

2
lej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

**"BALANCE GEOHIDROLOGICO DE LA ZONA DEL
GUADIANA EN DURANGO"**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
RAUL RIGOBERTO ASCENCIO RASGADO

MEXICO, D. F.

1987



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

* ALCANCES *

Los alcances que se pretenden con el presente trabajo son de tipo Didáctico. Vertiéndolo en él la experiencia que se tiene de campo y de oficina.

El objeto del presente, es que toda aquella persona que lo lea, comprenda la importancia que tiene el Agua Subterránea en México y en todos los países del planeta.

Se pretende hacerlo y redactarlo de tal manera que el lector pueda comprender la mecánica de lo que es un Estudio de Hidrología Subterránea, desde su proyecto, trabajo de campo, información complementaria, interpretación de los trabajos de campo, trabajos de oficina balance general de la zona en estudio, entrega de un informe y la aplicación a algún problema en particular. Ya que debido a lo escaso del agua superficial, y a lo costoso que es transportarla, es de suma importancia saber cuantificar y aprovechar debidamente los Recursos Hidráulicos Subterráneos.

Otro de los objetivos del presente, es que sirva como un Libro de Consulta de la materia de Geohidrología, que se imparte en nuestra Escuela.

" CONCLUSIONES "

- a) Es de suma importancia entender que significa, que es y para que sirve La Hidrología Subterránea, ya que el agua proveniente de acuíferos es valiosa.
- b) Darse cuenta de las ventajas y desventajas que presenta el agua subterránea en comparación con el agua superficial.
- c) Es necesario un conocimiento pleno de lo que es el Ciclo Hidrológico, para lograr una concepción real de lo que es el agua subterránea.
- d) Como toda ciencia la Hidrología Subterránea, tiene sus propios conceptos generales, los cuales hay que conocer y entender.
- e) Al lugar donde se almacena el agua subterránea se le denomina acuífero, y hay varios tipos de estos.
- f) Consecuencia de la gran variedad de suelos que existen, es indispensable conocer la distribución del agua en el suelo.
- g) Dentro de el acuífero, la facilidad ó la dificultad de circulación del agua depende de la porosidad del medio, así como de su permeabilidad.
- h) DARCY con sus experimentos inicio la parte de mediciones dentro de la Hidrología Subterránea.
- i) Todo estudio de Hidrología Subterránea inicia con los trabajos de campo, que son los datos que nos han de indicar que actitudes tomar, según el estado en que se encuentra el área de estudio.
- j) El censo de pozos es la actividad más laboriosa, pero también la más importante de las actividades de campo, por la gran cantidad de datos que de ella se obtienen.

- k) Aplicando todos los conceptos adquiridos relativos a la Hidrología Subterránea y basándonos en el principio de que la materia no se crea ni se destruye, sino se transforma, podemos realizar un balance del estado del acuífero de una área determinada, es decir, recarga menos descarga es igual a cambio en el almacenamiento.
- l) Las recargas acuíferas dependen de: entradas por flujo horizontal y recarga vertical.
- m) Las descargas del acuífero dependen de: salidas de flujo horizontal, el bombeo y el flujo base.
- n) Con la aplicación de la Ley de Darcy se obtiene el flujo horizontal tanto de entrada como de salida.
- o) Una buena elección de pruebas de bombeo es indispensable para poder cuantificar el flujo horizontal correctamente, ya que de ellas se obtiene la transmisibilidad que es uno de los elementos importantes en la obtención del flujo subterráneo.
- p) La causa de que un río sea perene, es el flujo base, es decir el agua que circula por el subsuelo y llega al río, el cual la drena en forma superficial, es por esto que para poder cuantificar el flujo base es necesario una estación de aforo en los ríos veanales al área.
- q) Los recorridos piezométricos en períodos constantes tienen una gran importancia, ya que en ellos se manifiesta de una manera directa la variación en el almacenamiento de un acuífero.
- r) Conocer cuanta agua se extrae de una área determinada, es una tarea difícil y poco precisa y para lograrlo se hace uso de métodos indirectos.

- s) Los resultados del Censo General de Aprovechamientos indican la existencia de 436 pozos profundos de los cuales 328 se encontraban activos en esa fecha.
- t) El Río Tunal sirve de dren al acuífero en la mayor parte de su trayectoria.
- u) La profundidad al nivel estático es corta en todo el Valle, pero es especialmente al norte y en las salidas superficiales del Valle donde se tienen profundidades de entre 2 y 4 m. El nivel medio al nivel estático en el Valle es de unos 10 m.
- v) Las curvas de igual elevación del nivel estático permiten inferir que el flujo subterráneo es de forma concéntrica en el Valle para luego abandonarlo por la parte Este del mismo.
- x) Los ríos en las partes cercanas a la sierra recargan al acuífero, mientras que en el Valle lo drenan.
- y) La elevación en el Valle ha sido positiva excepto en las zonas de gran concentración, como la Ciudad de Durango.

RECOMENDACIONES

- a) Estudiar con interés y responsabilidad lo relacionado a la Hidrología Subterránea. -
- b) Entender la gran importancia de los Recursos Hidráulicos Subterráneos.
- c) Recopilar y procesar toda la información requerida.
- d) No emitir un juicio sin haber estudiado todas las posibles alternativas.
- e) Tener en cuenta el número de personas a que se beneficia.
- f) No perder de vista el tipo y calidad de suelo, agua, cultivos y - -
costrumbres de los lugareños.
- g) No permitir que una área sea sobre explotada, ya que esto traería conse---
cuencias socioeconómicas graves.
- h) Importante es actualizar periódicamente el balance de agua subterránea.

I N D I C E G E N E R A L

PROLOGO			1
CAPITULO	I	" CLIMATOLOGIA "	
	I.1.	El Ciclo Hidrológico	6
	I.2.	Precipitación	8
	I.3.	Temperatura	18
	I.4.-	Evaporación	24
	I.5.	Transporación	25
	I.6.	Evapotranspiración	25
	I.7.	Clasificación de Climas	38
CAPITULO	II	" CONCEPTOS GENERALES"	
	II.1.	Acuifero	43
	II.2.	Acuifugo	43
	II.3.	Acuicludo	43
	II.4.	Acutardo	43
	II.5.	Acuiferos Libres	44
	II.6.	Acuiferos Semiconfinados	44
	II.7.	Acuiferos Confinados	44
	II.8.	Homogeneidad e Isotropia	47
	II.9.	Distribución del agua en el suelo y en el subsuelo	47
	II.10.	Infiltración	51
	II.11.	Porosidad	53
	II.12.	Rendimiento específico	54
	II.13.	Retención específica	57
	II.14.	Coefficiente de Almacenamiento	58
	II.15.	Permeabilidad	63
	II.16.	Ley de Darcy	63

	II.17.	Transmisibilidad	69
	II.18.	Actividades de Campo	71
CAPITULO	III	"CUANTIFICACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS"	
	III.1.	Cuantificación de los Recursos Hidráulicos	76
	III.2.	Análisis del Esguerrimiento Superficial	80
	III.3.	Pruebas de Bombeo	82
	III.4.	Hidrometría Piezométrica	92
	III.5.	Bombeo	97
CAPITULO	IV	"B A L A N C E"	
	IV.1.	Balance	101

INDICE DE CUADROS

<u>CUADRO NUM.</u>		<u>PAGINA</u>
	CAPITULO I "CLIMATOLOGIA"	
I.2.1.	Precipitación Anual	16
I.2.2.	Precipitación Media, Mensual y Anual	17
I.3.1.	Temperatura Media Anual	19
I.3.2.	Temperatura Media Mensual	20
I.6.1.	Indice de Calor Mensual	31
I.6.2.	Evapotranspiración Mensual	32
I.6.3.	Factor de Corrección por Latitud	33
I.6.4.	Porcentaje de Horas Sol Mensual	35
I.6.5.	Ciclo Vegetativo	36
I.6.6.	Ciclo Vegetativo	37
	CAPITULO II "CONCEPTOS GENERALES"	
II.11.1.	Rangos de Porosidad	55
II.16.1.	Valores Representativos de Permeabilidad	68
II.18.1.	Censo de Aprovechamientos Hidráulicos	74
II.18.2.	Censo de Aprovechamientos Hidráulicos	75
	CAPITULO III "CUANTIFICACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS"	
III.1.1.	Cálculo de Entradas y Salidas Horizontales	79
III.4.1.	Profundidad y Elevación del Nivel Estático	93
III.4.2.	Profundidad y Elevación del Nivel Estático	94

INDICE DE FIGURAS

<u>FIGURA NUM.</u>		<u>PAGINA</u>
	" PROLOGO "	
O.1.	Formas Antiguas de Abastecimiento	2
O.2.	Formas Actuales de Abastecimiento	5
	CAPITULO I " CLIMATOLOGIA "	
I.1.1.	El Ciclo Hidrológico	7
I.4.1.	Evaporación Potencial	26
I.5.1.	Evapotranspiración Real	29
	CAPITULO II " CONCEPTOS GENERALES "	
II.7.1.	Tipos de Acuíferos	45
II.7.2.	Estructura Acuifera	46
II.9.1.	Distribución del Agua en el Suelo y en el Subsuelo	50
II.10.1.	Infiltración del Agua en el Suelo	52
II.11.1.	Distintos Tipos de Intersticios	56
II.14.1.	Definición del Coeficiente de Almacenaje	60
II.14.2.	Pozo Terminado Corte Litológico	61
II.14.3.	Dispositivo para Extraer Agua	62
II.16.1.	Ley de Darcy	64
II.17.1.	Esquema de Permeabilidad y Transmisibilidad	69

I N D I C E D E P L A N O S

<u>PLANO NUM.</u>		<u>PAGINA</u>
	CAPITULO I " CLIMATOLOGIA "	
I.2.1.	Ubicación de Estaciones Climatológicas	10
I.2.2.	Polígono de Thiessen	12
I.2.3.	Isoyetas Medias Anuales	13
I.3.1.	Isotermas Medias Anuales	23
I.4.1.	Evaporación Potencial Media Anual	28
	CAPITULO II " CONCEPTOS GENERALES "	
II.18.1	Zonas Geohidrológicas	72
II.18.2.	Localización de la Zona de Estudio	73
	CAPITULO III " CUANTIFICACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS "	
III.1.1.	Cuenca Hidrográfica	81
III.4.1.	Profundidad al Nivel Estático	104
III.4.2.	Elevación del Nivel Estático	105
III.4.3.	Evolución del Nivel Estático	106
III.5.1.	Caudal de Pozos	98

INDICE DE GRAFICAS

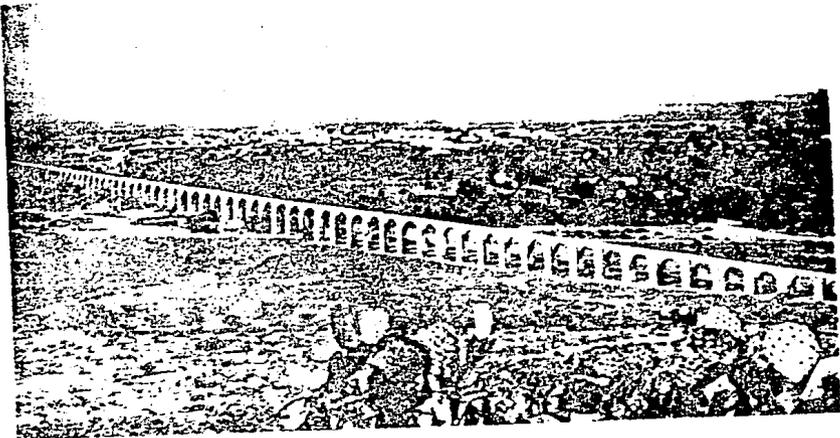
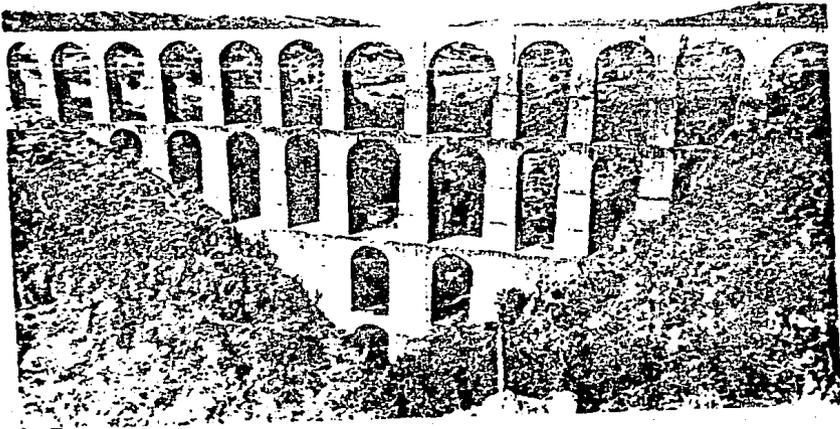
<u>GRAFICA NUM.</u>		<u>PAGINA</u>
	CAPITULO I " CLIMATOLOGIA "	
I.2.1.	Precipitaciones y Temperaturas Medias	15
I.3.1.	Temperatura Media Mensual	21
I.3.2.	Temperatura y Precipitación Medias Anuales	22
I.4.1.	Evaporación Potencial Media Mensual	27
	CAPITULO II " CONCEPTOS GENERALES "	
	CAPITULO III " CUANTIFICACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS "	
III.2.1.	Hidrograma Estación El Saltito	103
III.3.1.	Pruebas de Bombeo Jacob	86
III.3.2.	Prueba de Bombeo Jacob	87
III.3.3.	Prueba de Bombeo Hantush	88
III.3.4.	Prueba de Bombeo Hantush	89
III.3.5.	Prueba de Bombeo Tipo	90
III.3.6.	Prueba de Bombeo Tipo	91
III.4.1.	Variación de Profundidad de los Niveles Estáticos	95
III.4.2.	Variación de Profundidad de los Niveles Estáticos	96

GEOHIDROLOGIA:

La palabra Hidrología Subterránea se deriva del griego, y significa Hidros (Agua), Logos (Tratado), es decir Tratado del Agua -- Subterránea. Debido a la escases de agua superficial, los pueblos del mundo han tenido que recurrir al agua subterránea, entre los precursores tenemos a las regiones de Asia en donde la concentración de población y el predominio de la agricultura los llevó a la necesidad de construir -- pozos y norias a base de fuerza humana y animales. Por los años 300 -- A.de C. El desarrollo de esta ciencia fué muy lento, y no fué hasta el siglo pasado cuando se observó un desarrollo en forma rápida debido a las técnicas de perforación de pozos y al conocimiento de geología más -- avanzados.

Debido a los grandes consumos de agua actuales ya sean -- para concentraciones de población o con fines agrícolas el hombre moderno se ha visto en la necesidad de recurrir al agua subterránea; encon-- trándola en mayor abundancia que la superficial. Algunos estudios com-- parativos nos dicen que el 0.0091% es agua existente en el planeta es -- agua dulce superficial, mientras que el 0.335% es agua subterránea. O_ tro estudio nos revela que el 90% del agua dulce disponible en la tierra se encuentra bajo la superficie de la tierra, uno más, qu el volúmen de agua almacenada en el subsuelo es 20 veces mayor que el agua dulce super_ ficial. Sea cual se la proporción exacta, es evidente que el volúmen -- de agua subterránea disponible es mucho mayor que el agua superficial.

A continuación se hace una comparación entre el agua -- subterránea y el agua superficial.



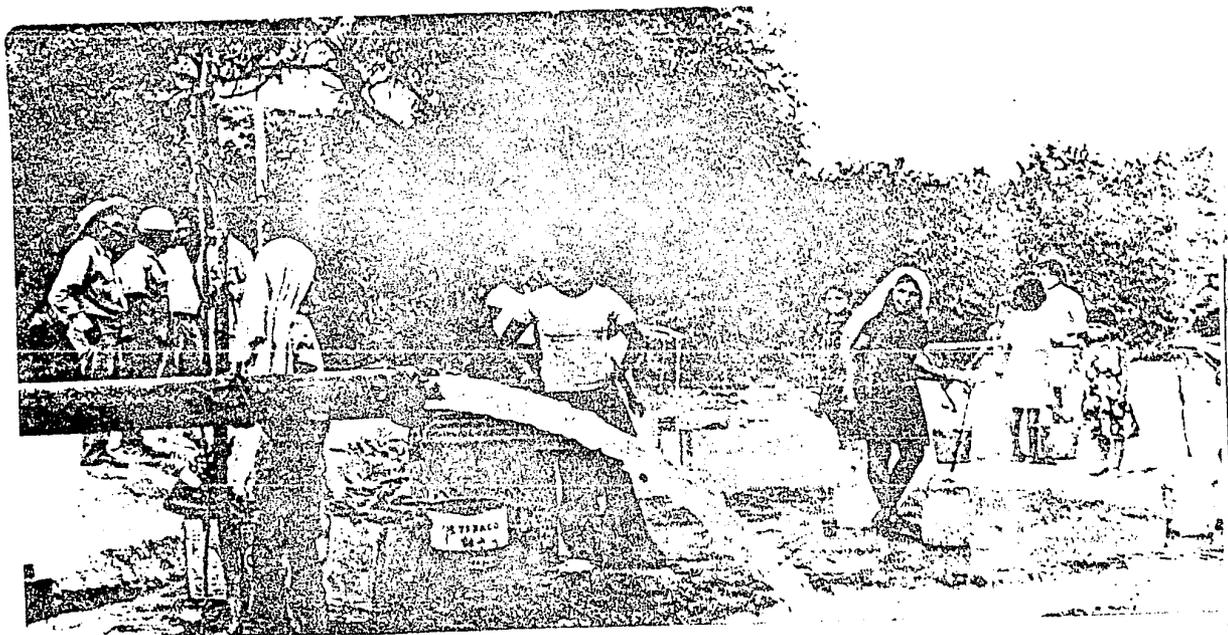
FORMAS ANTIGUAS DE ABASTECIMIENTO

Ventajas del agua subterránea sobre el agua superficial.

