comportamiento del manto freático (figura 7).

Figura 6 Plano topográfico del 2002

Figura 7 Localización de los pozos de observación del manto freático

## 5.3 Estudios específicos de drenaje

### 5.3.1 Estudios del manto freático

Las lecturas mensuales de los 153 pozos de observación de los años comprendidos entre el periodo de (1991 – 2002), se concentraron en una hoja de cálculo, para que con ello se pueda analizarlos a través del programa de Surfer versión 8, generándose los planos siguientes: isobatas, isohypsas, mínimos niveles freáticos, al igual que los planos de incrementos y decrementos, con la elaboración, análisis e interpretación de cada uno de estos planos se realizaron las interpretaciones siguientes:

#### 5.3.2 Interpretación de Isobatas de los años de 1991,1997 y 2001

Para obtener las isobatas representativas del problema se establecieron rangos de profundidad del manto freático, determinándose la superficie dentro de cada rango y su variación mensual para cada uno de los años mencionados.

#### 5.3.3 Isobatas 1991

Como resultado de este análisis, en el año de 1991 y considerando la profundidad del manto freático de (0 – 1.00 m.) se encontró lo siguiente: el mes de abril con una área afectada de 6,988.54 hectáreas, representando el

22 por ciento del área total estudiada, esto se debe a las aportaciones sobre la presa, el problema se concentra principalmente en las zonas noroeste y noreste, pero en la parte central del distrito no se aprecian grandes problemas del manto freático (figura 8), el mes de julio presenta un área de 20,947.8 hectáreas esto nos que equivale al 65.94 por ciento del total de la superficie del distrito, lo cual se observa en la (figura 9) la causa de esto se debe a que existe una recarga sobre la presa de 180 miles de cúbicos ( $\text{mm}^3$ ), dentro de este año encontramos también a el mes de agosto con una área afectada de 14,517.57 hectáreas lo cual representa el 45.70 por ciento, del área total del distrito, el problema del manto freático elevado se observa en la parte central, al igual en la parte norte así como también en el oeste, son las dos zonas donde se presenta los niveles freáticos mas elevados, (Figura 10), en el año de 1991 los meses de julio y agosto se destacan por presentar mayor superficie con el manto freático en el rango de 0 a 1 metro. Al igual que en el mes de septiembre se aprecia un área problema de 19,255.84 hectáreas la cual representa el 60.61 por ciento ya que al igual que el mes anterior también existe aportaciones sobre la misma presa con una aportación de 40.2 ( $\text{mm}^3$ ) (figura 11).

#### 5.3.4 Isobatas 1997

Como resultado de este análisis, en el año de 1997 y considerando la profundidad del manto freático de (0 – 1.00 m.) se encontró lo siguiente: que el mes de mayo tiene una área problema de 8,809.76 hectáreas

representando el 27.73 por ciento del total del distrito, este es el mes que mayor área problema representa durante el año ya que los escurrimientos en la presa no fueron muy significativos, durante este mes se presentó un escurrimiento de 13.1 ( $\text{mm}^3$ ), los problemas del freático elevado se puede observar distribuida en todo el distrito en pequeñas superficies, la parte más afectada se encuentra localizada en el noreste (figura 12); el siguiente mes con problemas es junio con un área de 8,447.57 hectáreas representando el 26.59 por ciento de total del área del distrito. En el mes de junio las áreas más afectadas, que presentan un nivel freático elevado son las zonas: noreste y noroeste. (Figura 13). En el año de 1997 podemos encontrar también el mes de julio considerado el menos crítico que tiene un área problema de 3,714.68 hectáreas, lo cual representa un 11.69 por ciento del total del distrito, debido a que es una época de estiaje y de pocos riegos; es por ello que este mes no presenta grandes problemas del manto freático, la ubicación del problema se puede apreciar en la periferia del distrito (figura 14). También en este año podemos observar el mes de noviembre con una área afectada de 7,444.87 hectáreas lo cual nos representa el 23.43 por ciento del total del distrito, la parte donde se ubica el mayor problema se encuentra localizado en la parte suroeste y noreste, debido a que los escurrimiento sobre la presa son de 3612 ( $\text{mm}^3$ ) esta derivadora se encuentra ubicada en la parte norte lugar donde se puede apreciar el mayor problema (figura 15)

### 5.3.5 Isobatas 2001

Como resultado de este análisis, en el año del 2001 y considerando la profundidad del manto freático de (0 – 1.00 m.) se encontró lo siguiente: en el mes de mayo, con un área problema de 9,587 hectáreas, lo cual representa el 30.18 por ciento, este problema se ubica principalmente en la zona noroeste, debido a los escurrimientos sobre la presa, por lo cual afecta el nivel freático (figura 16), otros de los meses que se encuentran con problemas es agosto con una área de 17,114 hectáreas, representado por el 53.87 por ciento del total del distrito. Estos problemas son debido a escurrimiento sobre la presa que se encuentran ubicado en el distrito, ya que esto es un factor importante para que aumente el manto freático (figura 17), otro de los meses es septiembre con un área de 17,175 hectáreas, representado por el 54.06 por ciento del total del área en estudio, esto es debido a que coincide con la época de riegos y con el periodo de lluvias; por lo cual el manto freático elevado, los problemas se observan en una franja que se ubica en la zona noroeste hasta la parte sur del distrito (figura 18). En el año 2001 también podemos encontrar al mes de octubre, el cual también presenta el problema del manto freático elevado, esté con un área afectada de 15,976 hectáreas, lo cual esta representado por el 50.29 por ciento, el problema se encuentra distribuido en todo el área del distrito. Las áreas de mayor problema se localizan en la parte sur, norte, y este (figura 19)

Cuadro 6 superficies afectadas por niveles freáticos, de los años del 1991, 1997 y 2001 del periodo comprendido (1991 – 2002)

Profundidad del nivel freático (m)	Superficie afectada del 2001 en hectáreas		Superficie afectada de 1997 en hectáreas		superficie afectada de 1991 en hectáreas	
	septiembre	agosto	mayo	junio	julio	septiembre
0.00 – 1.00	17,175	17,114	8,809	8,447	20,947	19,255
1.00 – 1.50	7,715	6,813	7,867	8,859	4,482	6,461
Sumatoria	24,890	23,927	16,776	17,309	25,421	25,706