1. Los volúmenes de agua subterránea almacenados son generalmente mayores que los de agua superficial, lo que los hace más resistentes a las sequías.
2. El agua subterránea presenta menor pérdidas por evaporación, fenómeno por el cual, año con año se pierde volúmenes considerables de agua superficial.
3. Los depósitos de agua subterránea, generalmente no necesitan ser tratados antes de ser utilizados con fines industriales o domésticos mientras que el agua superficial se presta más a la contaminación.
4. Su temperatura es aproximadamente constante durante todo el año debido a que el subsuelo funciona como un regulador térmico, en cambio el agua superficial dificulta su consumo a temperaturas menores de 0° C.
5. Por lo general el agua subterránea no posee turbidez ni color.
6. Su composición química es generalmente constante.
7. Las pérdidas de capacidad en el almacenamiento no existen, en tanto que los depósitos de aguas superficiales suelen azolvarce mermando así su capacidad.
8. Posee una distribución más amplia en el área y en muchas ocasiones debajo de su lugar de consumo..
9. El agua subterránea acumulada por la naturaleza durante largos años de recarga, puede constituir el único recurso en muchas regiones en donde no es posible asegurarse el abastecimiento a partir exclusivamente de la explotación de sus recursos hidráulicos superficiales.

Desventajas del agua subterránea frente al agua superficial.

1. Una de la principales desventajas es que el agua subterránea no es visible lo que lleva a las siguientes incógnitas ¿cuál es la geometría del acuífero en el subsuelo? ¿Qué alimentación recibe el acuífero y cual es su volumen almacenado? ¿A qué profundidad se encuentra el agua subterránea? ¿Cuál es la distribución de calidad del agua? ¿Qué volumen podemos extraer sin tener consecuencias perjudiciales?
2. El costo de explotación del agua subterránea es mayor que el de el agua superficial.



FORMAS ACTUALES DE ABASTECIMIENTO

Referencia Núm. 5

Figura 0.2

CAPITULO I

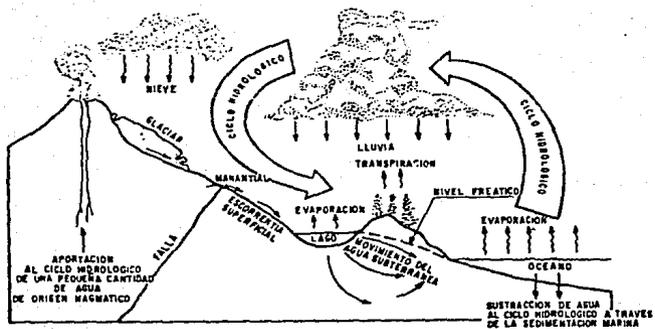
" CLIMATOLOGIA "

I.1.- Ciclo Hidrológico

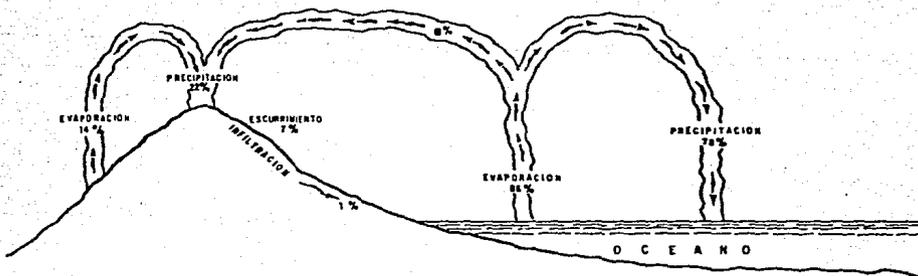
Todas las aguas circulantes en la tierra se encuentran interrelacionadas entre si, por medio del ciclo hidrológico, como se observa en la -- figura (1.1).

El origen del ciclo hidrológico es en el mar, al evaporarse el agua y convertirse en nubes, las cuales son transportadas al interior del continente por los vientos. Al condensarse el vapor de agua, se precipita al continente en forma de lluvia, nieve o granizo, de la cual una parte escurre superficialmente por medio de arroyos y/o ríos hasta llegar a depositarse en lagunas o en el mar, retornando así a su lugar de origen; otra parte se evapora en la atmósfera sin llegar a la superficie para convertirse así en nube; una parte es retenida por las plantas las cuales la -- transpiran evaporándola de esta manera; el resto del agua infiltra en la superficie del terreno contribuyendo a el agua subterránea, la cual circula y aflora a la superficie en forma de manantial y/o es extraída por las raíces de las plantas, que la evapotranspiran y/o es evaporada si el nivel freático es muy somero y/o es depositada a los ríos por medio del flujo -- base y/o circula hasta llegar al mar.

Desde el punto de vista geológico parece evidente que el volumen de agua de los océanos ha permanecido aproximadamente constante durante los -- últimos quinientos millones de años, de donde se deduce que la cantidad -- total de agua del ciclo hidrológico ha permanecido también prácticamente -- constante.



C I C L O H I D R O L O G I C O



El Ciclo Hidrológico

Como se puede observar, el ciclo del agua se desarrolla en tres medios diferentes que son: La atmósfera, La superficie del suelo y el subsuelo. De lo que se puede extraer la ecuación más general del ciclo hidrológico.

$$P = EV + S + I$$

Donde:

P = Precipitación

EV = Evapotranspiración

S = Escurrimiento superficial

I = Infiltración

Los términos anteriores serán los temas de los siguientes subcapítulos en este primer capítulo.

1.2. PRECIPITACION:

Cuando el vapor de agua se condensa en torno a los núcleos de partículas suspendidas en el aire, se forman gotas de agua, que al precipitarse en la superficie terrestre por cambios de temperatura y presión, - dan origen a la lluvia, granizo y/o nieve. La cantidad de agua ya sea en estado sólido o líquido que cae a la superficie terrestre es conocida con el nombre de precipitación.

Es importante conocer la cantidad de agua precipitada, ya que influye en forma directa a la recarga del agua subterránea. Existen varias formas de medir el volúmen de agua precipitada en la superficie terrestre entre los que destacan, los pluviómetros ó pulviógrafos, los cuales son aparatos instalados en las estaciones climatológicas que proporcionan la lámina de agua precipitada, en milímetros en la zona. Estos datos pueden ser recabados en el departameto de climatología de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos o de la Comisión Federal de Electricidad.

Los métodos más sobreslientes para calcular el volúmen de agua precipitado en una cierta área son los siguientes:

- a) Método de la media aritmética: Este método consiste en multiplicar el área de interés por el promedio de las láminas registradas en un mismo intervalo de tiempo en diferentes estaciones climatológicas, localizadas dentro de la misma área como se encuentra en el plano (1.2.1.)

$$V = A \frac{P}{N_e}$$

Donde:

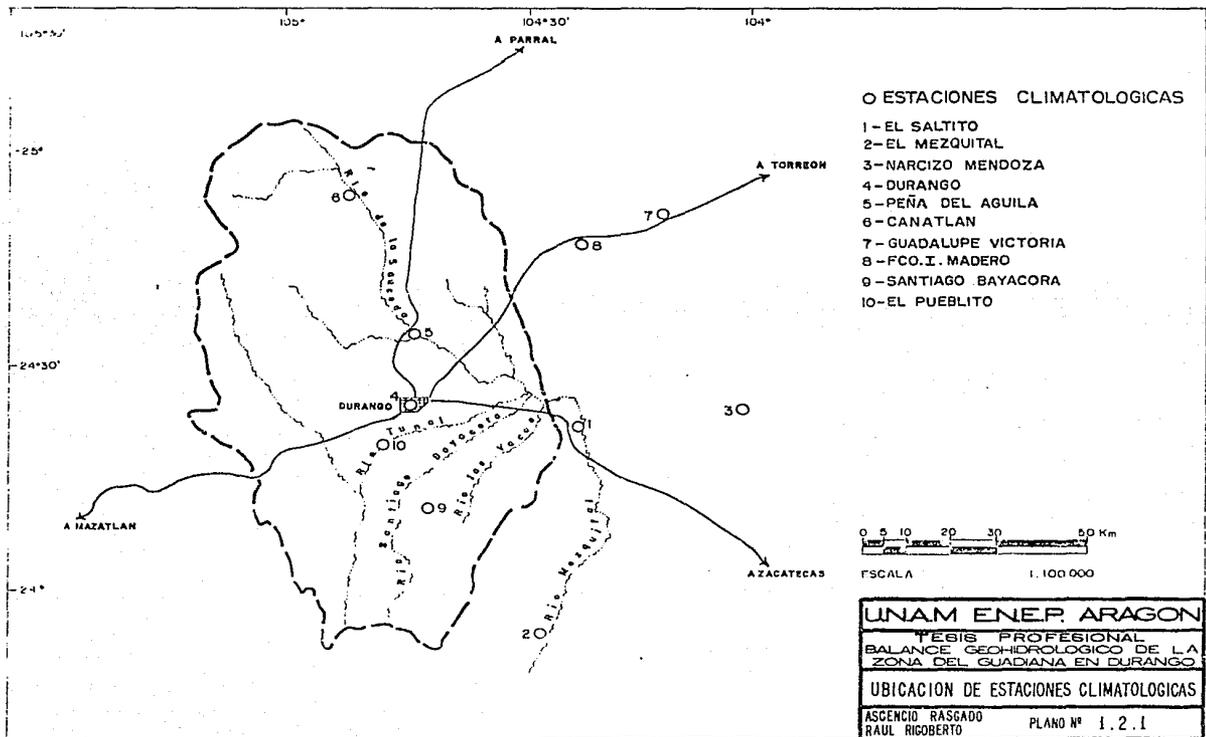
V = Volúmen precipitado

A = Area de interés

P = Lámina de precipitación

N_e = Número de estaciones climatológicas

- b) Método de Thiessen: Thiessen, situa en un plan plano las estaciones climatológicas luego las une mediante rectas y en la parte medio de cada recta.



traza una perpendicular lo que da origen a una serie de polígonos quedando dentro de cada polígono una estación climatológica cuyo valor de precipitación se dará a la superficie del polígono como se puede ver en el plano (1.2.2)

Para calcular el volúmen total precipitado Thiessen multiplica cada área de polígono por su correspondiente lámina de precipitación y luego las suma, lo que se puede expresar en la fórmula siguiente:

$$V = \sum A_i P_i$$

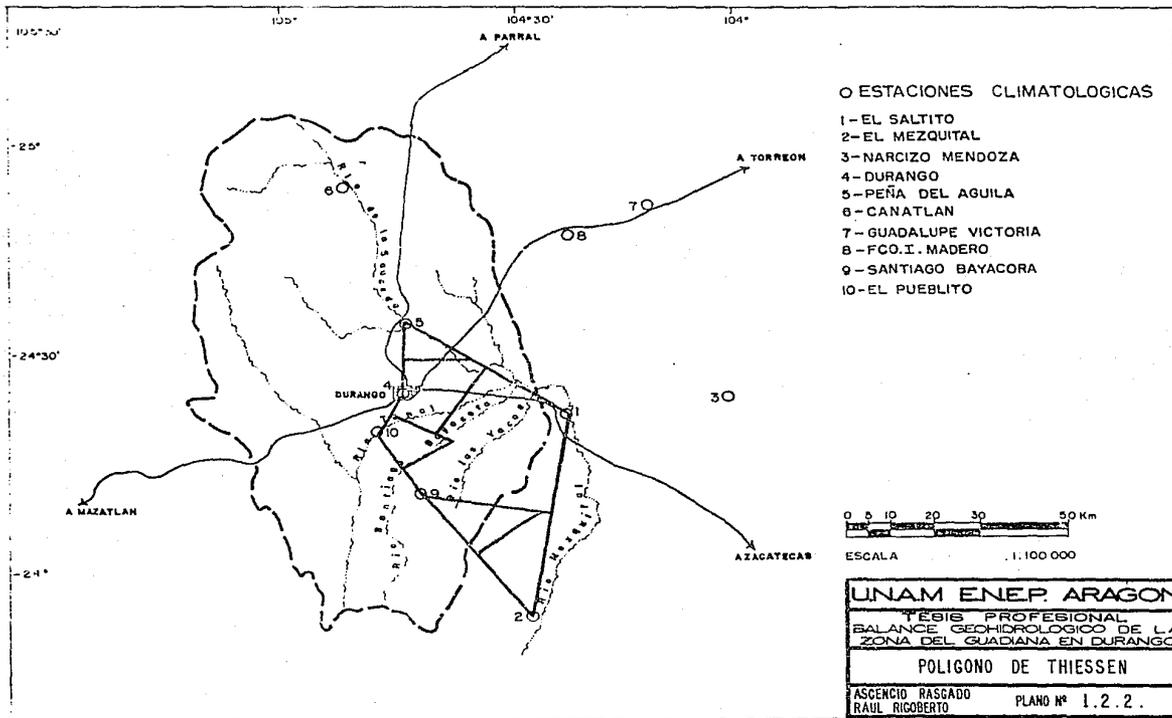
Donde:

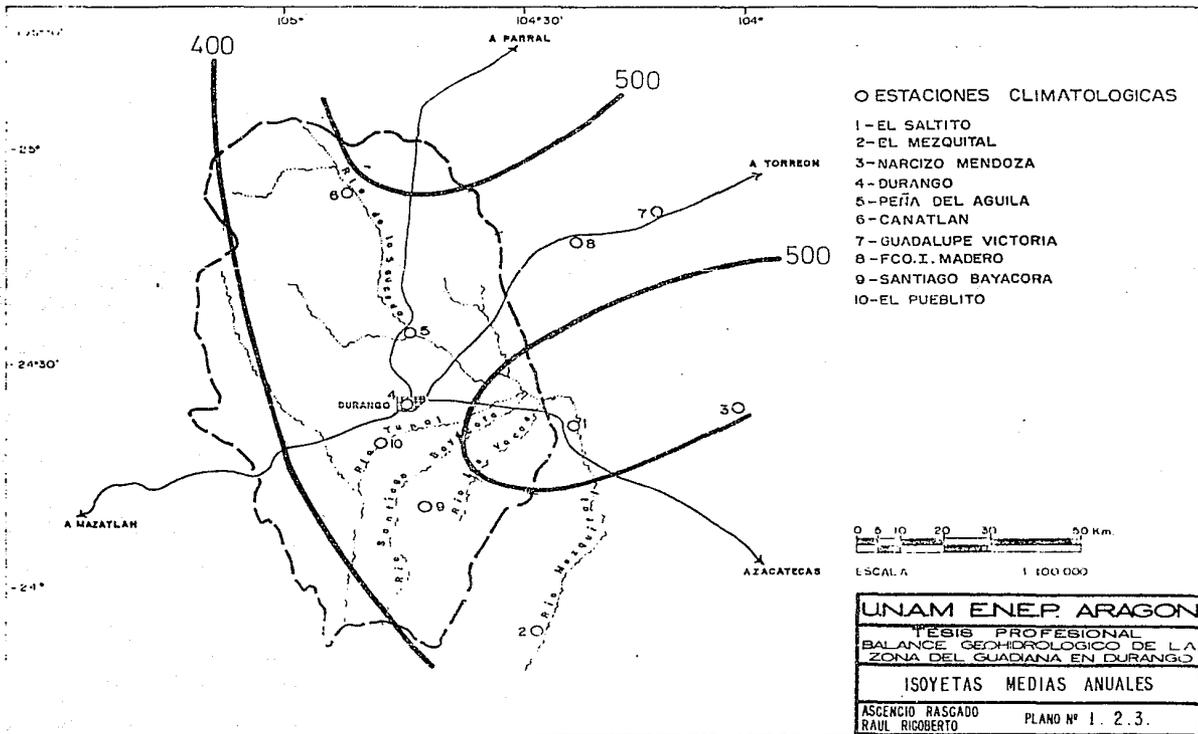
V = Volúmen total precipitado

A_i = Area correspondiente al polígono i en la estación

P_i = Precipitación medida en el pluviómetro o pluviógrafo i

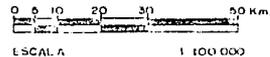
c) Método de las Isoyetas: Es el método más exacto pero también el más laborioso, ya que requiere de un estudio planimétrico. El método consiste en trazar curvas de igual precipitación (Isoyetas) sobre un plano, apoyadas en los datos de las estaciones climatológicas como se puede observar en el plano (1.2.3). La forma de cuantificar el volúmen total precipitado es





O ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

- 1- EL SALTITO
- 2- EL MEZQUITAL
- 3- NARCIZO MENDOZA
- 4- DURANGO
- 5- PEÑA DEL AGUILA
- 6- CANATLAN
- 7- GUADALUPE VICTORIA
- 8- FCO. I. MADERO
- 9- SANTIAGO BAYACORA
- 10- EL PUEBLITO



UNAM ENEP ARAGON	
TESIS PROFESIONAL	
BALANCE GEODROLOGICO DE LA ZONA DEL GUADIANA EN DURANGO	
ISOYETAS MEDIAS ANUALES	
ASCENCIO RASGADO RAUL RIGOBERTO	PLANO Nº 1. 2. 3.

obteniendo el promedio de precipitación de dos curvas Isoyetas consecutivas, multiplicandose por el área comprendida entre ambas y siguiendo así con el mismo procedimiento en las demás, hacer la sumatoria de volúmenes parciales.

En forma analítica sería:

$$V = \frac{P_i + P_{i+1}}{2} (A_i)$$

Donde:

V = Volúmen precipitado en la zona
 P_i = Precipitación en la isoyeta
 A_i = Area entre isoyetas

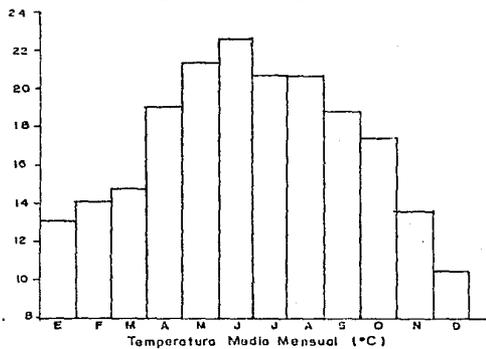
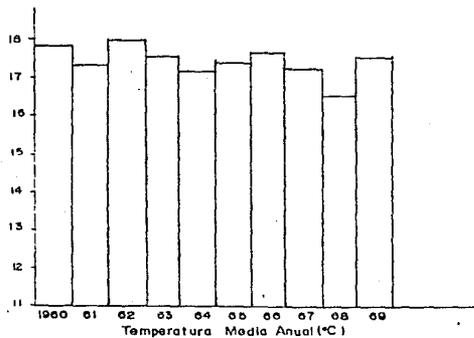
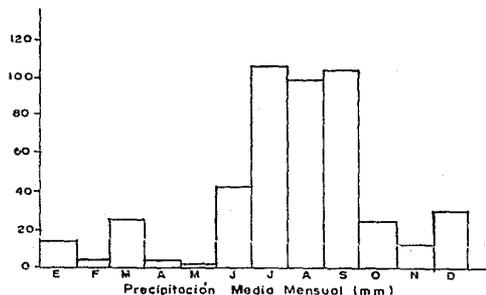
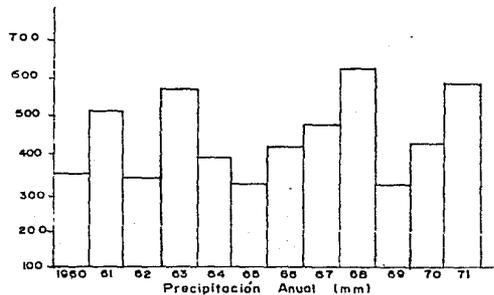
Con el objeto de conocer la distribución de lluvias en un período determinado de tiempo se construyen los hietogramas. Estos permiten visualizar en forma rápida las altas y bajas de la precipitación.