En el (cuadro 6) podemos observar de los tres años en el cual destaca el año de 1991 por ser el año que presenta mayor área con problema del manto freático, del rango de 0.00 – 1.00 metros, los meses que destacan en este año son julio y septiembre; el año mas húmedo, fue el 2001, representado por los meses de septiembre y agosto; igual se observa en este cuadro el año mas seco que es el año de 1997, pero en comparación al rango de 0.00 – 1.00 metro lo cual esta representado por los meses de mayo y junio, pero también se observa que en el año de 1997 a pesar de ser el mas seco en el mes de junio presenta 8,447 hectáreas con el manto freático en un rango de 0.00 a 1.00 metro

Figura 8 Isobata de abril de 1991

Figura 9 Isobata de julio de 1991

Figura 10 Isobata de agosto de 1991

Figura 11 Isobata de septiembre de 1991

Figura 12 Isobata de mayo de 1997

Figura 13 Isobata de junio de 1997

Figura 14 Isobata de julio de 1997

Figura 15 Isobata de noviembre de 1997

Figura 16 Isobata de mayo del 2001

Figura 17 Isobata de agosto del 2001

Figura 18 Isobata de septiembre del 2001

Figura 19 Isobata de octubre del 2001

#### 5.4 Grafica de áreas tiempo

Del análisis conjunto formado por las graficas área tiempo (figura 20) y la gráfica de las extracciones totales para riego y las precipitaciones mensuales (figura 21), comprendidas en el periodo de 1991 a 2001 se obtienen los resultados siguientes:

- 1) Las variaciones mensuales de las áreas con diferentes rangos de profundidades de manto freático son más significativas durante el año de 1991.
- 2) Interacción de los niveles freáticos altos, de los meses de julio, agosto y septiembre con los de mayor extracción del agua de riego, o sea con los volúmenes mensuales extraídos de las fuentes de abastecimiento así como también la duración que presenta cada uno de los meses antes mencionados.
- 3) La influencia que existe en la variación del manto freático cuando las precipitaciones pluviales aumentan, como esto puede afectar el manto freático, tomando en cuenta también la duración que presenta dicho fenómeno (figura 21).
- 4) De acuerdo con los puntos 2 y 3 las fuentes de alimentación del manto freático son los riegos y/o lluvias que se presentan dentro del distrito.