Los Hietogramas se hacen en períodos largos de tiempo (meses, semestres o años), ya que en general el movimiento de la masa de agua subterránea es lenta y no es sensible a las variaciones horarias o incluso, diarias de dichos datos. Los Hietogramas se hacen graficando precipitación media mensual VS. tiempo en meses o precipitación media anual VS. tiempo en años como se obtuvieron en la gráfica (1.2.1)

Con el objeto de conocer la precipitación media mensual de un área determinada, en un cierto tiempo, se realizan cuadros de precipitación en las que aparecen las estaciones climatológicas con sus respectivas precipitaciones medias.

Es importante que los datos de todas las estaciones sean del mismo período como se puede ver en los cuadros (1.2.1 y 1.2.2)

ESTACION DURANGO



Gráfica 1.2.1

ESTACION	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
EL SALTITO	573.0	638.4	465.9	509.7	481.3	396.6	599.7	409.3	525.4	293.4
PEÑA DEL - AGUILA	618.8	458.3	364.1	468.6	322.6	483.7	654.2	403.2	544.1	371.6
SANTIAGO BA- YACORA	593.5	544.0	493.5	540.5	473.0	433.5	697.5	465.0	687.0	343.6
EL PUEBLITO	530.5	502.8	373.8	756.4	470.9	348.2	757.5	435.0	517.0	363.9
PROMEDIO	566.45	535.87	424.32	593.87	436.95	415.5	677.22	428.12	568.37	343.12

PRECIPITACION ANUAL EN LA ZONA DE ESTUDIO (mm.)

CUADRO 1.2.1.

ESTACION	PERIODO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
EL SAL - TITO	58-80	12.06	3.708	3.56	10.34	12.81	86.82	112.17	131.10	107.05	35.96	7.668	16.21	513.28
PEÑA DEL AGUILA	54-80	7.7	4.8	3.5	4.0	5.6	57.2	105.8	135.00	98.3	33.9	6.2	11.7	468.69
SANTIAGO BAYACORA	64-80	32.9	9.0	4.6	3.5	13.6	70.8	120.0	130.0	107.6	30.1	10.9	20.6	540.82
EL PUE- BLITO	62-80	11.9	7.55	4.72	3.66	7.6	64.3	108.2	136.3	107.6	31.2	11.5	23.8	517.77
DURANGO	41-71	14.1	4.7	25.2	3.8	3.2	41.9	116.7	97.7	104.9	24.3	12.6	30.3	422.16

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL Y ANUAL EN EL AREA DE ESTUDIO (mm.)

CUADRO 1.2.2.

1.3. TEMPERATURA:

La temperatura es medida en las estaciones climatológicas de las diferentes dependencias del gobierno por medio de termómetros colocados bajo ciertas normas. Los datos de temperatura de mayor interés corresponden a intervalos de tiempo de meses o años, datos que servirán para cálculos posteriores. Los datos de temperatura se presentan por medio de cuadros, figuras y planos:

- a) En los cuadros: Se mencionan las diferentes estaciones localizadas en el área de interés, el período de observación y sus temperaturas medias mensuales y anuales como se observa en los cuadros (1.3.1 y 1.3.2)
- b) Las figuras: Son representadas mediante gráficas de temperatura media mensual y anual contra un intervalo de tiempo determinado, así como la gráfica (1.3.1 y 1.3.2)
- c) En los planos: Se trazan líneas Isotermas ó de igual temperatura, ubicándose las diferentes estaciones climatológicas en el plano y se hacen coincidir las estaciones con igual temperatura, al trazar estas curvas es importante tener en cuenta la topografía del terreno, como se observa en el plano (1.3.1)

ESTACION	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
EL SALTITO	18.1	17.8	18.2	17.3	17.5	17.3	17.0	17.2	17.6	17.4
PEÑA DEL AGUILA	16.6	17.1	17.4	17.05	17.0	17.0	16.5	17.0	17.3	17
SANTIAGO BAYACORA	19.3	18.9	19.9	19.36	19.5	19.7	18.9	20.0	19.9	19.2
PUEBLITO	17.9	18.2	18.5	17.5	17.8	17.5	16.9	17.5	17.4	17.2

TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA ZONA DE ESTUDIO (°C)

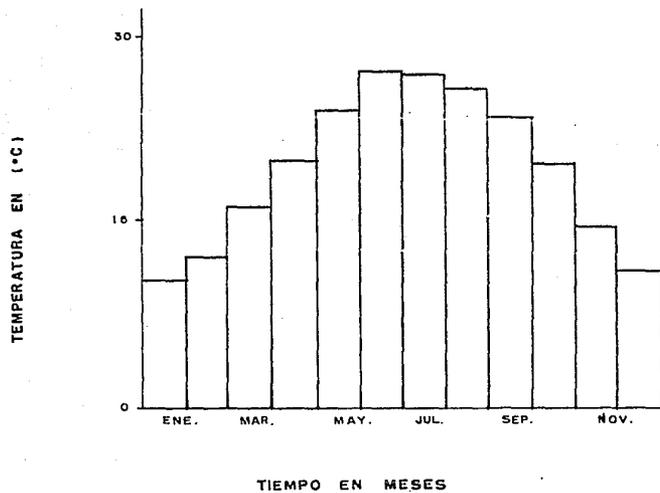
CUADRO 1.3.1.

ESTACION	PERIODO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
EL SAL - TITO	58-79	11.82	12.84	15.72	18.82	21.86	23.18	21.79	21.2	20.32	17.77	14.93	12.49	17.7
PEÑA DEL AGUILA	54-79	10.7	11.8	14.6	18.6	21.0	22.3	20.6	20.0	19.0	15.9	13.9	11.6	17.0
SANTIAGO BAYACORA	64-79	13.31	14.71	17.15	20.35	23.05	25.25	23.25	22.91	21.94	19.81	17.02	13.61	19.38
EL PUEBLI TO	62-79	12.2	13.28	16.02	19.25	21.67	22.81	21.41	20.61	19.75	17.95	15.32	12.8	17.78
DURANGO	41-70	11.1	14.2	14.8	19.2	21.5	22.7	20.7	20.71	18.8	17.4	13.7	11.5	17.60

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y ANUAL EN LA ZONA DE ESTUDIO (°C)

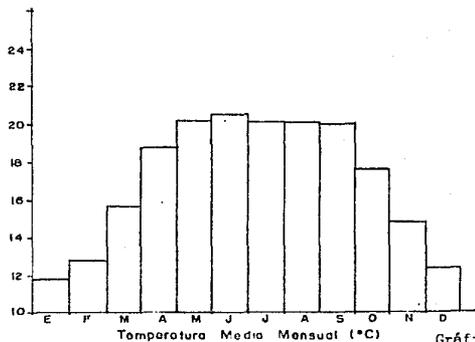
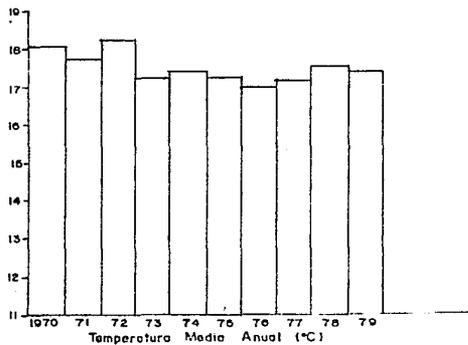
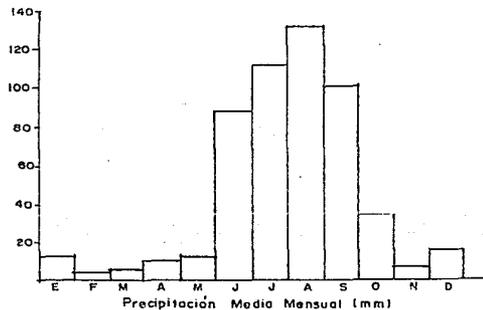
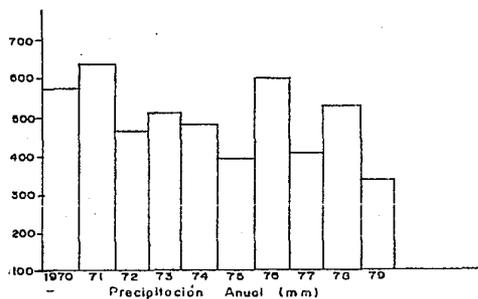
CUADRO 1.3.2.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

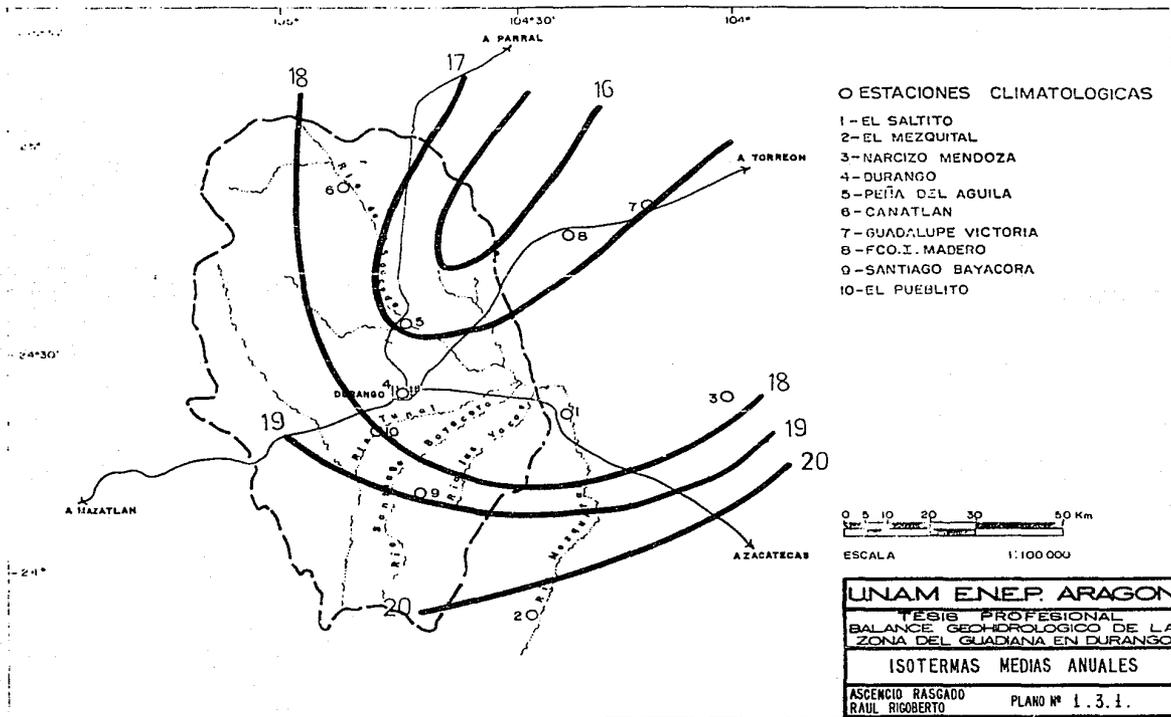


Gráfica 1.3.1.

ESTACION EL SALTITO

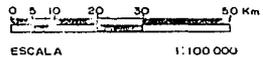


Gráfica 1.3.2



O ESTACIONES CLIMATOLOGICAS

- 1-EL SALTITO
- 2-EL MEZQUITAL
- 3-NARCIZO MENDOZA
- 4-DURANGO
- 5-PEÑA DEL AGUILA
- 6-CANATLAN
- 7-GUADALUPE VICTORIA
- 8-FCO.I. MADERO
- 9-SANTIAGO BAYACORA
- 10-EL PUEBLITO



UNAM ENEP. ARAGON	
TESIS PROFESIONAL	
BALANCE GEODROLOGICO DE LA ZONA DEL GUADIANA EN DURANGO	
ISOTERMAS MEDIAS ANUALES	
ASCENCIO RASGADO	PLANO N° 1.3.1.
RAUL RIGOBERTO	

I.4. EVAPORACION:

La evaporación es el fenómeno mediante el cual; las gotas de agua retenidas por las hojas, el agua superficial y las capas freáticas someras; adquieren suficiente energía cinética debido a la radiación solar y pasan del estado líquido al estado gaseoso, como se observa en la figura (I.4.1.)

Se deben tomar en cuenta tanto la Evaporación Potencial, como la Evaporación Real, ya que esta última es la que físicamente afecta el área de trabajo, a diferencia de la Evaporación Potencial, que como su nombre lo indica es la cantidad de agua que podría ser evaporada siempre y cuando esta existiese en forma superficial y permanente.

Con los datos de Evaporación Potencial proporcionados por las estaciones climatológicas se realizarán planos y figuras de isobaras como se observa en la ~~gráfica~~ gráfica I.4.1. y cuya utilización se verá al cuantificar el volumen de agua que es evapotranspirado en el área de estudio.

I.5. TRANSPIRACION:

Se denomina transpiración al proceso por el cual el agua que las plantas toman del suelo, es expulsada quedando a la intemperie, la transpiración se lleva a cabo principalmente en las hojas, como se observa en la figura I.5.1.

I.6. EVAPOTRANSPIRACION:

O uso consuntivo, se define como la cantidad de agua consumida sin posible recuperación para que las plantas cultivadas se desarrollen completamente y maduren su cosecha; agua empleada por las mismas para transpirarla al acumularla en sus tejidos en diversas combinaciones.

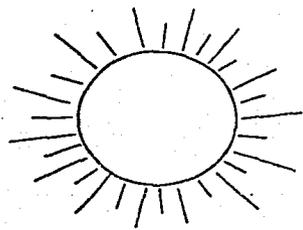
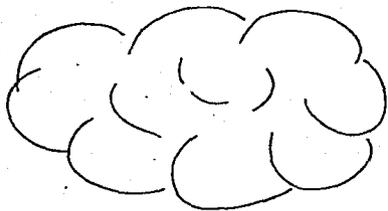
Uso del agua por la planta = Agua usada para la construcción de tejidos + Transpiración

Existen diversos métodos para calcular la evapotranspiración, Métodos Directos y Métodos Indirectos:

Los primeros proporcionan directamente el consumo total de agua requerida utilizando para ellos aparatos e instrumentos para la determinación.

Los segundos en forma indirecta obtienen una estimación del consumo de agua a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la utilización de fórmulas empíricas como: Los Métodos de Thornthwaite y Blaney Criddle.

FACTORES QUE CONTROLAN LA CAPACIDAD EVAPORANTE DE LA ATMOSFERA (EVAPORACION POTENCIAL)

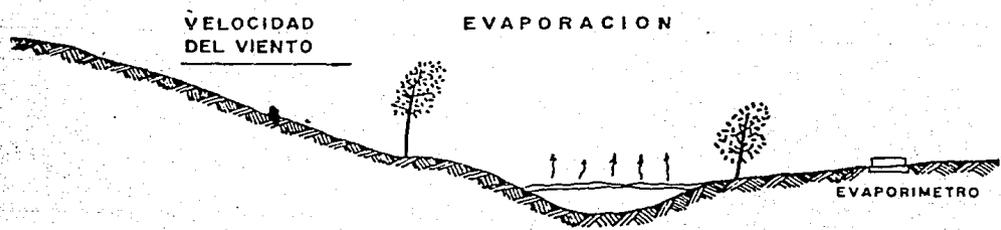


HUMEDAD
RELATIVA

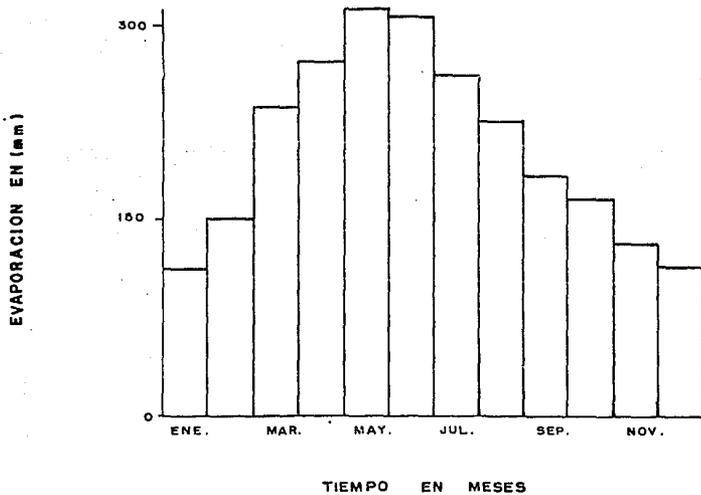
PRESION
ATMOSFERICA

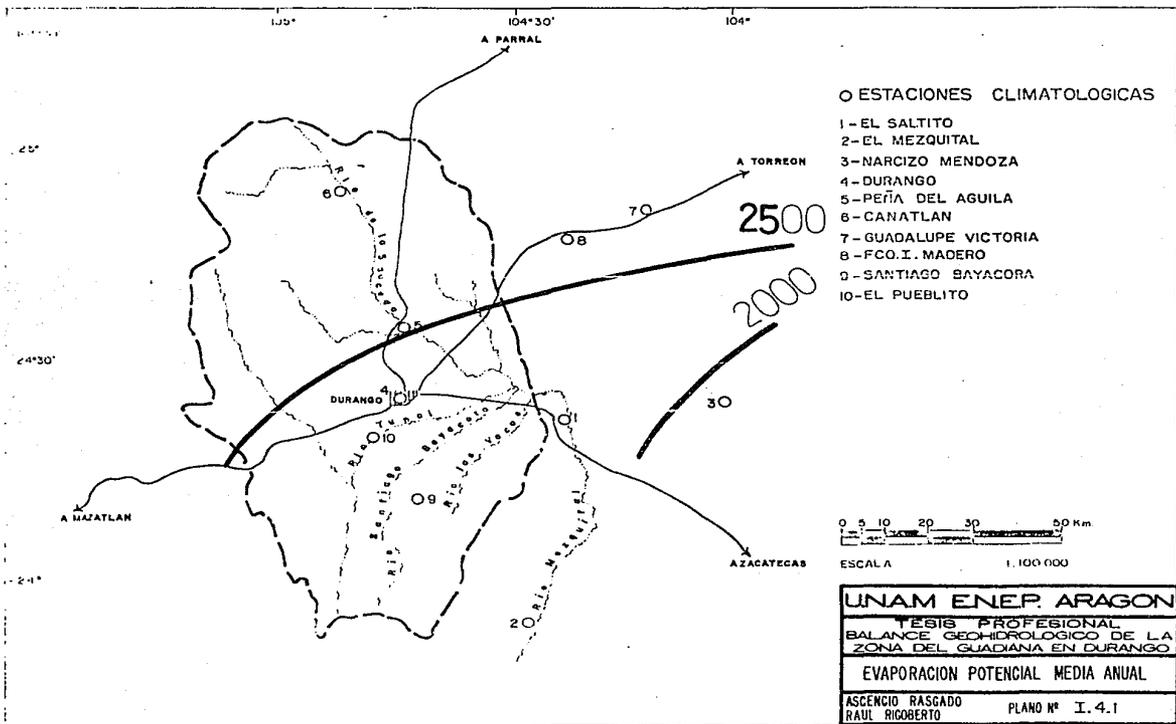
TEMPERATURA

RADIACION
SOLAR

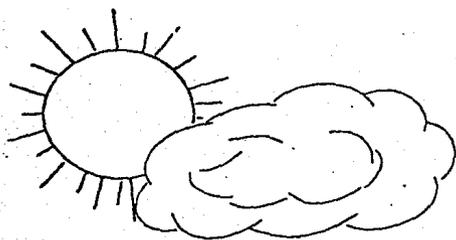


EVAPORACION MEDIA MENSUAL (mm)