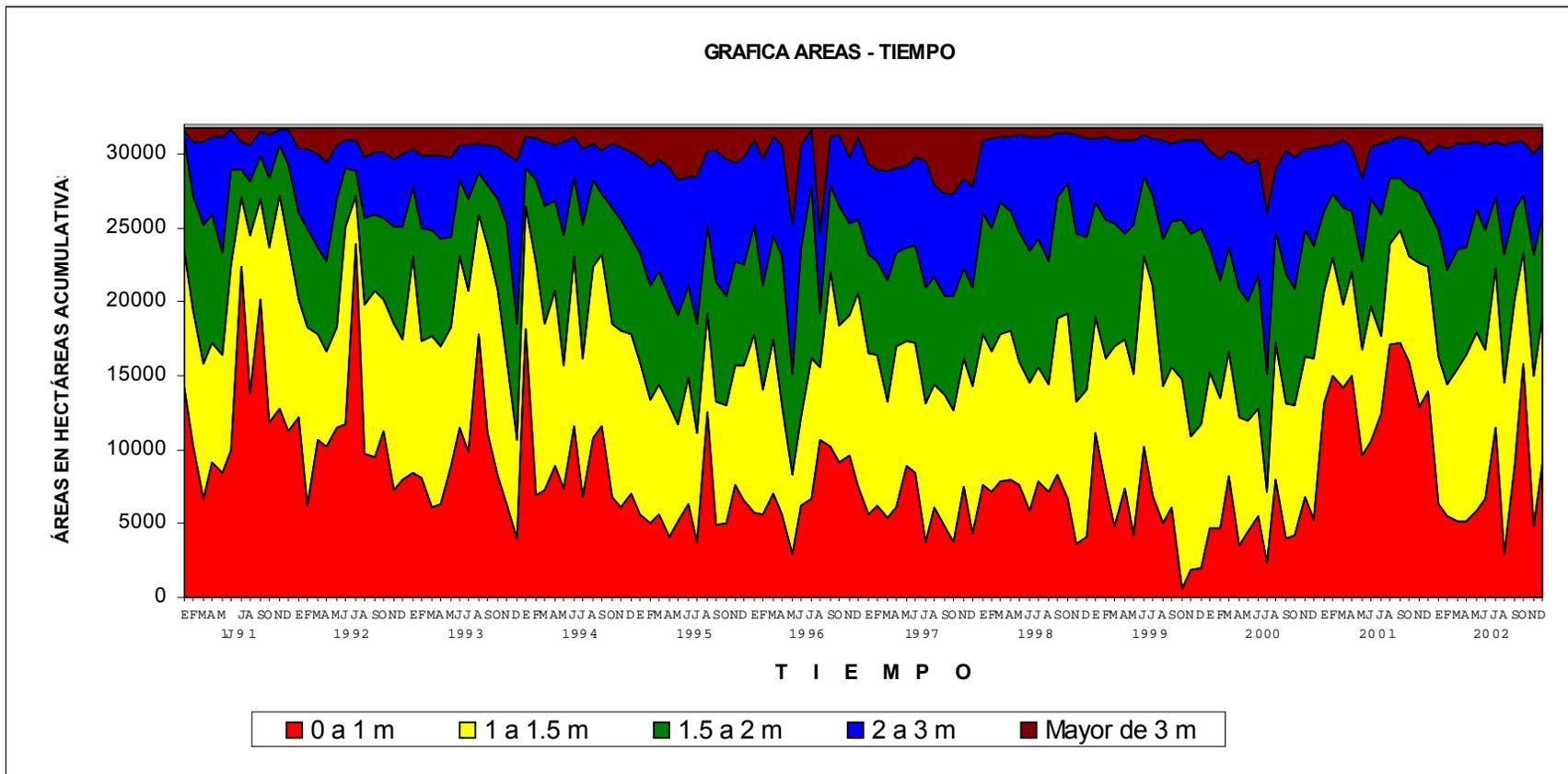


Figura 20 Gráfica de variaciones en hectáreas según planos de niveles freáticos

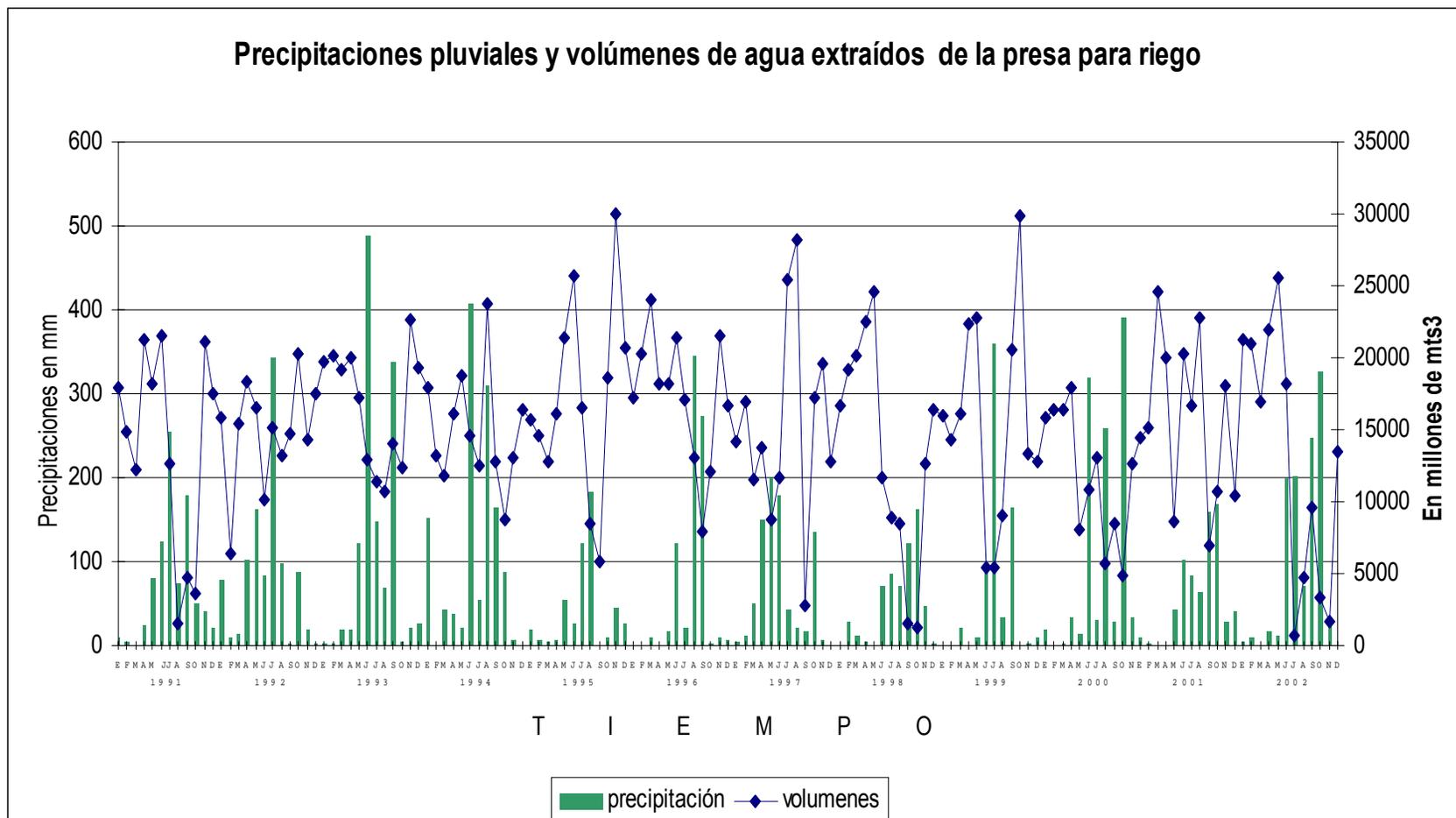


Figura. 21 Precipitaciones pluviales y volúmenes de agua extraídos de la presa para riego

## 5.5 Determinación de las isohypsas de los años de 1991, 1997 y 2001

Sirven para determinar los recorridos de las líneas de corriente y sus posibles fuentes de alimentación, al igual que para estimar la velocidad de los desplazamientos del flujo en las diferentes zonas del distrito que comprende este estudio.

### 5.5.1 Isohypsas del año 1991

La dirección de la línea de flujo son del noreste hacia la parte sur del distrito y en las zonas noroeste donde tiene un gradiente hidráulico, que va de 0.001875 hasta 0.00125 indicándonos que gradiente hidráulico es mayor y la conductivita hidráulica es menor por lo cual se aprecian acumulación o sumideros, al igual en donde el nivel freático esta siendo drenado, esto se ubica en la parte sur del distrito, indicándonos esto que existe un menor gradiente hidráulico pero mayor conductividad hidráulica, la salida o difusión de ella corresponden a lugares de alta alimentación de los niveles. (figuras 22, 23, 24)

### 5.5.2 Isohypsas del año 1997

La dirección de las líneas de flujo en este año se desplaza del noreste hacia el suroeste ya que en el noreste y suroeste, tiene un gradiente hidráulico de 0.016666 hasta 0.001325 y en la parte del centro del distrito con un gradiente hidráulico de 0.5 indicándonos estos valores que en la parte central del distrito el gradiente hidráulico es menor pero la conductividad

hidráulica es mayor a comparación que en la parte suroeste, noreste y donde el gradiente hidráulico es mayor pero tienen una menor conductividad hidráulica, esto también demuestra que esas zonas sirven como colectores o sumideros y en la parte central como drenes. (figuras 25, 26, 27, 28)

### 5.5.3 Isohypsas 2001

La dirección de las líneas de flujo se desplazan del noroeste hacia el sur del distrito, en la zona noroeste tiene un gradiente hidráulico de 0.00625 y en lo que comprende la zona noreste y sur del distrito con un gradiente hidráulico de 0.028 indicándonos que en la parte sur y noreste del distrito tienen un menor gradiente hidráulico pero mayor conductividad hidráulica y en la zona noreste tiene un mayor gradiente hidráulico pero menor conductividad hidráulica ya que también esta zona puede actuar como colector o sumidero en cambio en la parte sur y noreste sirven como drenes. (figuras 29.30.31 y 32).