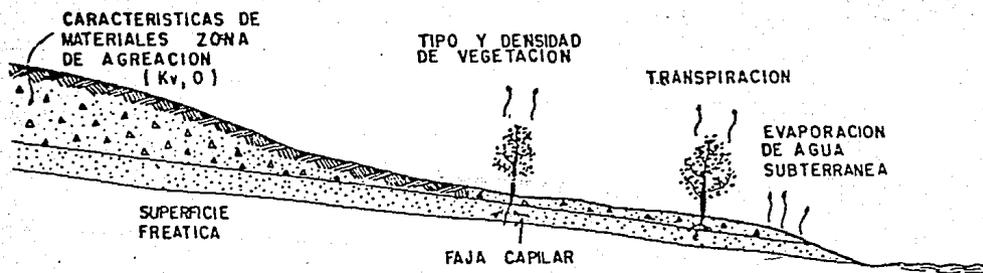




FACTORES QUE CONTROLAN LA
EVAPOTRANSPIRACION REAL



FACTORES ATMOSFERICOS



INDICE DE CALOR MENSUAL (i)

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

T°C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0			.10	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07
1	.09	.10	.12	.13	.15	.16	.18	.20	.21	.23
2	.25	.27	.29	.31	.33	.35	.37	.39	.42	.44
3	.46	.48	.51	.53	.56	.58	.61	.63	.66	.69
4	.71	.74	.77	.80	.82	.85	.88	.91	.94	.97
5	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
6	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63
7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.81
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
13	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
15	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.69	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
18	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.66	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	10.10
23	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	10.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	11.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.79	11.85	11.92	11.99	12.06
26	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	12.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	13.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	14.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	14.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	15.76
31	15.84	15.92	15.99	16.07	16.15	16.23	16.30	16.38	16.40	16.54
32	16.62	16.70	16.78	16.85	16.93	17.01	17.09	17.17	17.25	17.33
33	17.41	17.49	17.57	17.65	17.63	17.81	17.89	17.97	18.05	18.13
34	18.22	18.30	18.38	18.45	18.54	18.62	18.70	18.79	18.87	18.95
35	19.03	19.11	19.20	19.28	19.36	19.45	19.53	19.61	19.69	19.78
36	19.86	19.95	20.05	20.11	20.20	20.28	20.36	20.45	20.53	20.62
37	20.70	20.79	20.87	20.96	21.04	21.13	21.21	21.30	21.38	21.46
38	21.56	21.64	21.73	21.81	21.90	21.99	22.07	22.16	22.25	22.23
39	22.42	22.51	22.59	22.68	22.77	22.86	22.95	23.03	23.12	23.21
40	23.30									

°C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
26.						13.50	13.59	13.68	13.77	13.86
27.	13.95	14.03	14.12	14.20	14.29	14.37	14.45	14.53	14.62	14.70
28.	14.78	14.86	14.94	15.01	15.09	15.17	15.24	15.32	15.39	15.47
29.	15.54	15.61	15.68	15.75	15.82	15.89	15.95	16.02	16.08	16.15
30.	16.21	16.27	16.33	16.40	16.46	16.52	16.58	16.63	16.69	16.74
31.	16.80	16.85	16.91	16.96	17.02	17.07	17.12	17.17	17.21	17.26
32.	17.31	17.35	17.40	17.44	17.49	17.53	17.57	17.61	17.64	17.68
33.	17.72	17.76	17.79	17.83	17.86	17.90	17.93	17.96	17.99	18.02
34.	18.05	18.08	18.10	18.13	18.15	18.18	18.20	18.22	18.25	18.27
35.	18.29	18.31	18.32	18.34	18.35	18.37	18.38	18.39	18.41	18.42
36.	18.43	18.44	18.45	18.45	18.46	18.47	18.47	18.48	18.48	18.49
37.	18.49	18.49	18.49	18.50	18.50	18.50				
38.	18.50									

EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL EN CM. PARA TEMPERATURAS MAYORES A 26.5°C.

Referencia Núm. 6

CUADRO 1.6.2.

FACTOR "F" DE CORRECCION POR LATITUD
LATITUD NORTE

°	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01
1	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01
2	1.04	0.94	1.04	1.01	1.05	1.02	1.04	1.04	1.01	1.04	1.00
3	1.03	0.94	1.03	1.01	1.05	1.02	1.05	1.04	1.01	1.04	1.00
4	1.03	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.05	1.05	1.01	1.03	1.00
5	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99
6	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.04	1.06	1.05	1.01	1.03	0.00
7	1.01	0.92	1.03	1.02	1.07	1.04	1.07	1.06	1.01	1.03	0.99
8	1.01	0.92	1.03	1.03	1.07	1.05	1.07	1.06	1.02	1.02	0.98
9	1.00	0.92	1.03	1.03	1.08	1.05	1.08	1.06	1.02	1.02	0.98
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98
11	0.99	0.91	1.03	1.03	1.09	1.06	1.09	1.07	1.02	1.02	0.97
12	0.99	0.91	1.03	1.04	1.09	1.07	1.10	1.07	1.02	1.01	0.97
13	0.98	0.91	1.03	1.04	1.10	1.07	1.10	1.08	1.02	1.01	0.96
14	0.98	0.91	1.03	1.04	1.10	1.08	1.11	1.08	1.02	1.01	0.96
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.96
16	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.09	1.12	1.09	1.02	1.01	0.95
17	0.96	0.91	1.03	1.05	1.12	1.09	1.13	1.09	1.02	1.00	0.94
18	0.96	0.90	1.03	1.05	1.12	1.10	1.13	1.10	1.02	1.00	0.94
19	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.10	1.14	1.10	1.02	1.00	0.93
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93
21	0.94	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.15	1.11	1.02	1.00	0.92
22	0.94	0.89	1.03	1.06	1.14	1.12	1.15	1.11	1.02	0.99	0.92
23	0.93	0.89	1.03	1.06	1.14	1.13	1.16	1.12	1.02	0.99	0.92
24	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.16	1.12	1.02	0.99	0.91
25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.00	0.91
26	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91
27	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.90
28	0.91	0.88	1.03	1.07	1.17	1.15	1.18	1.13	1.03	0.98	0.90
29	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.15	1.19	1.13	1.03	0.98	0.89
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89
31	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.88
32	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.18	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88
33	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.97	0.87
34	0.88	0.86	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	0.97	0.87
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86
36	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86
37	0.86	0.85	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85
38	0.85	0.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84
39	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83
41	0.83	0.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	0.96	0.82
42	0.82	0.82	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	0.95	0.82
43	0.81	1.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	0.95	0.81
44	0.81	0.81	1.02	1.12	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	0.95	0.80
45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79
46	0.79	0.80	1.02	1.13	1.29	1.30	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79
47	0.77	0.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.05	0.93	0.78
48	0.76	0.79	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	0.93	0.77

DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION POR EL METODO DE
BLANEY CRIDDLE

Blaney y Criddle propusieron un método de tipo específico, en que se toman en cuenta coeficientes para diferentes plantas, en función de su evolución a lo largo del ciclo vegetativo.

La fórmula obtenida, relaciona la temperatura media del lugar, con la luminosidad y la evapotranspiración además introduce un factor de corrección que depende de la época de desarrollo de la planta.

$$V_c = \zeta K_o P \left(\frac{T + 17.8}{21.8} \right)$$

Donde:

V_c = Evapotranspiración total en cm.

K_o = Coeficiente de desarrollo

P = Porcentaje de horas sol mensual

T = Temperatura media mensual

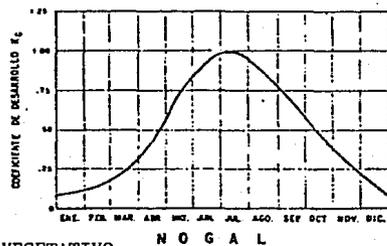
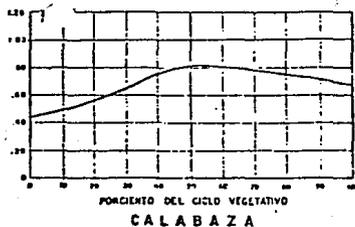
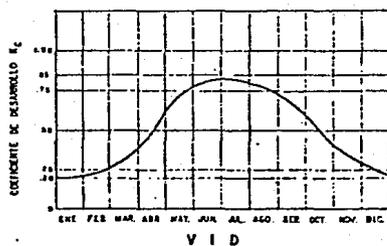
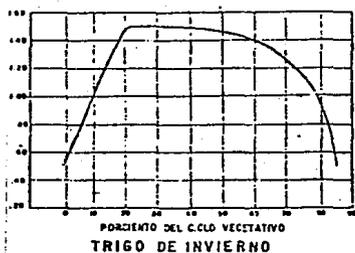
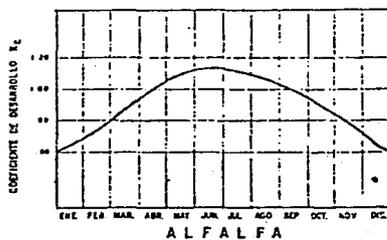
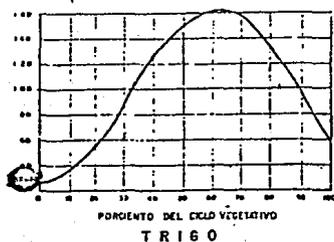
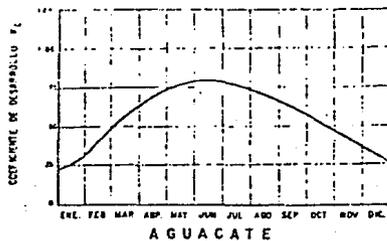
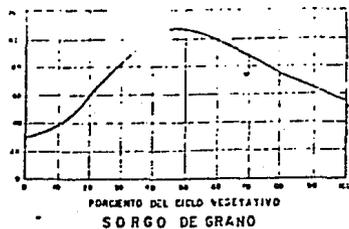
En los cuadros 1.6.4 al 1.6.6. se presentan tabulaciones que facilitan el empleo de la fórmula de Blaney y Criddle.

PORCIENTO DE HORAS DE SOL MENSUAL

LATIT. NORTE	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
0	8.50	7.66	8.49	9.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.32	7.57	8.47	9.29	8.65	8.41	8.67	8.60	8.23	8.42	8.07	8.30
10	8.13	7.47	8.45	9.17	8.81	8.63	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.13
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.80	9.05	8.88	8.28	8.25	7.75	7.93
16	7.93	7.35	8.44	8.46	9.07	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.93
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18	7.83	7.30	8.42	8.50	9.00	8.92	9.16	8.93	8.27	8.21	7.68	7.74
19	7.79	7.23	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
22	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	7.58	7.66
21	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22	7.66	7.21	8.40	8.56	9.22	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.52	7.55
23	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25	7.53	7.14	8.39	8.61	9.33	9.23	9.45	9.09	8.32	8.09	7.40	7.42
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.30	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.31
27	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.35	7.31
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
29	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.23
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.33	7.99	7.15	7.15
31	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32	7.20	6.97	8.37	8.76	9.62	9.59	9.77	9.27	8.34	7.95	7.11	7.05
33	7.15	6.94	8.36	8.78	9.68	9.65	9.82	9.31	8.35	7.94	7.11	6.98
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
35	7.05	6.80	8.35	8.83	9.77	9.76	9.94	9.37	8.37	7.88	6.97	6.85
36	6.99	6.75	8.35	8.85	9.82	9.82	9.99	9.40	8.37	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.80	6.82	6.66
40	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	6.52
42	6.63	6.65	8.31	9.00	10.14	10.22	10.35	9.62	8.40	7.69	6.62	6.37
44	6.49	6.53	8.30	9.06	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.21
46	6.34	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.57	6.36	6.04
48	6.17	6.41	8.27	9.18	10.53	10.71	10.80	9.89	8.44	7.51	6.23	5.86
50	5.98	6.30	8.24	9.24	10.68	10.91	10.97	10.00	8.46	7.45	6.10	5.65
52	5.77	6.19	8.21	9.29	10.85	11.13	11.20	10.12	8.49	7.39	5.93	5.43
54	5.55	6.08	8.18	9.36	11.03	11.36	11.43	10.26	8.51	7.30	5.74	5.18
56	5.30	5.95	8.15	9.45	11.22	11.67	11.69	10.40	8.52	7.21	5.54	4.89
58	5.01	5.81	8.12	9.55	11.46	12.00	11.98	10.55	8.51	7.10	4.31	4.36
60	4.67	5.65	8.08	9.65	11.74	12.39	12.31	10.70	8.51	6.98	5.04	4.22

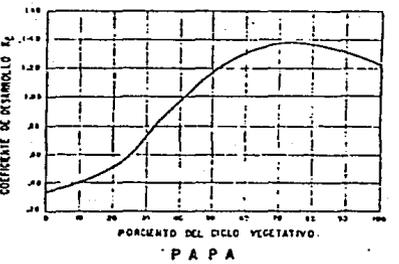
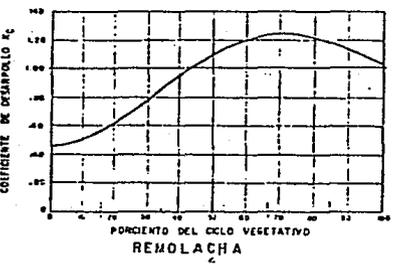
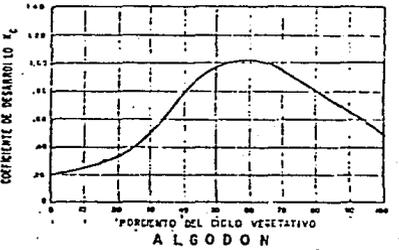
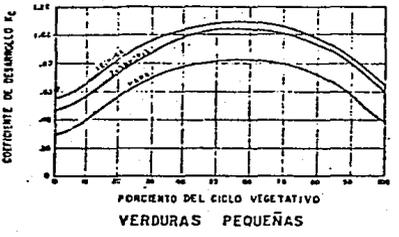
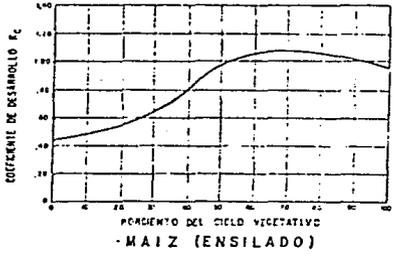
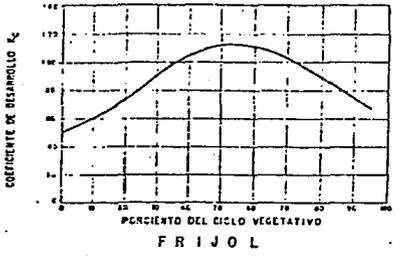
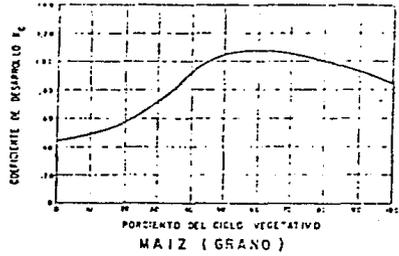
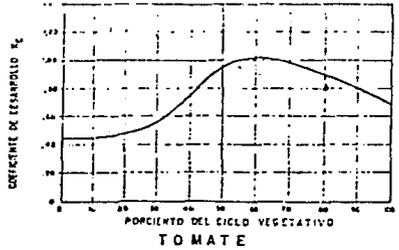
Referencia N.º 6

Cuadro 1.6.4.



CICLO VEGETATIVO

NOGAL



CICLO VEGETATIVO

1.7 CLASIFICACION DE CLIMAS:

Clasificación de Climas según THORN THWAITE

" Categoría de Temperatura "

SIMBOLOGIA	C A R A C T E R	EVAPOTRANSPIRACION	
		POTENCIAL ANUAL (EP)	ANUAL EN %
A'	Cálido		114.0
B'4	Semi-Cálido	99.7	- 114.0
B'3	Templado-Cálido	85.5	- 99.7
B'2	Templado-Frío	71.2	- 85.5
B'1	Semi-Frío	57.0	- 71.2
C'2	Frío Moderado	42.7	- 57.0
C'1	Frío Acentuado	28.5	- 42.7
D''	De Tundra	14.2	- 28.5
E'	Helado		14.2

Para la Clasificación de los Tipos de Climas,
se proporciona a continuación el Sistema de
KOPPEN modificado por TREWARTHA

GRUPOS

a) Climas Tropicales

Húmedos

1. Latitudes bajas (Trópicos)
 - a) Tropical Húmedo (AF, Constante húmedo)
2. Tropical Húmedo y Seco (AW, Sabana)
3. Climas secos de latitud baja
 - a) Desértico de latitud baja (BWh, árido)
 - b) Estepario de latitud baja (BSh, Semiárido)

b) Climas Secos

- II) Latitudes medias (Zonas intermedias)
4. Climas Secos de latitud media
 - a) Desértico de latitud media (BWK, árido)
 - b) Estepario de latitud media (BSK, semi-árido)

c) Climas Mesotermales

Húmedo

5. Subtropical de Verano Seco
(cs, mediterránea)
6. Subtropical Húmedo (Ca)
7. Marino (cb, Cc)

d) Climas Microtermales

Húmedos

8. Climas Continentales Húmedos
 - a) Continental húmedo, verano cálido (Da)
 - b) Continental húmedo, verano fresco (Db)
9. Sub-ártico (Dc, Db)

e) Climas Polares

III) Latitudes altas (capas polares)
ó Altitudes altas

10. Tundra (ET)
 11. Capa de hielo (EF)
-

A = La temperatura del mes más fresco superior a 18°C (64.4°F)

B = La evaporación excede a la precipitación

C = La temperatura del mes más frío entre 18°C (64.4°F) (32°F)

D = La temperatura del mes más frío inferior a 0°C (32°F): La del mes cálido superior a 10°C (50°F)

E = La temperatura del mes más cálido inferior a 10°C (50°F)

a = La temperatura del mes más cálido superior a 22°C (71.6°F)

b = La temperatura del mes más cálido inferior a 22°C (71.6°F)

c = La temperatura del mes más cálido inferior a 22°C (71.6°F)
menos de cuatro meses por encima de 10°C (50°F)

d = La temperatura del mes más frío inferior a -3°C (36.4°F)

CON CLIMAS " A " :

f = No hay estación seca: el mes más seco con precipitación superior a 6 centímetros (2.4. pulgadas)

s = Período seco a alta insolación, o verano; raro en clima A

w = Período seco con precipitación inferior a 6 cm. (2.4 pulgadas)

CON CLIMAS " C y D " :

f = No hay estación seca la diferencia entre el mes más lluvioso y el más seco es menor que en s y w; el mes más seco de verano con precipitación superior a 3 cm. (1.2. pulgadas)

s = Verano seco; la precipitación es por lo menos tres veces mayor en el mes más húmedo de invierno que en el más seco de verano en el mes más seco menos de 3. cm. (1.2 pulgadas)

De acuerdo a lo anterior, el clima de la zona de estudio se puede clasificar como B.W.S., y corresponde al grupo b, es decir clima seco poco lluvioso.

C A P I T U L O I I

" CONCEPTOS GENERALES "

II.1. ACUIFERO:

Es una zona subterránea natural que almacena y transmite agua de buena calidad de tal manera que puede extraerse en cantidad económicamente aprovechable. En relación a la cantidad de agua, se considera acuífero a una arenisca que da unos cuantos litros por segundo en una región desértica y se considera roca impermeable a la misma formación si está en un valle aluvial de gravas y arenas, capaces de dar cantidades de agua superiores.

II.2. ACUIFUGO:

Es una zona subterránea natural que no almacena ni transmite agua.

II.3. ACUICLUDO:

Es una zona subterránea que almacena agua, pero que no la transmite en cantidades significativas en un balance regional de agua subterránea.

II.4. ACUITARDO:

Es una zona subterránea que almacena agua y la transmite en can-
tidades que afectan un balance regional de agua subterránea pero que no se pue-
de aprovechar directamente mediante pozos, es decir que no sea económicamente aprovechable.

II.5. ACUIFEROS LIBRES:

Se les denomina como acuíferos libres a aquellos que tienen como límite superior a la zona de saturación, la que corresponde al nivel freático o superficie freática; la cual es definida por el agua que se encuentra a la presión atmosférica.

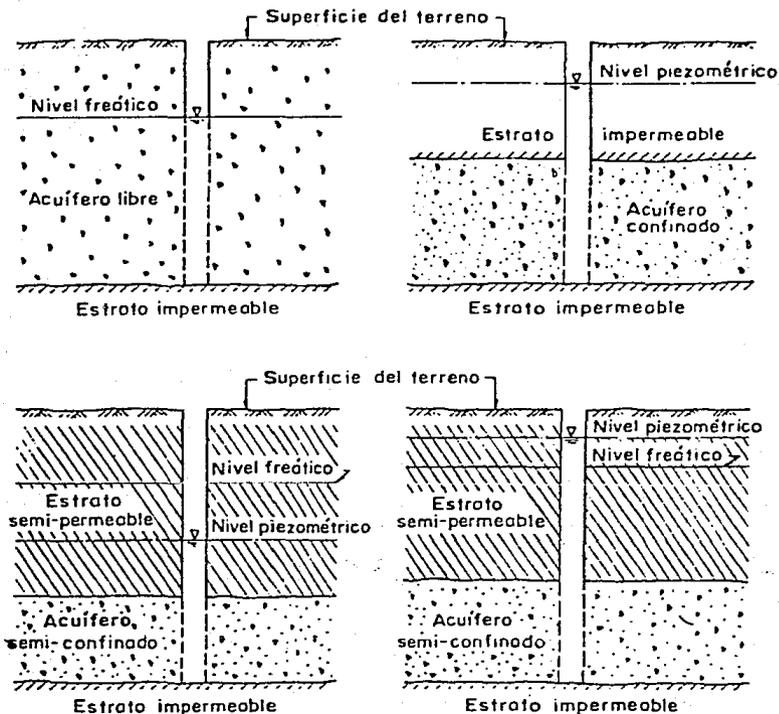
II.6. ACUIFEROS SEMICONFINADOS:

Un acuífero limitado por fronteras con formación poco permeable y que tiene agua a mayor presión que la atmosférica, se le llama acuífero semiconfinado.

II.7 ACUIFEROS CONFINADOS:

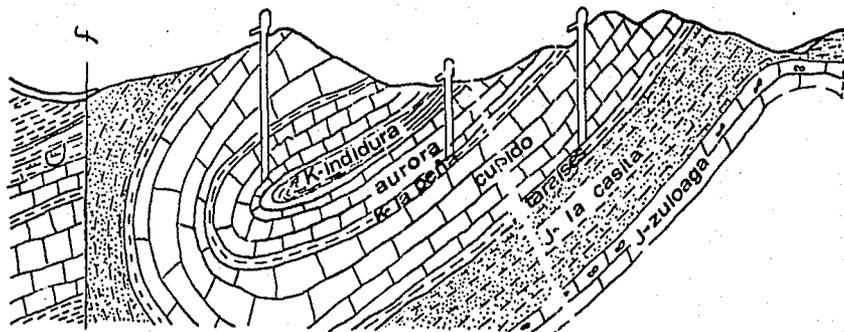
Si un acuífero se encuentra limitado superior e inferiormente por formaciones geológicas impermeables, que contiene agua a mayor presión que la atmosférica se le llama acuífero confinado.

En pozos que captan acuíferos confinados o semiconfinados, el nivel de agua asciende por encima de la frontera superior del acuífero, por efecto de diferencia de presiones. La superficie imaginaria definida por los niveles de agua de los pozos que penetren este tipo de acuíferos, recibe el nombre de superficie piezométrica; sus variaciones corresponden a los cambios de presión a que está sometida el agua en el acuífero y puede encontrarse en un momento dado, arriba, abajo o al nivel freático. Cuando dicha superficie se encuentra arriba de la superficie del terreno, da lugar a pozos brotantes. Los acuíferos confinados o semiconfinados, pueden transformarse en libres cuando la superficie piezométrica desciende bajo la frontera superior del acuífero. En las figuras II.7.1 y II.7.2, se ilustran esquemáticamente los diferentes tipos de acuíferos.



Tipos de acuíferos

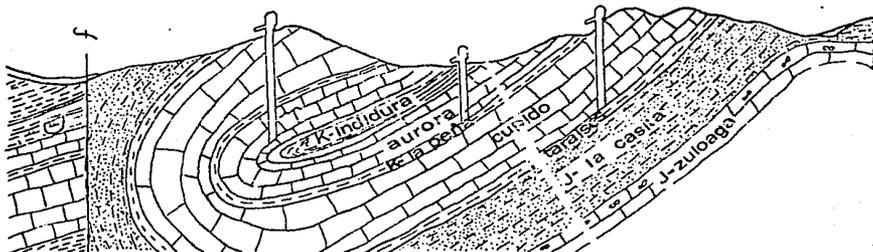
ESTRUCTURA ACUÍFERA



Referencia Núm. 5

Figura II.7.2

ESTRUCTURA ACUÍFERA



Referencia Núm. 5

Figura II.7.2

II.8. HOMOGENEIDAD E ISOTROPIA:

Se dice que un medio es homogéneo cuando sus propiedades no varían de un punto a otro; de lo contrario el medio es heterogéneo. Se dice que un medio es isótropo cuando sus propiedades en un punto no depende de la dirección en las que se observen; de lo contrario el medio es anisótropo.

En el flujo de agua en suelos, la propiedad del medio que puede variar con la dirección es la permeabilidad; los casos más comunes son los de formaciones estratificadas o fracturadas.

II.9. DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUELO Y EN EL SUBSUELO:

En el subsuelo, el agua puede encontrar bajo una amplia gama de condiciones que se extiende desde el agua que circula libremente hasta el agua que se encuentra firmemente fijada en el interior de las estructuras rocosas. En la gran mayoría de los casos, el agua circula y se almacena en los poros que dejan entre sí las partículas de material, es decir, en un medio poroso, cuyas características dependen de su origen geológico y su acomodo al depositarse.

En el subsuelo el agua se encuentra distribuida en dos grandes zonas: la Zona de Aereación ó Zona Vadosa y la Zona de Saturación ó Zona Freática, como se muestra en la figura II.9.1

A) ZONA DE AERACION:

Se divide en:

1. Agua de Suelo
2. Agua Intermedia
3. Agua Capilar

Esta zona queda limitada en la parte superior por la superficie del terreno y en la parte inferior por el nivel freático. su principal característica es que "no" todos sus intersticios están ocupados por agua.

- A-1. Agua de Suelo: Constituida por el suelo y otros materiales, esta sujeta a grandes fluctuaciones en cantidad y calidad debidas a los fenómenos de: Evaporación, Transpiración, las fluctuaciones de humedad producidas por el efecto evapotranspirante de las plantas que aumenta gradualmente la profundidad, el contenido de humedad varía en función de las fluctuaciones de la temperatura y de la tensión del vapor causadas por las variaciones de temperatura del aire y del suelo.
- A-2. Agua Intermedia: El agua intermedia queda limitada por el agua del suelo y el agua capilar, en su parte superior e inferior respectivamente. Esta zona contiene agua llamada pelicular, que rodea a las partículas de suelo con una delgada película de espesor variable, del orden de fracciones de micras relleno de los microporos. En los períodos de infiltración el agua pelicular se transforma en agua gravitacional fluyendo verticalmente hacia las zonas de saturación. La transición entre el agua intermedia y el agua capilar, es, más bien brusca en el caso de sedimentos de grano grueso, pero por lo contrario, puede llegar a ser prácticamente imperceptible en los limos y en las arcillas.

Si la recarga es activa el contenido de humedad entre la zona intermedia y la franja capilar puede llegar a ser muy pequeña.

- A.3. Agua Capilar: Podemos distinguir,, según la posición en relación con la superficie piezométrica y la acción de la gravedad: agua capilar aislada y agua capilar continua. El agua capilar -- aislada, situada en la zona de encima del manto acuífero, sólo ocupa una parte de los espacios vacíos, conteniendo la otra aire y vapor de agua; no se desplaza bajo la acción de la fuerza de gravedad.

El agua Capilar continua localizando en la franja capilar, rellena la totalidad de los poros e intersticios capilares y está sometida a la acción de la gravedad. Las fuerzas físicas que gobiernan el flujo del agua de la parte inferior de la franja capilar son prácticamente idénticos a las fuerzas que rigen, el movimiento del agua subterránea en la zona de saturación.

La altura de la zona capilar depende de la granulometría del material y de las fluctuaciones del nivel freático; en materiales finos la altura capilar puede llegar a ser de varios metros pero el agua asciende lentamente. En materiales gruesos la altura capilar es de orden de centímetros, aunque asciende rápidamente.

DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUELO Y EN EL SUBSUELO

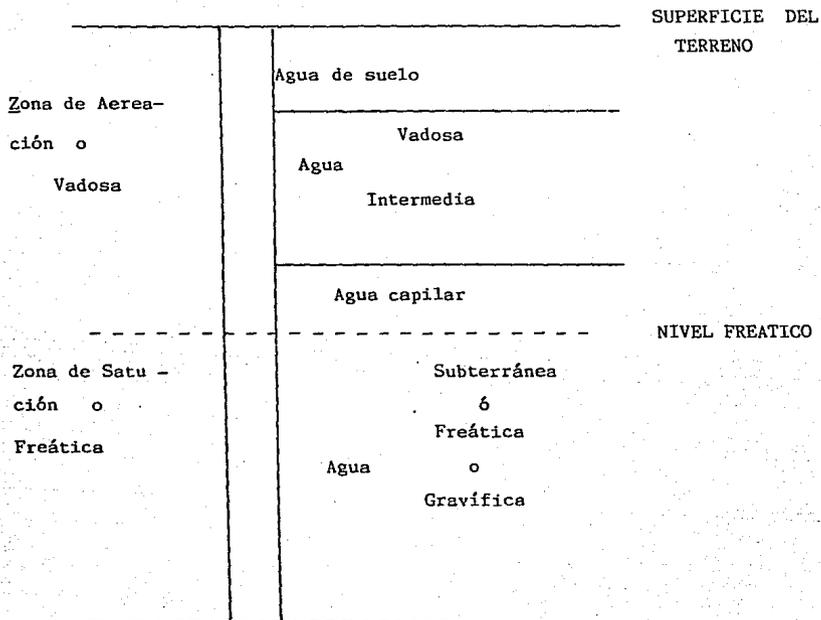


Fig. II.9.1.

B) ZONA DE SATURACION:

Tiene como límite superior el nivel freático, el cual es definido por el agua que se encuentra a la presión atmosférica. Todos los estratos situados abajo del nivel freático se encuentran totalmente saturados; esta es la principal característica de agua subterránea o zona de saturación. El agua gravifica bajo la acción de la diferencias de presión, puede circular por las zonas acuíferas.

II.10. INFILTRACION:

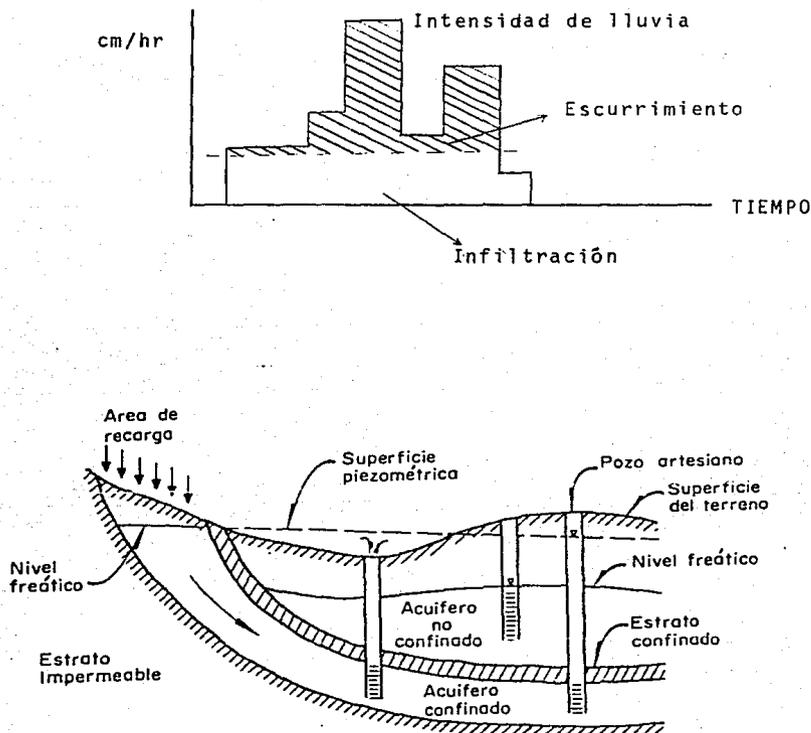
El agua de las precipitaciones después de haber sufrido pérdidas por evapotranspiración y absorción por el manto vegetal, llega a la superficie del suelo, donde se reparte en dos fracciones: El Escurrimiento Superficial y La infiltración por Gravedad.

La infiltración representa la cantidad de agua que penetra en el suelo y el subsuelo, donde pasa para alimentarlas.

Para estimar el volumen de agua infiltrada se han desarrollado algunos métodos dentro del campo de la Hidrogeología:

a) Uno de ellos es el llamado Peinado del Hietograma, en el cual, conocidos los volúmenes precipitados y los de escurrimiento superficial, la cantidad de agua infiltrada se infiere a partir del análisis del hietograma; generalmente, tal cantidad se expresa como una lámina de agua, como se ejemplifica en la figura (II.10.1)

b) Otro método consistente en la aplicación de coeficiente de infiltración a las formaciones geológicas que afloran en la zona estudiando, - los cuales representan el volumen infiltrado, como un porcentaje del volumen precipitado.



Acuíferos confinados y no confinados

INFILTRACION DEL AGUA EN EL SUELO.

Para aplicar el método de coeficiente de infiltración se delimitan en un plano geológico las formaciones que afloran en el área, seguidamente infiltrado en una cierta formación se calcula, como el producto del coeficiente asignado a ella y el volúmen precipitado respectivo, como se observa en la figura II.10.1

El volúmen total infiltrado en el área considerada es la suma de los volúmenes parciales así calculados. Otro método de obtener el volúmen infiltrado es obtener la medida de variación del nivel estático y multiplicarlo por el área de interés.

Esto es si: $P = EV + S + I$

$$I = P - EV - S$$

Donde: $P =$ Precipitación

$$I =$$
 Infiltración

$$EV =$$
 Evapotranspiración

$$S =$$
 Escurrimiento Superficial

II.11 POROSIDAD:

La porosidad es una de las características esenciales de las rocas en lo que se refiere a sus propiedades acuíferas.