Figura 22 Isohyrsa de julio de 1991

Figura 23 Isohypsa de agosto de 1991

Figura 24 Isohypsas de septiembre de 1991

Figura 25 Isohypsa de enero de 1997

Figura 26 Isohypsas de marzo de 1997

Figura 27 Isohypsas de junio de 1997

Figura 28 Isohypsa de agosto de 1997

Figura 29 Isohypsas de enero del 2001

Figura 30 Isohypsas de marzo del 2001

Figura 31 Isohypsas de noviembre del 2001

Figura 32 Isohypsas de diciembre del 2001

## 5.6 Interpretación de los planos de mínimos de los años de 1991, 1997 y 2001

Los planos de mínimos de los años de 1991, 1997 y 2001 no muestran las condiciones del flujo de un momento dado, ya que el conjunto de lecturas mínimas que han sido seleccionadas, para cada uno de los tres años, no corresponden a una sola observación, pero sí representan los niveles de los mantos freáticos de cada lugar cuando estos reciben las menoreas aportaciones, y es posiblemente la única representación hipotética del estado que tendría el manto freático después de que se haya sido construida una red de drenaje que trabaje eficientemente.

Es por lo tanto, el momento que más se aproxima a la condición de un régimen permanente y establecido sin efectos de alimentación temporales. Por otra parte, las líneas de corriente resultantes de las equipotenciales del plano de niveles mínimos, marcan la dirección norte - sur y los recorridos más probables de los flujos de las aguas freáticas futuras lo cual se puede apreciar en las figuras (33, 34, 35).

Figura 33 Plano de mínimo del año de 1991

Figura 34 Plano de mínimo del año de 1997

Figura 35 Plano de mínimo del año 2001

## 5.7 Determinación de los incrementos del manto freático de los años 1991,1997 y 2001

Al sobreponer el plano de isohypsas de un determinado mes al de “mínimos niveles” resaltan los incrementos de dicho mes. Se unieron con líneas de color azul las isohypsas de un mes determinado y con líneas de color café las líneas de mínimos niveles, quedaron representados en magnitud los incrementos correspondientes pudiéndose localizar en forma clara los promontorios de agua como la forma en que se difunden.

### 5.7.1 Incrementos de los años de 1991, 1997,2001

Los planos de mínimos nos indican las causas que orinan los promontorios de agua ya que es probable que aquellos que se desvanecen en unos y que vuelven aparecer en otros, tienen sus orígenes en sobre-riegos o en las filtraciones de los canales que no operan de una forma permanente esto se localiza en la zona noreste . En cambio en los que se desplazan con recorridos de forma más o menos constante por un periodo de varios meses consecutivos, procederán de filtraciones de una fuente que opera un forma constante se localiza en la zona sur y noreste. (figuras 36,37, 38, 39, 40, 41, 42, 43,44, 45, 46)

Figura 36 Plano de incremento de julio con base al plano de mínimos niveles freáticos de 1991

Figura 37 Plano de incremento de agosto con base al plano de mínimos niveles freáticos de 1991

Figura 38 Plano de incremento de septiembre con base al plano de mínimos niveles freáticos de 1991

Figura 39 Plano de incremento de enero con base al plano de mínimos niveles freáticos de 1997

Figura 40 Plano de incremento de febrero con base al plano de mínimos niveles freáticos de 1997

Figura 41 Plano de incremento de mayo con base al plano de mínimos niveles freáticos de 1997

Figura 42 Plano de incremento de diciembre con base al plano de mínimos niveles freáticos de 1997

Figura 43 Plano de incremento de julio con base al plano de mínimos niveles freáticos de 2001

Figura 44 Plano de incremento de mayo con base al plano de mínimos niveles freáticos de 2001

Figura 45 Plano de incremento de noviembre con base al plano de mínimos niveles freáticos de 2001

Figura 46 Plano de incremento de febrero con base al plano de mínimos niveles freáticos de 2001

## 5.8 Determinación de los incrementos y decrementos de los años de 1991, 1997 y 2001

Con la ayuda de dos planos mensuales de isohypsas se pueden definir las causas que originan los promontorios, ya que es probable que en aquellos que se desvanecen en uno y vuelven a aparecer en otros tiene sus orígenes en sobre riegos o en filtraciones de canales que operan permanentemente.

### 5.8.1 Incrementos y decrementos de 1991

Con el análisis anterior se determina lo siguiente: que en la figuras (47,48 y 49), nos muestra el comportamiento del freático, si existe un incremento o decremento del manto freático y lo que podemos observar que existe un mayor incremento en la parte central donde se ubica el río Guayalejo debido a que se encuentra la presa el Conejo y en los meses con el cual se elaboraron los planos tienen grandes escurrimientos a dichos canales, así como también a las presas y eso hace que incremente el manto freático y con respecto al decremento se tiene muy poco ya que no existen los suficientes drenes o en las mejores condiciones, para evitar la acumulación del agua en esas partes afectadas.

### 5.8.2 Incrementos y decrementos 1997

Con el análisis realizado en el año de 1997 podemos ver el comportamiento del manto freático en las figuras (50,51), que el incremento es muy poco, debido a que es una época de estiaje, así como también es el año que menos problemas presenta del freático elevado, es por ello que en estos planos se comportan de esa manera lo cual podemos observar más decrementos que incrementos del freático. Con excepción de la figura (52) que se observa un mayor incremento en comparación con los dos planos anteriores una de las causas del por que se presente estas características es debido a que existe mas escurrimientos y precipitaciones en los meses con los cuales se elaboró dicho plano.

### 5.8.3 Incrementos y decrementos 2001

Con el análisis realizado durante el año del 2001 se encontró la siguiente información lo cual se aprecia en la figura (53), que existe un mayor decremento en comparación con el incremento del manto freático, esto es debido a que los meses, con los cuales se compararon no tienen muchos escurrimientos, al igual que son de baja precipitación es por esta razón que se presenta con estas características, por el contrario en las figuras (54 y 55), el incremento es mucho mayor esto se puede apreciar desde el noreste hasta el sur del distrito, esto se debe a los abundantes escurrimientos en el río Guayalejo el cual es un factor muy importante el aumento del manto freático.