La porción de una roca o suelo que no contiene material mineral sólido puede estar ocupada por agua subterránea. Estos espacios son conocidos como vacíos, intersticios, poros o espacio poroso. Como los vacíos pueden actuar como conductores del agua subterránea son de fundamental importancia en el estudio de esta.

Generalmente se caracterizan por su tamaño, forma, irregularidad y distribución. La porosidad total, porosidad verdadera, coeficiente de porosidad o módulo de los espacios vacíos, es la relación expresada en tanto por ciento, entre el volúmen de los espacios vacíos V_v y el volúmen total de la roca o suelo V .

Puesto que en la zona de saturación, los vacíos están totalmente saturados la porosidad es una medida de la cantidad de agua que la porción de roca o suelo puede contener por unidad de volúmen.

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100$$

Donde:

n = Porosidad

V_v = Volúmen de vacíos, en m^3

V = Volúmen total, en m^3

En el cuadro II.11.1., se muestran rangos de valores de porosidad de algunas formaciones.

Los distintos tipos de Intersticios y Relación entre la textura y la porosidad de las rocas se observan en la figura (II.11.1)

II.12. RENDIMIENTO ESPECIFICO (S_y):

Se define como rendimiento específico de una roca o suelo a la cantidad de agua que puede liberar o almacenar por unidad de volúmen total al ser drenado por gravedad. Las arcillas, compuestas de partículas muy finas presentan una débil porosidad total y un coeficiente de rendimientos específicos bajo. Por lo contrario las gravas y arenas poseen una porosidad y un rendimiento específico muy elevado, por estar constituidos por materiales gruesos.

RANGOS DE POROSIDAD

Material		Porosidad total en porcent n					Porosidad efectiva en porcentaje n _e			Observ.
Tipo	Descripción	Med	Normal Max	Min	Extraordinaria Max	Min	Med	Max	Min	
Rocas masivas	Granito	0.3	4	0.2	9	0.05	0.2	0.5	0.0	A
	Caliza masiva	8	15	0.5	20		0.5	1	0.0	B
	Colomia	5	10	2			0.5	1	0.0	B
Rocas metamor- ficas		0.5	5	0.2			0.5	2	0.0	A
Rocas volcáni- cas	Piroclastos y tobas	30	50	10	60	5	5	20	0.0	C,E
	Escorias	25	80	10			20	50	1	C,E
	Pumitas	85	90	50			5	20	0.0	D
	Basaltos den - sos fonolitas	2	5	0.1			1	2	0.1	A
	Basaltos vacuo- lares	12	30	5			5	10	1	C
Rocas sedimen- tarias endure- cidas (ver ro- cas masivas)	Pizarras sedi- mentarias	5	15	2	30	0.5	2	5	0.0	E
	Areniscas	15	25	3	30	0.5	10	20	0.0	F
	Creta blanda	20	50	10			1	5	0.2	B
	Caliza detri - tica	10	30	1.5			3	20	0.5	
Rocas sedimen- tarias sueltas	Aluviones	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Gravas	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Loess	45	55	40			5	10	0.1	E
	Arenas	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos gla - ciars	25	35	15			15	30	5	
	Limos	40	50	35			10	20	2	E
	Arcillas sin compactar	45	60	40	85	30	2	10	0.0	E
Suelos super - faciales	50	60	30			10	20	1	E	

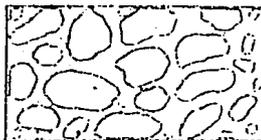
A = Aumenta n y n_e por meteorización
 B = Aumenta n y n_e por fenómeno de disolución
 C = Disminuye n y n_e con la edad

D = Disminuye n y puede aumentar n_e con la
 edad
 E = n_e muy variable según circunstancias y
 tiempo.
 F = Variable según el grado de cementación -
 y su solubilidad.

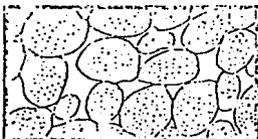
DISTINTOS TIPOS DE INTERSTICIOS Y RELACION ENTRE
LA TEXTURA Y LA POROSIDAD DE LAS ROCAS



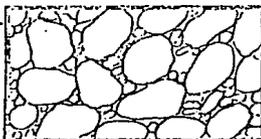
DEPOSITO SEDIMENTARIO DE GRANULOMETRIA HOMOGENEA Y GRAN POROSIDAD



DEPOSITO SEDIMENTARIO DE GRANULOMETRIA HOMOGENEA CUYA POROSIDAD HA DISMINUIDO POR CEMENTACION DE SUS INTERSTICIOS CON MATERIAS MINERALES.



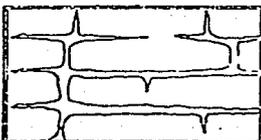
DEPOSITO SEDIMENTARIO DE GRANULOMETRIA HOMOGENEA FORMADO POR ELEMENTOS QUE A SU VEZ SON POROSOS, POR TANTO POROSIDAD MUY ELEVADA



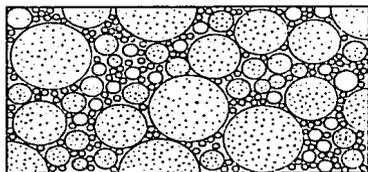
DEPOSITO SEDIMENTARIO DE GRANULOMETRIA HETEROGENEA Y ESCASA POROSIDAD



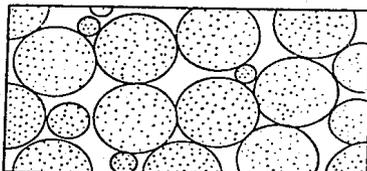
ROCA POROSA POR FRAGMENTACION



ROCA POROSA POR SOLUCION



POROSIDAD 17%



POROSIDAD 32%

II.13. RETENCION ESPECIFICA (nr):

La cantidad de agua retenida por unidad de material contra la gravedad por unidad de volúmen total; es agua retenida por fuerzas moleculares y capilares. La porosidad crece en función de la dimensión y de la disposición de los granos mientras que el coeficiente de retención decrece. Cuando un cierto volúmen de roca totalmente saturada, se deja drenar bajo la acción de la gravedad, no toda el agua que contiene es liberada; una parte del agua es retenida en los poros por fuerzas de atracción molecular, adhesión y cohesión. La cantidad de agua retenida es directamente proporcional a la superficie de las partículas e inversamente proporcional al tamaño de los poros; así por ejemplo, las arcillas retienen mayor cantidad de agua que las arenas.

De acuerdo a las definiciones descritas se puede decir que la porosidad en un medio saturado es igual a la suma del rendimiento específico más la retención específica.

$$n = S_y + nr$$

Donde:

n = Porosidad

S_y = Rendimiento específico

nr = Retención específica

II.14. COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S):

El coeficiente de almacenamiento se define como el volúmen de agua que un acuífero puede recabar o liberar del almacenaje, por una columna de área horizontal unitaria y altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando la carga hidráulica decrece una unidad. El volúmen de agua que puede ser liberado efectivamente por un prisma vertical de material acuífero de -- sección igual a la unidad para una baja unitaria del nivel piezométrico o de una carga, es el coeficiente de almacenamiento. Es un número sin dimensio-- nes, expresado en tanto por ciento y designado por la letra S.

En los acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento es -- prácticamente igual al rendimiento específico del material situado en el nivel freático, ya que al volúmen liberado por compactación del acuífero y expansión del agua se agrega, el volúmen liberado por el drenado del material; como el primer volúmen es muy pequeño comparado con el segundo se puede decir coefi--- ciente de almacenamiento en acuíferos libres es igual al rendimiento especifi-- co.

El coeficiente de almacenamiento en los acuíferos confinados y semiconfinados. Así como en los acuíferos libres es debido únicamente al fe-- nómeno del vaciado de agua gravificada (agua efectada únicamente por la pre--- sión de la gravedad), en los acuíferos confinados y semiconfinados intervienen otras acciones; en particular la comprensibilidad del agua. La salida del agua lleva consigo un descenso de la presión y el líquido contenido en los po-- ros se dilata por distensión elástica proporcionando así una cierta cantidad de agua. Este fenómeno de liberación de agua provoca hundimientos, ya que la presión hidrostática en el terreno disminuye a las capas superpuestas, des-- tinadas, pesan sobre la trama sólida del material acuífero reduciendo el volu-- men de los espacios vacíos y expulsando un suplemento de agua.

Esta teoría es confirmada por el hecho de haberse observado leves hundimientos del suelo a consecuencia de bombeos prolongados.

En los acuíferos confinados el coeficiente de almacenamiento expresa aproximadamente el coeficiente de compresión del agua (B).

$$S = B = \frac{AV/V}{AP} = \frac{AV}{V AP}$$

Donde:

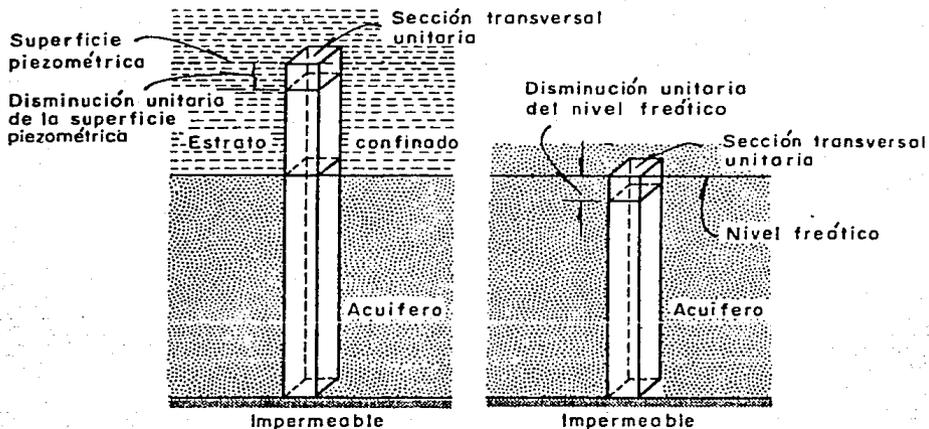
- S = Coeficiente de Almacenamiento
- B = Coeficiente de compresión del agua
- AV = Variación del volumen por pérdida de carga
- V = Volumen total
- AP = Variación de presión

Lo anterior se puede observar en la figura ---

II.14.1

Dependiendo de el corte litológico de un pozo, se asigna la ubicación de la tubería, ya sea ranurada o ciega, así como la de el cedazo. Lo anterior se observa en la figuras II.14.2 y --

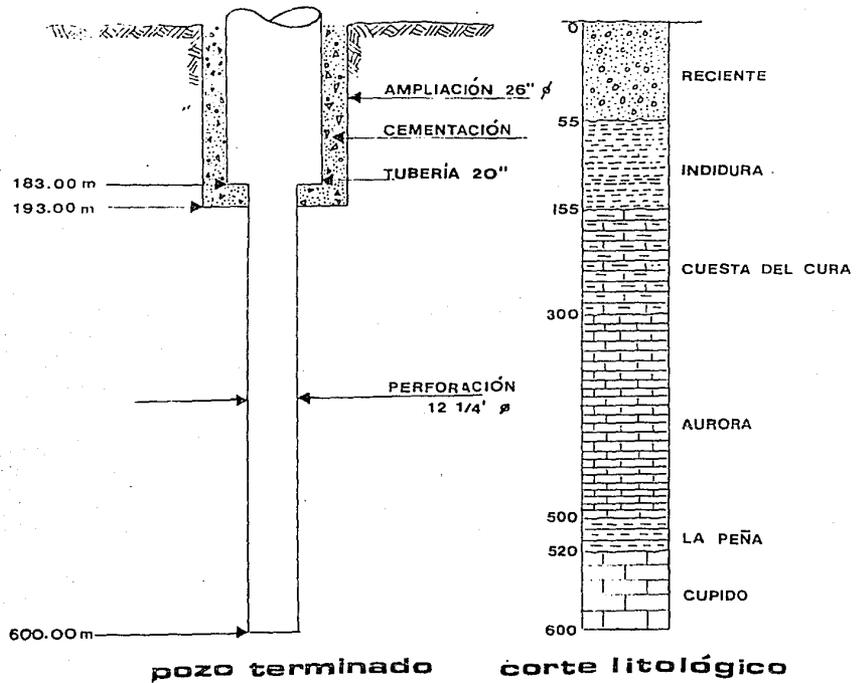
II.14.3



(a) Acuífero confinado

(b) Acuífero no confinado

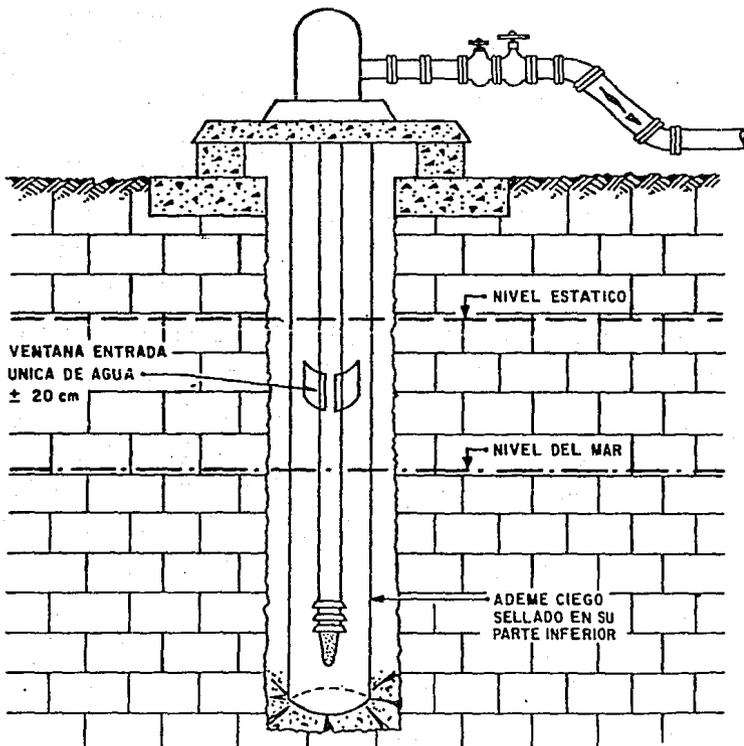
Definición del coeficiente de almacenaje



Referencia Núm. 5

Figura II.14.2 29

DISPOSITIVO PARA EXTRAER AGUA DE LA
PARTE SUPERIOR DE UN ACUIFERO LIBRE,
POR MEDIO DE POZOS



REF. 5

Formó: Ing. H. Lessor J

FIG. II.14.3

Dibujó: Carlos de la Torre Ayala

II.15. PERMEABILIDAD:

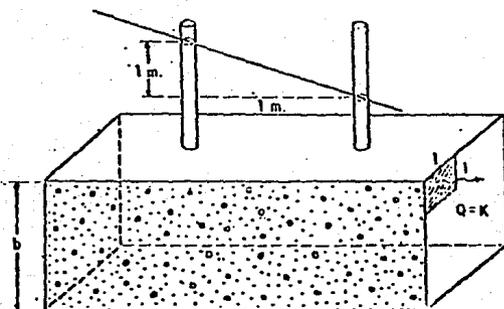
La permeabilidad es una de las principales características de las rocas y suelos desde el punto de vista de la Hidrología Subterránea, ya que de ella depende fundamentalmente el rendimiento de las captaciones y la velocidad de circulación del agua; así mismo es uno de los datos básicos para simular el comportamiento de un acuífero.

La permeabilidad es la capacidad de una roca o suelo para permitir la circulación de agua a través de ella. Cuantitativamente su valor está dado por el coeficiente de permeabilidad el cual se define como el caudal que circula a través de un área unitaria, transversal al flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario. Esta propiedad depende de la forma, acomodo y distribución granulométrica de las partículas constituyentes, y el grado de compactación o cementación de los mismos factores que controlan a su vez el tamaño e interconexión de los intersticios u orificios.

II.16. LEY DE DARCY:

H. Darcy estudió experimentalmente en 1856, el flujo del agua a través de una columna de arena. Utilizó para ello unos cilindros verticales, de 2.5 m. de altura y 0.35 m. de diámetro interior, llenos de arena con un espesor E y bajo una carpa H . figura II.16.1. El flujo se rige por la siguiente fórmula:

$$Q = KS \frac{H}{e}$$



LEY DE DARCY

Donde:

- Q = Caudal del flujo en m³/seg.
 h = Altura de la carga de agua en mts.
 S = Superficie de la sección en m²
 e = Espesor de la columna de arena
 K = Coeficiente de proporcionalidad ligado a la naturaleza de la arena. Para la arena utilizada 3×10^{-4} m/s.

$$Q = KS \frac{h}{e}$$

$$VA = KS \frac{h}{e}$$

$$V = \frac{KS}{A} \frac{h}{e}$$

$$V = Ki$$

Si $Q = VA + KS \frac{h}{e}$ y $\frac{h}{e} = (\text{gradiente hidráulico})$

$$V = K \frac{S}{A} i \quad i = \frac{Ah}{L}$$

$$V = Ki = V K \frac{h}{e} \quad V = \text{Velocidad aparente}$$

$$Q = VA = Ki a$$

Con lo que H. Darcy demostró que, la velocidad de flujo a través de un medio poroso es proporcional a la pérdida de carga e inversamente proporcional a la longitud de recorrido del flujo, esto es directamente proporcional a su gradiente hidráulico.

El intervalo de validez de la Ley de H. Darcy dentro del cual es aplicable depende de que se cumpla, que la velocidad sea proporcional a la primera potencia del gradiente hidráulico.

Para fijar el límite dentro del cual se cumple lo anterior, se utiliza el número de Reynold, el cual se puede expresar como:

$$Re = \frac{VD}{\mu}$$

Donde:

D = Diámetro representativo de la filtración en medios porosos

Re = Número de Reynolds

V = Velocidad aparente de filtración

μ = Viscosidad cinemática del agua

Experimentalmente se obtuvo que la Ley de Darcy es válida para números de Reynolds menores de 10.

Ni H. Darcy, ni Dupuit advirtieron el hecho de que K depende tanto de las propiedades del fluido como de las características del medio. La comparación entre la ecuación $V = Ki$ y la similar para el flujo laminar a través de un tubo indica que K es función del peso específico γ del fluido, de su viscosidad dinámica (M) de una longitud característica (l), que es el promedio del tamaño de los poros del medio. Las dimensiones correctas de la relación funcional están aún por determinar.