Figura 47 Incrementos y decrementos de los meses de abril – julio de 1991

Figura 48 Incrementos y decrementos de los meses de marzo - agosto de 1991

Figura 49 Incrementos y decrementos de los meses de mayo - septiembre de 1991

Figura 50 Incrementos y decrementos de los meses de diciembre - enero de 1997

Figura 51 Incrementos y decrementos de los meses de septiembre - octubre de 1997

Figura 52 Incrementos y decrementos de los meses de mayo - junio de 1997

Figura 53 Incrementos y decrementos de los meses de febrero – septiembre del 2001

Figura 54 Incrementos y decrementos de los meses de enero - agosto del 2001

Figura 55 Incrementos y decrementos de los meses de octubre - septiembre del 2001

### 5.9 Interpretación de los hidrogramas de los años de 1991, 1997 y 2001

En ellos podemos observar el comportamiento del nivel freático a través de estos años en el cual podemos ver que el año de 1991 existe mayores fluctuaciones en el manto freático que van desde el 0.60 hasta el 1.61 metros durante todo el año al igual esto nos da una idea aunque gráficamente de cómo se comporta el freático ya que el año de 1997 las fluctuaciones son iguales en todos los meses esto se debe a que la profundidad del freático no cambio por lo que se puede decir que no existió ninguna recarga del freático durante este año al igual en el año del 2001 podemos ver casi las mismas características del años anterior observándose es estancamiento en el incremento entre los meses de febrero hasta julio, existiendo variaciones muy pocos en los meses restantes esto se puede apreciar en las figuras (56, 58, 60)

### 5.10 Interpretación de los transectos de los años de 1991, 1997 y 2001

En estos transectos realizados se aprecia una pequeña diferencia en el nivel freático, por ejemplo en el año de 1991 fluctúa desde los 50 hasta los 73 metros esto nos indica que durante este año el nivel freático se encontraba muy cercano a la superficie del suelo ya que estas profundidades es lo que nos refleja, en los pozos de observación los cuales son el 35, 49, 61, 72, 83 estos son para los tres años que se analizaran para ver como se da el comportamiento en cada uno de ellos, para el año de 1997 las lecturas obtenidas para estos pozos son mas profundas que del año anterior por lo que

podemos decir que no existe grandes problemas del manto freático eleva, estas lecturas superan los dos metros de profundidad esto también se puede apreciar en el nivel freático ya que un poco mayo en comparación con el año anterior esto nos confirma que en este años es el que menos problemas tiene del manto freático y por eso es considerado el mas seco.

En el año del 2001 las características son casi similares al año de 1991 por que las profundidades son muy cercanas a la superficie del suelo aunque las lecturas del nivel freático son muy similares a las del año de 1997 ya que al igual podemos mencionar que el año del 1991 es el mas problemático por las características presentadas en los pozos de observación figuras (57, 59, 61)

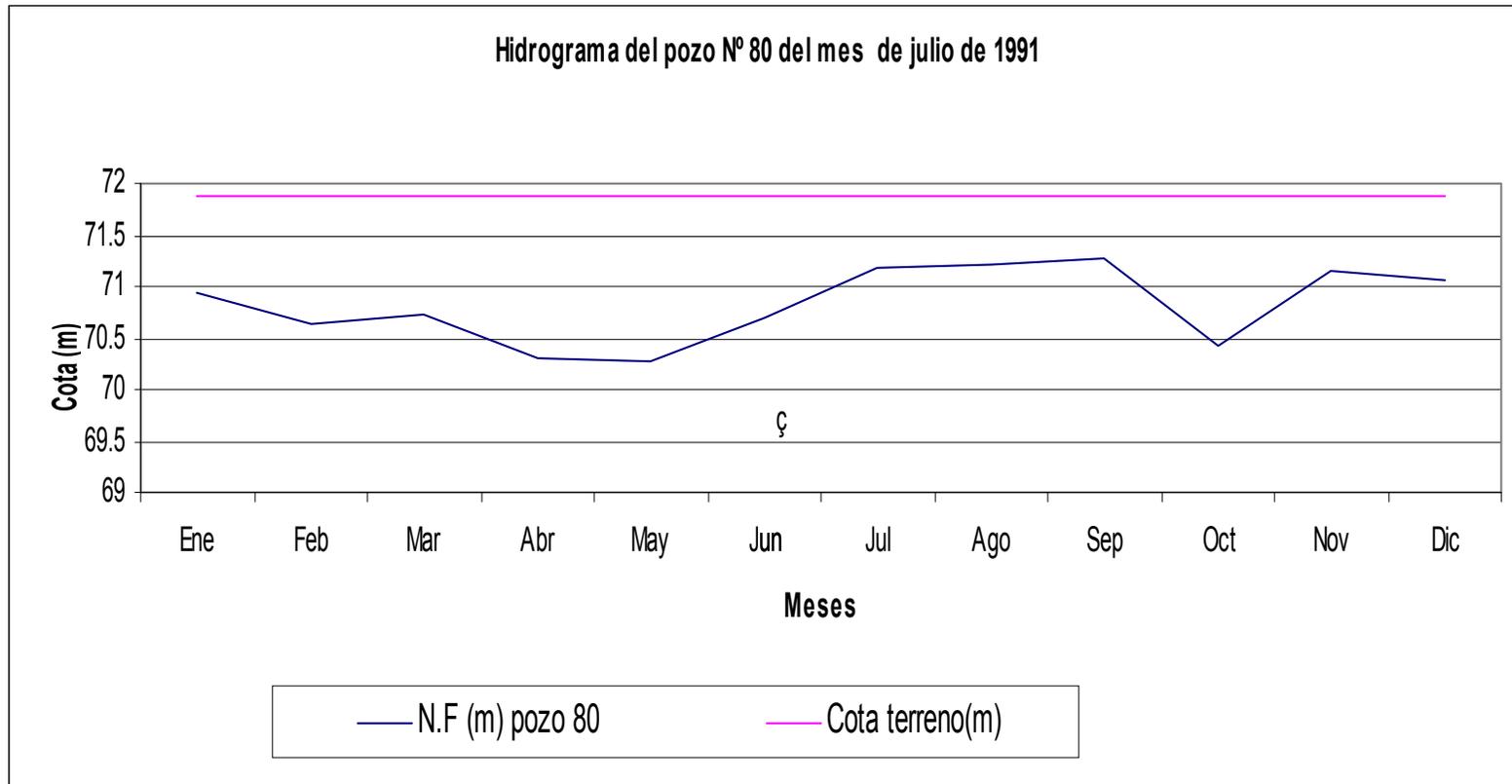


Figura 56. Hidrograma del pozo número 80 del mes de julio 1991

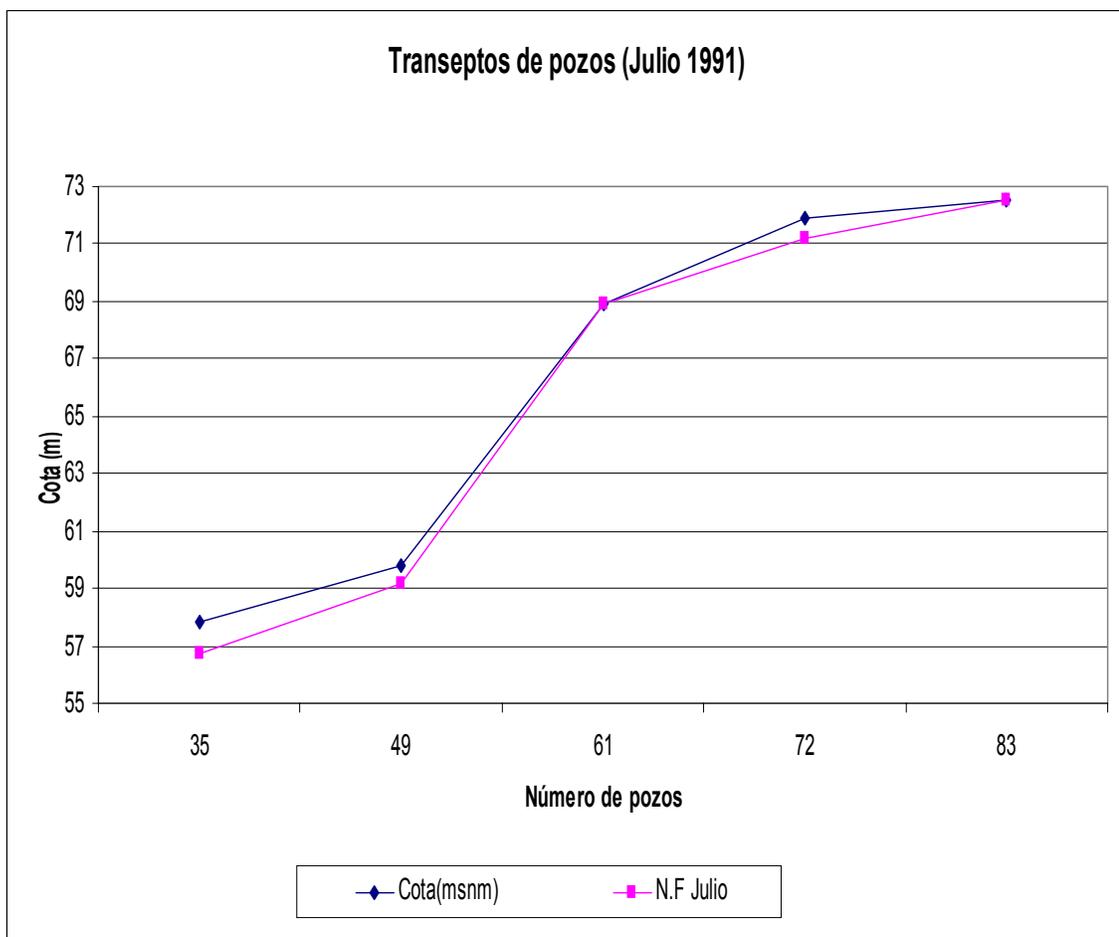


Figura 57. Transectos de pozos de julio de 1991

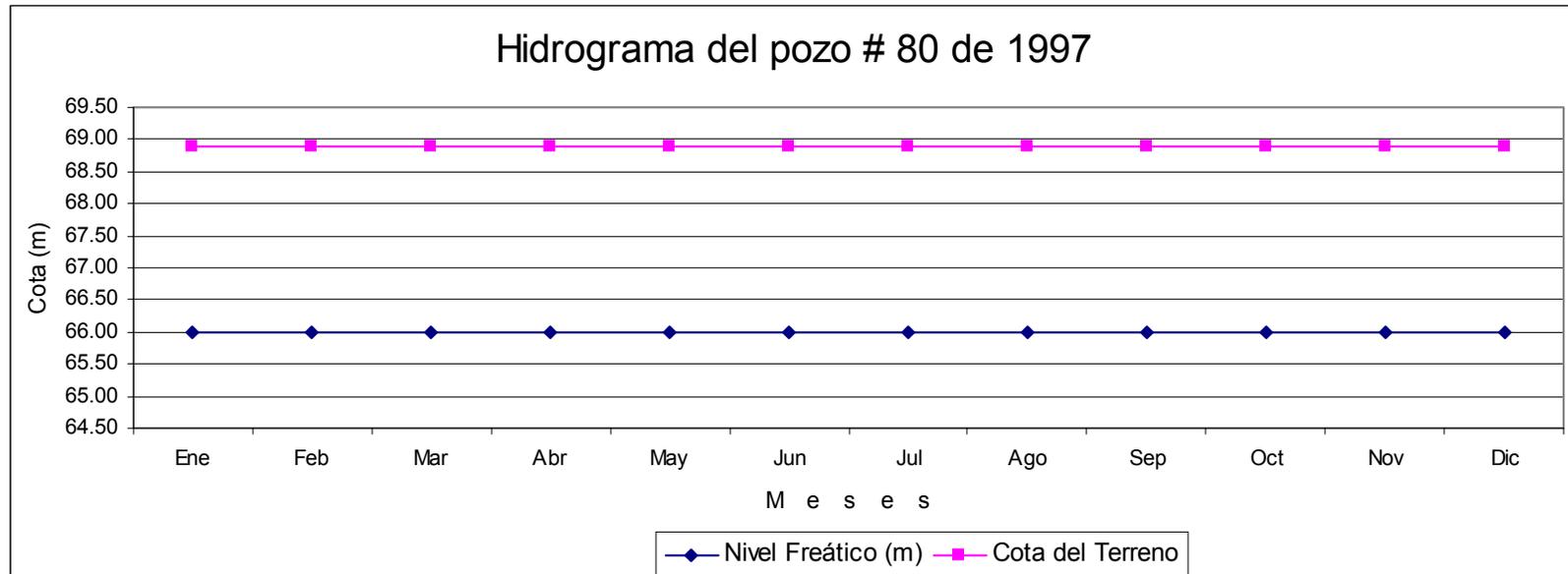


Figura 58. Hidrograma del pozo # 80 del mes de julio de 1997



Figura 59. Transectos de los pozos de julio de 1997

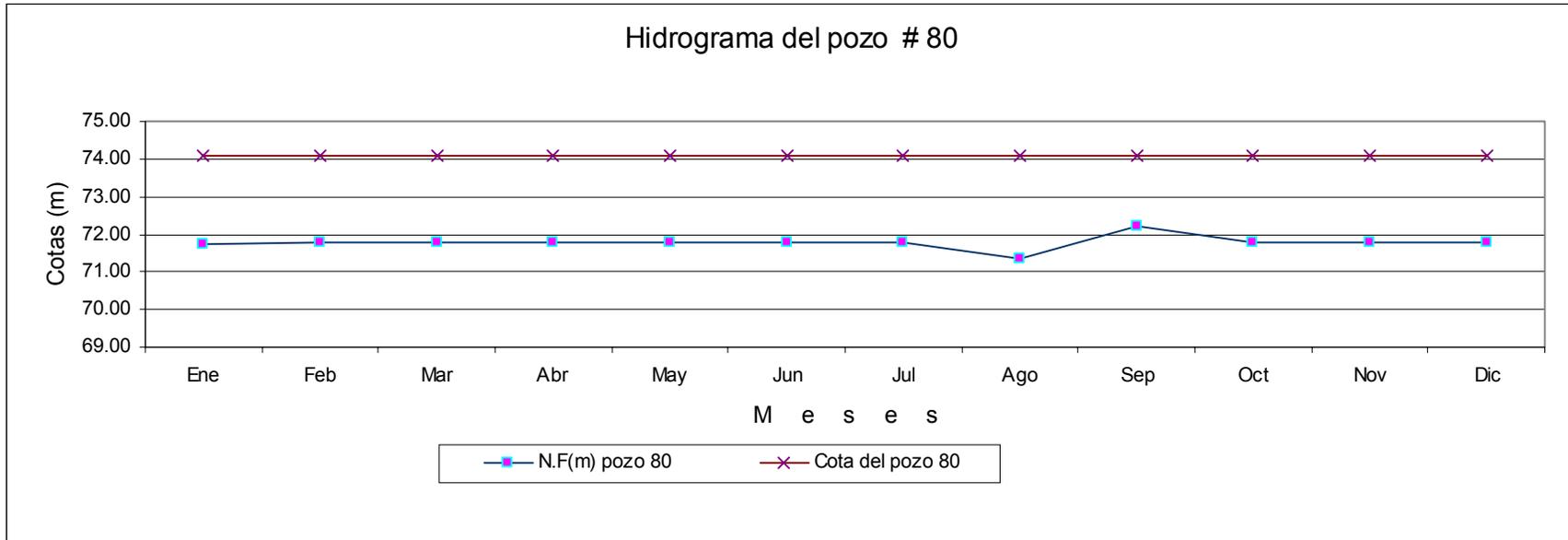


Figura 60. hidrograma del pozo # 80 del mes de julio del 2001

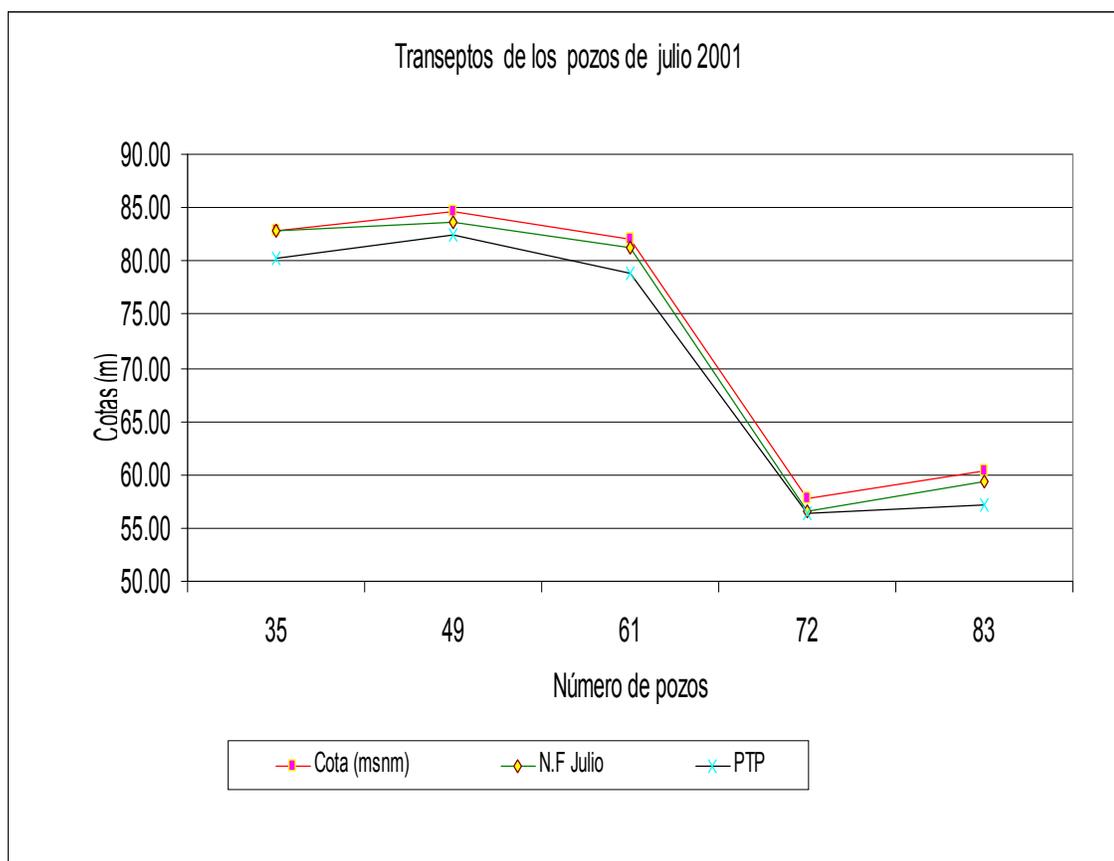


Figura 61. Transectos del pozo del mes de julio del 2001

## 6. CONCLUSIONES

- El periodo más crítico de drenaje superficial es durante los meses de julio a septiembre debido a lluvias
- El periodo de superficies afectadas por los niveles freáticos de 0.00 a 1.00 metros durante el periodo de (1991 - 2002) es de 152.913 hectáreas y de 1.00 a 1.50 metros con 70.311 hectáreas. Los meses con mayor área afectada son los meses de julio con una superficie de 209.4778 hectáreas debido a lluvias otros de los meses también afectados es el mes de septiembre con 192.5584 hectáreas representando el 65.94% y el 60-70 % respectivamente.
- Las direcciones de las líneas de flujo se desplazan de norte a sur del distrito de riego, en la parte norte tienen un gradiente hidráulico que va de 0.00375 m a 0.00125 m en la parte noroeste y en la parte del centro se encuentra entre 0.00075m a 0.001875 m llegando hasta 0.000986 m al sur de 0.00134 a 0.00156 m
- Existe una diferencia muy notoria entre el año de 1991 al de 1997 comparados estos, en la superficies afectadas en cada uno de ellos por que en el años de 1991 existen mas problemas del manto freático

## 7. RECOMENDACIONES

- Es necesario establecer un tope de patrón de cultivos, evitando incrementar la superficie sobre todo en los cultivos que más demanden agua como es el caso de la caña de azúcar que es el cultivo que mas prevalece en el distrito.
- El balance hidrológico dentro de la planeación de un sistema de manejo de aguas es de suma importancia, es recomendable considerar además de la lámina de lluvia, la intensidad de esta, automatizando su registro, así como de las fluctuaciones del manto freático.