En esta relación aparece una constante adimensional o factor de forma "C" que tiene en cuenta los efectos de la estratificación, del empaquetamiento, de la disposición de los granos, de la distribución de tamaños, de la cementación y de la porosidad.

Se puede verificar que la ecuación es dimensionalmente correcta.

Ecuación:

Si

$$V = Ki \quad R = Cd^2 \frac{\gamma}{M} \quad \text{Si} \quad R = Cd^2$$

$$V = \frac{R}{M} \quad i \quad K = R \frac{\gamma}{M} \quad K = \text{cm/seg. (L,T-1)}$$

V = Velocidad real

Donde:

K = Permeabilidad o conductividad hidráulica

R = Permeabilidad intrínseca

C = Factor de forma

d = Promedio de tamaño de los poros

γ = Peso específico del fluido

U = Viscosidad dinámica

En el cuadro II.16.1., se presentan algunos Rangos de permeabilidad.

Clasificación geológica	Porosidad, en porcentaje	K, en darcy	K, en m/s
Caliza arcillosa	2	$1.0(10^{-4})$	$8.50(10^{-10})$
Caliza	16	$2.6(10^{-3})$	$1.18(10^{-6})$
Arenisca limosa	12	$1.4(10^{-1})$	$2.24(10^{-8})$
Arenisca de grano grueso	12	1.1	$9.39(10^{-6})$
Arenisca	29	2.4	$2.06(10^{-5})$
Arena muy fina uniforme		9.9	$8.50(10^{-5})$
Arena de grano medio uniforme		$2.6(10^2)$	$2.17(10^{-3})$
Arena de grano grueso uniforme		$3.1(10^3)$	$2.74(10^{-2})$
Grava		$4.3(10^4)$	$3.72(10^{-1})$
Arcilla montmorilonítica ¹		(10^{-5})	$4.72(10^{-11})$
Arcilla caolinítica ¹		(10^{-3})	$4.72(10^{-9})$

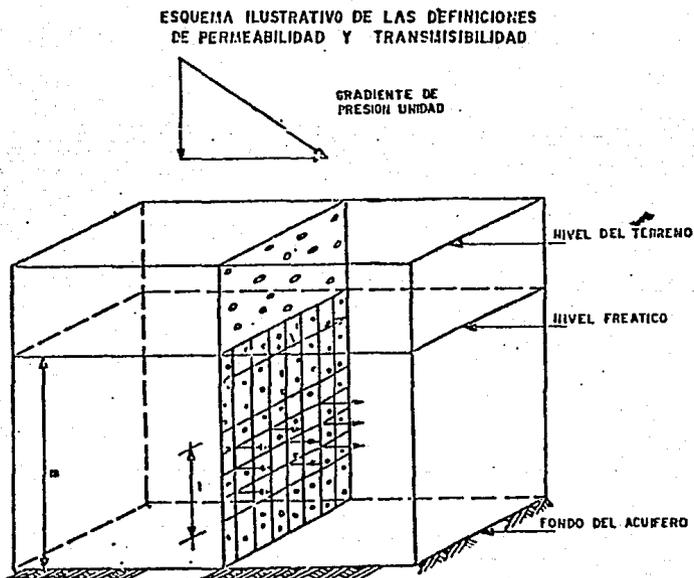
¹Para las arcillas sólo se indica el orden de magnitud.

VALORES REPRESENTATIVOS DE K y K

CUADRO II.16.1

II.17. TRANSMISIBILIDAD (T):

Indica la capacidad del acuífero para transmitir agua horizontalmente en todo su espesor y se define como el producto del coeficiente de permeabilidad por el espesor saturado del acuífero. Lo anterior se observa en la figura II.17.1.



En otras palabras el coeficiente de transmisibilidad es la cantidad de agua que atraviesa por una franja vertical de ancho unitario y altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando el gradiente hidráulico es unitario.

Tiene unidades:

$$T = K b = \frac{L}{T} L \quad L^2 T^{-1}$$

Donde:

T = Transmisibilidad

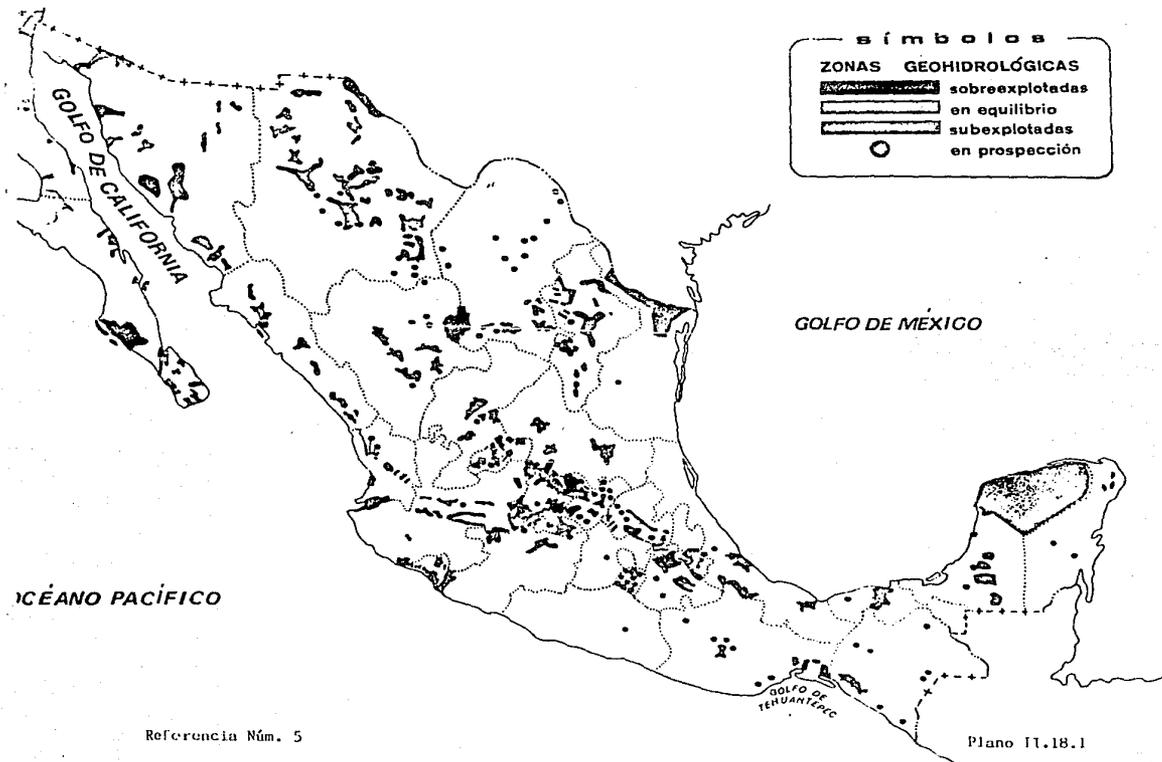
K = Permeabilidad

b = Espesor saturado

II.13.- ACTIVIDADES DE CAMPO:

Estas actividades se inician con un reconocimiento preliminar del área, a fin de identificar en forma general sus características más sobresalientes tales como: Acceso a la zona de estudio, poblaciones principales. Vías de comunicación, carreteras primarias, secundarias y brechas, morfología de la zona, principales escurrimientos, presas, bordes la localización de las áreas de riego, distinción entre las áreas que se riegan con agua rodadas y las que se riegan con agua subterránea, ubicación de las zonas de concentración de pozos. Las principales formaciones Geológicas, delimitación del parte-agua y de la frontera impermeable.

Censo de Pozos.- El censo de pozos consiste en recabar información completa de cada una de las obras de captación, dicha información se vacía en las formas del banco nacional de información (B.N.I. - 1) de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, como se muestra a continuación. Al mismo tiempo que el censo de pozos se realiza la Hidrometría (para la zona de estudio) de las captaciones la cual consiste en cuantificar cuanta agua se extrae por obra de captación conjunta con estas actividades se realizan las pruebas de bombeo cuyo estudio se analizará en capítulos posteriores.



SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
DIRECCION GENERAL DE GRANDE IRRIGACION
SUB-DIRECCION DE GEOHIDROLOGIA Y DE ZONAS ARIDAS
SENSO DE APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS, SUBTERRANEOS DE VALLE DEL GUADIANA.

NUMERO DE POZO	REGISTRO NACIONAL	PROPIETARIO	UBICACION	PROFUNDIDAD		UBICACION CERDAS	DIAMETRO DE ABEME PULG.	LONGITUD DE COLUMNA		H. E. M.	H. D. M.	CAUCHO ESPECIFICO		TIPO DE APROV.	ESTADO ACTUAL	U S O	OBSERVACIONES
				M	DE CAJAMA DE BOMBEO			M	M			L P S	L P S / M				
294	10-5-806-(336)	Dr. del. Gustavo Chávez Ch.	Col. 20 de Nov.	18.0	91.0	21.7-91.0	12	25.0	16.0	33.3	16.0	3.4	Pozo	Activo	Riego	Equipado	
295	10-5-709-(314)	Aurelio Serfalo.	Granja El Carmen	10.0	16.0	0.0-10.0	sin atema	8.0	6.0	1.0	3.0	2.0	Monte	Inactivo			
250	10-5-512-(237)	José Pérez Amalva	Tripiay y Madres de Dgo	30.0	30.0	5.0-30.0	13	24.0	10.0	33.2	5.0	0.3	Pozo	Activo	Industrial y Doméstico		
304	10-5-568-(315)	Luis Herrera Salas	Lote 239 Col. Hidalgo	23.0	23.0	0.0-23.0	14	7.0	2.2	6.0	16.0	4.3	Pozo	Activo	Riego		Operando
300	10-5-560-(319)	Amado García Barranto	Valentin G. F. Col. Morelia	21.0	20.0	0.0	20		2.4	9.0	20.0	3.0	Monte	Inactivo			
312	10-5-851-(297)	Alicia Estevenson	Rancho Sta. Catalina L. II	22.0	22.6	13.0-22.6	10	20.0	14.0	15.6	13.0	12.0	Pozo	Activo	Riego	Pin equipo	Operando
318	10-5-824-(142)	Jorge Miras G.	Lote 96 Col. 20 de Nov.	30.0	30.0	6.5-30.0	12			16.0	10.0	2.0	Pozo	Inactivo			Arquivado
317	10-5-376-(113)	Carlos Diaz Alvarez	Lote 32-50 Granja S. L.														
318	10-5-803-(327)	José González	Col. 20 de Nov.	75.0	75.0	6.0-75.0	12	30.0	16.0	33.0	25.0	3.5	Pozo	Activo	Riego y Doméstico		Operando
321	10-5-803-(331)	Pedro Simóninos Z.	Aparlato y Felhu Inca	37.0	37.0	0.0-37.0	6	35.0	28.0	10.0	10.0	5.0	Pozo	Activo	Doméstico y ot.		Operando
322	10-5-827-(284)	José Mendota Solís	Granja Guadalupe	25.0	25.0	0.0-25.0	10	10.0	12.0	14.0	3.0	1.0	Pozo	Activo	Doméstico		Operando
253	10-5-542-(102)	Salvador Escobedo	Granja San Antonio	25.0	25.0	6.0-25.0	6	16.0	12.0	14.0	6.0	3.0	Pozo	Activo	Doméstico		Operando
320	10-5-842-(154)	José Mario Martínez	Granja El Fuerte	32.0	32.0	12.0-32.0	12	40.0	12.0	55.0	10.0	0.0	Pozo	Activo	Doméstico		Operando
327	10-5-397-(174)	Dr. Salvador Pincho Ch.	Granja San Sebastián 150.	5.0						2.3							Sin Equipo
329	10-5-852-(159)	Enrique A. Torres A.	Lote 73 Col. 20 de Nov.	30.0	30.0	0.0-30.0	14	36.0	13.0	24.0	30.0	3.0	Pozo	Activo	Riego		Operando
330	10-5-802-(390)	Miguel Barancourt H.	Lote 114 Col. 20 de Nov.	40.0	40.0	12.0-40.0	12	25.0	19.0	34.0	20.0	4.0	Pozo	Activo	Industrial		Operando
328	10-5-374-(117)	Francisco Velazquez	Granja El Fuerte	35.0	35.0	21.0-35.0	12	35.0	20.0	40.0	3.0	0.2	Pozo	Activo	Doméstico		Operando
335	10-5-278-(60)	Embotelladora del Guadalupe en trámite.	20 de Nov. y F. Pascador	50.0	50.0	20.0-50.0	12	45.7	12.0	22.0	12.0		Pozo	Activo	Industrial		Operando
335-A		Embotelladora del Guadalupe	20 de Nov. y F. Pascador	50.0	50.0	20.0-50.0	10	45.7	12.0	13.3	13.0	1.0	Pozo	Activo	Industrial		Operando
336	10-5-496-(185)	Orlato, S. A.	Plantas Orlato, S. A.	40.0	40.0	0.0-40.0	10	18.0	14.0	15.7	18.0	5.0	Pozo	Activo	Industrial		Operando
337	10-5-831-(139)	Dr. Enrique Alvarado	Lote 167 Col. Hidalgo	18.0	18.0	0.0-18.0	14			3.5			Pozo	Inactivo			Sin Equipo
440	10-5-827-(140)	Dr. Enrique Alvarado	Lote 167 Col. Hidalgo	18.0	18.0	0.0-18.0	14	29.0	3.5	35.0	8.0	0.4	Pozo	Activo	Riego		Operando

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
DIRECCION GENERAL DE GRANDE IRRIGACION
SUBDIRECCION DE GEODINAMICA Y DE ZONAS ARIDAS

CENSO DE APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS DE VALLE DEL GUADIANA

NÚMERO DE POZO	REGISTRO NACIONAL	PROPIETARIO	UBICACION	PROFUNDIDAD EN METROS	CAUDAL DE BOMBEO EN M ³ /S	UBICACION DE CEGATOS	DIAMETRO DE AGUJA EN PULG.	LONGITUD DE COLUMNA EN METROS	N. C. EN METROS	N. D. EN METROS	L.P.S. EN METROS	CARGA ESPECIFICA EN L.P.S./V	TIPO DE APROV.	ESTADO ACTUAL	U S O	OBSERVACIONES
343	10-5-704-(310)	Ignacio Buelvasa Galindo	El Realino	10.0	10.0		4.0	3.0	3.0	25.0	12.5	Noria	Activo	Riego	Operando.	
343	10-5-705-(311)	Aguafin Buelvasa Galindo	El Realino	30.0	29.0	0.0-29.0	8	25.0	3.0	9.0	49.0	10.0	Pozo	Activo	Riego	Operando.
343	10-5-106-(612)	Daniel Buelvasa Guercio	El Realino	30.0	30.0	0.0-30.0	8	8.0	3.0	5.0	20.0	10.0	Pozo	Activo	Riego	Operando.
343	10-5-126-(258)	Camposa Automotrices S. A.	C. A. S. A.	75.0	72.0	18.0-74.0	12	11.0	11.0	11.0	5.0		Pozo	Activo	Industrial	Operando.
355	10-5-515-(184)	José Ma. Martínez Izaz	Lote 20 Granja Real	100.0	100.0	12.0-100.0	18	20.0	9.2	11.5	40.0	17.3	Pozo	Activo	Riego y Doméstico	Operando.
356	10-5-533-(202)	José Furrier	"Las Palmas"	26.0	26.0	0.0-26.0	8	15.0	16.0	19.0	30.0	10.0	Pozo	Activo	Riego	Operando.
360	10-5-712-(317)	José Manuel Sierra M.	Lote 160 Col. 20 de Nov.										Pozo	Inactivo		Sin operar.
364	10-5-873-(344)	Salvador Muñoz	La Esperanza Pl. Balla Lote 104 Yacabra Col. 20 de Nov.	52.0	52.0	6.1-45.9	12		15.0							
365	10-5-553-(277)	Guillermo Madrazo B.	Santa Fe Lote 2 (2150)	40.0	40.0	10.0-20.0	14	18.0	10.0	14.7	50.0	10.6	Pozo	Activo	Riego y Doméstico	Operando.
370	10-5-654-(276)	Guillermo Madrazo V.	Granja Sta. Fe Col. 20 de Nov.	40.0	40.0	0.0-40.0	14	30.0	10.0	11.0	40.0	40.0	Pozo	Activo	Riego	Operando.
371	10-5-453-(275)	Ether V. de Madrazo	Lote 75 Fracc. Sta. Fe	40.0	40.0	0.0-10.0										
						30.0-40.0	12	10.0	8.0	8.0	10.0		Pozo	Activo	Riego y Doméstico	Operando.
378-6	10-5-446-(152)	J. Trinidad Hernández	Pilar de Zaragoza	6.5	6.5			3.6	2.5	4.5	10.0	10.0	Noria	Activo	Riego	Operando.
378-1	10-5-442-(140)	Rosette Alvarado	Pilar de Zaragoza	6.0	6.0			6.0	4.0	5.5	6.0	6.0	Noria	Activo	Riego	Operando.
378-9	10-5-342-(211)	Agustín Alegre	Pilar de Zaragoza	5.0	5.0			3.0	4.5	15.0	10.0	Noria	Activa	Riego	Sin Equipo.	
378-10	10-5-448-(154)	Juan López	Pilar de Zaragoza	4.0	4.0			3.5	2.0	3.0	6.0	6.0	Noria	Activa	Riego	Sin Motor.
378-11	10-5-449-(155)	Aurelio López Arellano	Pilar de Zaragoza	5.0	5.0			4.5	2.5	3.2	9.0	12.8	Noria	Activa	Riego	Operando.
380	10-5-436-(168)	Marcelo Murg	Pilar de Zaragoza	5.0	5.0			4.5	2.0	2.6	6.0	10.0	Noria	Activa	Riego	Operando.
383	10-5-443-(149)	Antonio Galindo R.	Pilar de Zaragoza	9.0	9.0			4.5	4.5	8.5	10.0	2.5	Noria	Activa	Riego	Operando.
384	10-5-933-(354)	Antonio Galindo A.	La Prieta	9.0	9.0			4.0	6.3	15.0	4.0	6.0	Noria	Activa	Riego	Trabaja con tractor.

C A P I T U L O I I I

" CUANTIFICACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS "

III.1.- Cuantificación de los Recursos Hidráulicos.