- Efectuar aforos secuenciales en los tramos de los canales, en donde las líneas de corriente nos indica que existen aportaciones de manera permanente a los mantos freáticos, para determinar los lugares con más alta infiltración para darles un mejor cuidado y así evitar los problemas que haga que se incremente el manto freático.

- Uniformizar la aplicación y la eficiencia del riego a partir de los sistemas de riego existentes, los sistemas de riego por superficie adecuarlos a un sistema donde se aproveche la mayor cantidad de agua como un sistema de riego a presión como el riego por goteo, o también reducir la longitud de los surcos y aumentar el gasto en ellos.
- Mejorar el mantenimiento y conservación de los drenes colectores de tipo abierto en donde descargan los excedentes de riego y de lluvia debido a que por problemas de azolve y malezas acuáticas, no funcionan eficientemente, ocasionando una subida rápida del manto freático, en muchos casos por encima del nivel del terreno afectando esto al cultivo.
- Localizar los sitios basados en los planos de estrato impermeable y de las líneas de corriente, para localizar sitios en donde se puedan construir un drenaje que intercepten las líneas de corriente que se desplazan de norte a sur del distrito de riego.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Arita Armendáriz, C, 1977 Informes parciais de drenaje Agrícola de lá Chontalpa. Tabasco E.N.A. S.A.R.H. memorándum Técnico n°. 368 México D.Fpp. 18 – 20
- Cámara D. O. A. (1994) impacto de la agricultura bajo riego sobre la calidad del agua caso valla del yaqui Sonora Ingeniería Hidráulica en México. Vol. IX IV.3 II Época septiembre – diciembre.
- Castany G. (1971) Tratado práctico de las aguas subterráneas Ed. Omega Barcelona España
- De la Peña. I 1978 Metodología Establecida para la determinación y solución de los problemas de drenaje en los Distritos de Riego de la Republica Mexicana S.A.R.H. Memorándum Técnico N° 341 México D.F.
- Davis S. N (1971) hidrogeología Ed. Ariel
- De Ridder N. A. (1977) Principal y aplicaciones del drenaje I*
- García, L and K. Sttrzepek. 1994 Design of agricultural drainage with adaptive irrigation management. J. of irrigation and Drainage Engineering vol. 120 (1-3): 179-192. United States of America
- Gupta S. K. 1993 Field estimation of drainable pore space and application in drainage design. Head, Division of Drainage and Managemet Central Soil Salinity Research Institute, Karnal - Haryana India
- Hanson, B.R. and A.E. Fulton 1994 Methods and economics of drainage reduction though improved irrigation. J. Of Irrigation and Drainage Engineering Vol. 120 #2 March/April. P.P. 308 – 321.

International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRD). 1978 Principios y aplicaciones del drenaje. Diseño y manejo de sistemas de drenaje Vol. 4. p. 80-141 Netherlands

Israelsen Orson, W. Ph.D. y Hanse Vaughne, Ph. D. 1965 Principios y aplicaciones del Riego. Ed. Reverte S.A. Barcelona pp. 2 -3

*Luthin N.J. (1967) Drenaje de tierras agrícolas lumisa. México 675 p*

Manual de Ingeniería de suelos, principios de avenimientos o drenaje Ed. Diana México 1975.

Milanovic, P.T. 1981. Karst Hydrogeology. Water Resources Publications, U.S.A p. 434

Mourgues, M. 1996 Drenaje fundo Santa María de Maule. Proyecto presentado al concurso 109 de la ley 18.450

Palacios V. E. (1979) Manual de operación de distrito de riego UACH Chapingo México.

Pizarro, Fernando. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Ed. Agrícola Española S.A. Madrid 521 p.

Roe H. B. (1960) Drenajes agrícolas Para Ingenieros

Rojas, Rafael. 1984. Drenaje Superficial en Tierras Agrícolas. Serie Riego y Drenaje. CIDIAT. Venezuela. 96 p.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1978 Métodos para estimar la conductividad hidráulica "K" memorándum técnico N°. 373. México. 107 p

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1982 Dirección General de conservación de Suelos y Agua. Integración de Unidades de suelo del estado de Tamaulipas México.

Valdez C. W. y Perterson, H.B. 1977 Técnica del Riego; Fertilización y explotación de los suelos. Séptima impresión Escuela de Agricultura del estado de Utah E.U.A pp. 85 – 131

Warner, J. 1996 Introducción a la hidrogeología. Facultad de Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Nuevo León. México p.174

Wesseling, J. y C.L Van Someren. 1972 materiales para avenamiento. Estudios sobre riego y drenaje publicación. N° 9 FAO

Wither, B. and S. Vipond 1978 el riego diseño y practica Diana México 350 p