Con base en el principio de conservación de la materia y teniendo todos los elementos necesarios para cumplir con dicho principio, es posible realizar el balance Hídrico general del subsuelo dentro de una zona, perfectamente delimitada por fronteras en su contorno. La manera más simple con la que es posible representar dicho principio es la siguiente:

$$\text{Recarga} - \text{Descarga} = \text{Cambio en el Almacenamiento}$$

Es decir, la diferencia entre el volúmen de agua que entra en la zona, con el que sale de la misma, nos representa el cambio en el almacenamiento que ha sufrido el área de estudio.

El volúmen de agua que entra en la zona de estudio queda representado por la sumatoria de volúmenes de entradas por flujo horizontal y la recarga vertical. Mientras que, el volúmen de agua que sale es igual a la sumatoria de volúmenes de salidas por flujo horizontal, bombeo y salidas por flujo base, debido a lo anterior la primera ecuación se transforma en la siguiente:

$$Eh + Rv - Sh - B - Fb = \pm \Delta VS$$

Las entradas y salidas por flujo horizontal se han de cuantificar mediante planos de flujo subterráneo obtenidos con los datos piezométricos y con la ecuación de Darcy, para medios porosos cuya representación para el caso es:

La elaboración del plano de flujo subterráneo se hace mediante el trazo de líneas equipotenciales es decir de igual elevación de nivel estático y su intersección con otras normales a estas llamadas Líneas de Flujo.

Al polígono formado entre dos líneas de flujo y dos equipotenciales consecutivos se le denomina Canal de Flujo.

A cada Canal de Flujo se le aplica La Ley de Darcy en la forma siguiente:

$$\text{Si } Q = BiT$$

Donde:

T = Transmisibilidad

B = Ancho del Canal de Flujo, se mide directamente en el plano en forma gráfica

i = Gradiente Hidráulico

$$i = \frac{E_2 - E_1}{2}$$

$$Q = B i T$$

Donde:

Q = Caudal

B = Ancho del Canal de flujo

i = Gradiente Hidráulico

T = Transmisibilidad

$E_2 =$ y $E_1 =$ Corresponden a las elevaciones del nivel estático de las curvas que forman el polígono en cuestión

L = Es la distancia que existe entre las dos curvas de igual elevación del nivel estático en cuestión

T = Se refiere a la transmisibilidad media correspondiente al canal analizado. Generalmente se realizan planos de isotransmisibilidades los que se superponen al plano - analizado obteniéndose la transmisibilidad del canal - cuestionado.

VALLE GUADIANA

FECHA ENERO, 1977

CALCULO DE ENTRADAS Y SALIDAS HORIZONTALES

Nº DE CANAL	B (mts)	L (mts)	Δh (mts)	i ($\times 10^{-3}$)	T ($\times 10^2 m^2/s$)	Q (m^3/seg)
E N T R A D A S						
1	5650	2800	5	1.7857	1.5	0.01513
2	4500	2000	5	2.5	4	0.045
3	5050	2450	5	2.0408	3	0.03091
4	5200	2550	15	5.8823	5	0.15293
5	1700	5000	15	3.00	3	0.0153
6	4900	3650	25	6.8493	1.5	0.05034
7	3650	4500	15	3.333	7	0.08515
8	7200	9250	15	1.6216	7	0.08172
9	5700	9350	15	1.6043	7.5	0.06858
10	8950	5600	15	2.6785	5	0.11986
						$\Sigma = 0.66492$
S A L I D A S						
1	3250	3300	5	1.5151	1.5	0.007386
2	3150	3750	5	1.3333	4.5	0.01889
3	6550	2650	5	1.8867	5.0	0.06178
4	4900	1600	5	3.125	7	0.10718
5	5150	1100	5	4.5454	7	0.16386
6	5000	2600	5	1.9230	6.8	0.06539
7	4750	3300	5	1.5151	4	0.02878
8	6500	4200	5	1.1904	4.6	0.03559

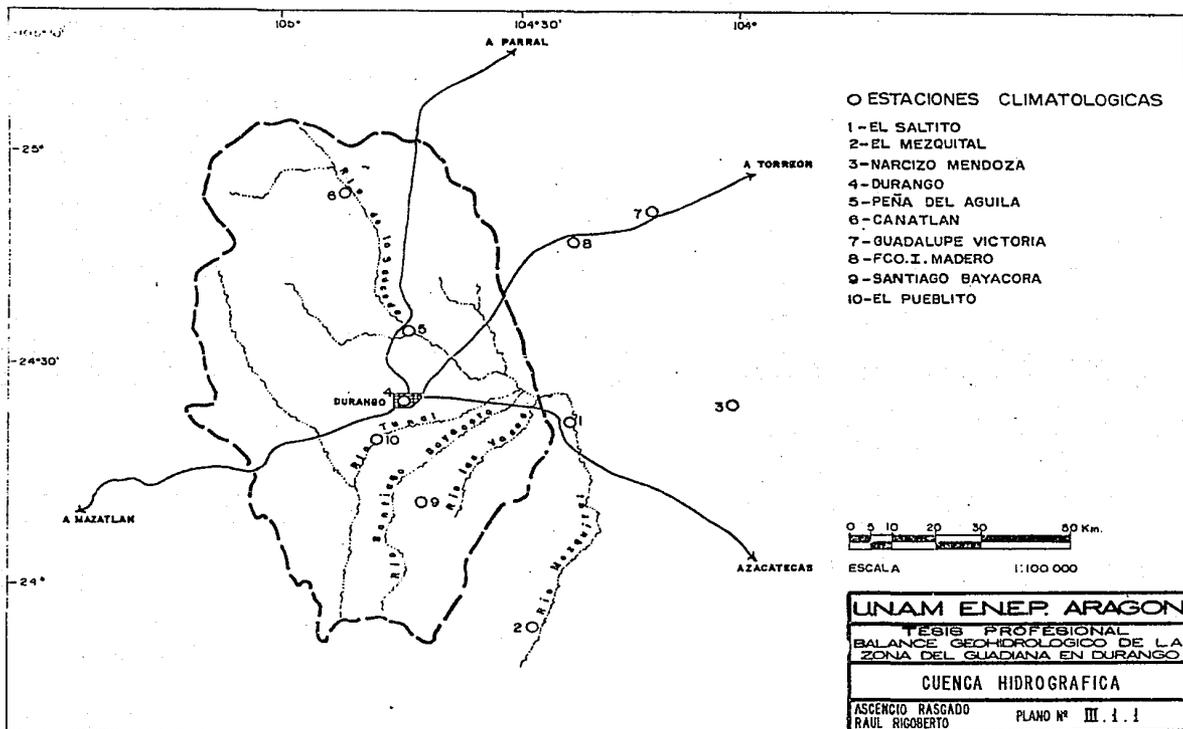
$\Sigma = 0.48884$
 CUADRO No. III.1.1

III.2. ANALISIS DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL:

El análisis del escurrimiento superficial se analiza mediante Hidrogramas. Con el objeto de conocer el volúmen de agua que el acuífero cede al río en tiempo de estiaje, lo que origina los ríos perenes, se estudian los registros de las estaciones aforadas que se encuentren dentro del área y de preferencia, si se cuenta con ellas, de las estaciones que se encuentren en la salida y en la entrada de las aguas subterráneas de la zona de estudio.

En papel simologorítmico se gráfica en el eje de las abscisas, en escala natural, el tiempo Vs. los caudales aforados en el día correspondiente en escala logorítmica.

Una vez teniendo la gráfica se observan ascensos, descensos y períodos estables. Los ascensos denotan el período de lluvia con la que se incrementa el caudal de los ríos en forma directa reportando incrementos de las mediciones de aforo. Los descensos nos indican el fin de las lluvias, pero la recarga directa de las zonas altas por lo que junto con el volúmen que dió origen al ascenso de la gráfica que consideran épocas de recarga del río hacia el acuífero. Una vez que cesan los escurrimientos directos, si el río continúa teniendo caudal, éste es de origen acuífero, es decir que el acuífero está cediendo agua al río, mismo que la conduce y desaloja fuera de la frontera del área de estudio.



Para conocer el flujo base o caudal aportado por el acuífero al río, el método utilizado consiste en trazar rectas en los períodos estables determinando así los intervalos de tiempo con que ocurre el flujo base.

Cuantitativamente el volúmen del flujo base se obtiene mediante la siguiente expresión matemática:

$$d = \frac{(\text{Log } Q_0/Q_r)}{t}$$

$$v = \frac{Q_0 - Q_t}{\alpha}$$

Siendo:

Q_0 = Caudal inicial

Q_t = Caudal final

α = Coeficiente de correlación

v = Volúmen del flujo base

En la gráfica(III.2.1) se observa un ejemplo de la Estación El Salto, ubicada en la salida de el área de estudio.

III.3. Prueba de Bombeo: La finalidad de una prueba de bombeo es conocer cuanta agua es capaz de ceder el acuífero por unidad de descenso, en su nivel dinámico en un lapso de tiempo determinado. El procedimiento de ejecución es directamente en el pozo de observación y consiste en introducir en el tubo de ademe una sonda eléctrica, que al contacto con el agua nos indica a qué profundidad se localiza el nivel del agua. Este puede ser nivel estático, si el pozo está en reposo, o dinámica si este se encuentra en funcionamiento.

Para un prueba de bombeo se mide el caudal y el descenso de el nivel dinámico en los siguientes.

En cada pozo se relizan pruebas de bombeo de abatimiento y recuperac--ción es decir que partiendo del nivel estático hay que llegar a un nivel dinámico estable y luego comenzar a medir la recuperación desde el nivel dinámico estable hasta el nivel estático original.

Para garantizar un buen inicio de prueba de bombeo es decir un nivel estático real es necesario que el pozo observado no haya sido puesto en funcionamiento, en un período de doce a veinticuatro horas, antes de la prueba; otro factor de cuidado es que el pozo de pruebas no haya sido o este siendo habatido en su nivel estático, por algún vecino que se encuentre bombeando.

Es de gran utilidad más no siempre posible contar con un pozo de observación el cual registre sus propios abatimientos originados por el bombeo y recuperación del pozo de prueba.

Una vez obtenidos los datos de campo se procede a interpretarlos para obtener "La transmisibilidad y el coeficiente de almacenamiento si se contase con pozos de observación".

Una manera de tener idea del orden de magnitud de la transmisibilidad de un pozo, es el caudal específico "q" el cual se obtiene mediante el cociente del caudal de flujo por la superficie de la cuenca vertiente calculada en kilómetros cuadrados expresada en $m^3/seg. km^2$

A nivel pozo se llama caudal específico (q) al caudal de extracción correspondiente a un descenso de un metro (Δh). Es decir cuantos m^3 (Q) se extraen por cada metro que baja el nivel dinámico.

$$q = \frac{Q}{\Delta h}$$

Con los datos de campo se puede obtener la transmisibilidad en gabinete, para ello existen diversos métodos analíticos, mismos que a continuación se describen:

Método de Jacob.- Jacob obtiene la transmisibilidad representativa de un pozo mediante la expresión:

$$T = \frac{0.183 Q}{S}$$

Donde:

T = Transmisibilidad

Q = Caudal (m³/seg.)

S = Abatimiento en un ciclo logarítmico

Gráficamente lo hace ubicando en papel semilogarítmico, los abatimientos registrados en un determinado tiempo, es decir:

Abatimiento Vs. Tiempo

Ubicando el tiempo en el eje de las abscisas y en escala logarítmica.

Método de Hantush.- Consiste al igual que el método de Jacob en graficar en papel semilogarítmico el abatimiento Vs. el tiempo, obteniéndose luego la transmisibilidad mediante la expresión.

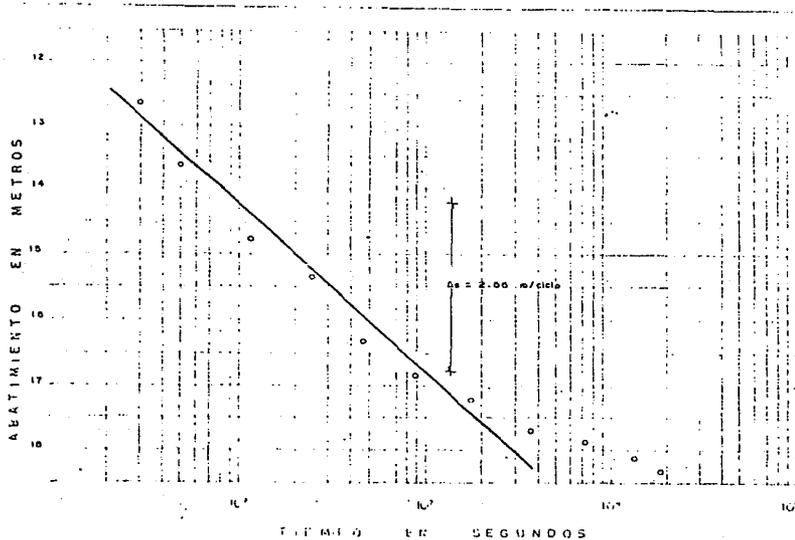
$$T = \frac{0.159 Q}{5 m} K_0 (T/B)$$

Un tercer método es el de ajustar la curva obtenida a unas ya tabuladas y de esa manera obtener la transmisibilidad.

Otros métodos que únicamente se han de mencionar son los siguientes:

Método de Theis, Método de Ferris, Método de Cooper, Método de Papadoulou, Método de Thiem, Método de Bentall y otros.

Algunas interpretaciones gráficas se presentan a continuación para mejor comprensión de lo antes descrito.



T1 = 4.20
As

T = 0.10 - 0.00
2.00

GRAFICA DE FUNDADA DE BOMBEO

NO. 74 Sep 81

Lugar BUENAVENTURA CHIH 5

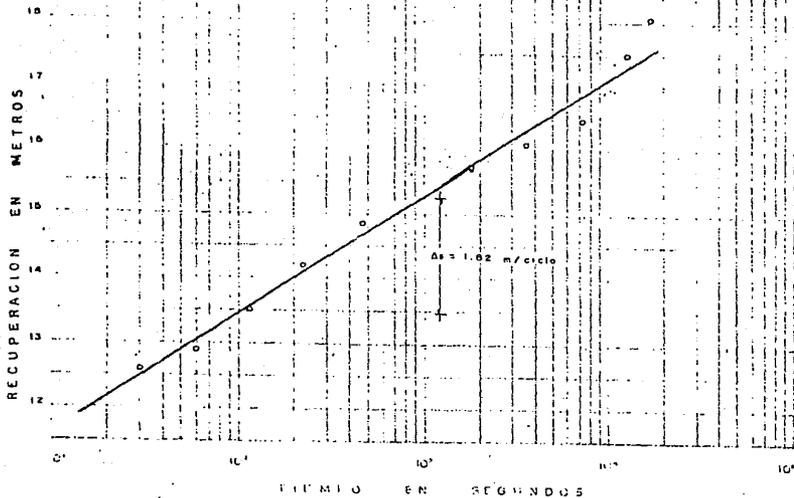
Cota 60 8" 13.35

3.273 ps

	As	As acum
0.00	0	13.35
0.00	30"	26.00 12.65
0.00	60"	27.00 1
0.02	120"	28.15 1.15
0.03	240"	28.70 0.55
0.07	480"	29.67 0.97
0.13	900"	30.21 0.54
0.25	1800"	30.58 0.37
0.50	3600"	31.03 0.45
9.00	7200"	31.23 0.2
10.00	14400"	31.45 0.22
11.00	18000"	31.68 0.23

T = 4.20

GRAFICA III.3.1.

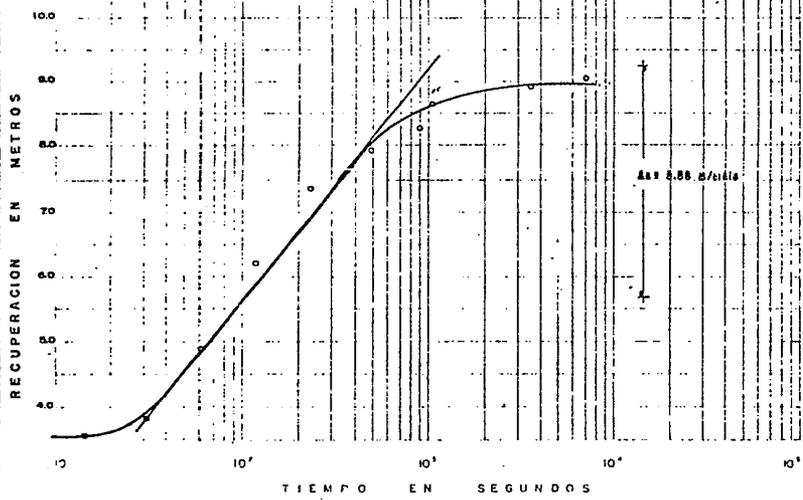


GRAFICA LA TUBERIA DE BUNGEO

Boya 74 - Puerto Sep 58
 Lugar BUENAVENTURA Chile - 5.04
 Caudal: 60 m³/seg. - 8H - 13.40 m
 Profundidad: 10.00 m - 13.2822 m

	As	As acum
6.00	0	0
6.00	30"	19.10 -12.58 = -12.58
6.02	60"	18.77 -0.33 = -12.91
6.03	120"	18.17 -0.6 = -13.51
6.07	240"	17.44 -0.73 = -14.24
6.13	480"	16.82 -0.62 = -14.86
6.25	900"	15.40 -0.48 = -15.38
6.50	1800"	15.24 -0.46 = -15.74
7.00	3600"	15.19 -0.35 = -16.09
8.00	7200"	15.19 -0.4 = -16.49
10.00	14400"	14.15 -1.04 = -17.53
11.00	18000"	13.40 -0.75 = -18.28

GRAFICA III,3,2



GRAFICA DE PERFORA DE BOMBEO
 FIC# 100 FIC# Sep 81
 Lugar BUENAVENTURA CHIH
 Corde# 62
 Profundidad 42.87 m
 BPH 4
 BPH 7.95
 BPH 6.15

TIEMPO	Profundidad	As	As acum.
11.00	0	17.98	0
11.00	15"	14.42	-3.56
11.00	30"	14.16	-0.26
11.02	60"	13.11	-1.05
11.03	120"	11.79	-1.32
11.06	240"	10.59	-1.20
11.13	480"	10.05	-0.54
11.25	960"	9.70	-0.35
11.50	1800"	9.35	-0.35
12.00	3600"	9.08	-0.29
13.00	7200"	8.91	-0.15
15.00	14400"	7.95	-0.96

$\gamma_m = 10.03 \text{ m}$
 $S_1 = 0.016 \text{ m}$
 $\Delta s_1 = 3.30 \text{ m/ciclo}$

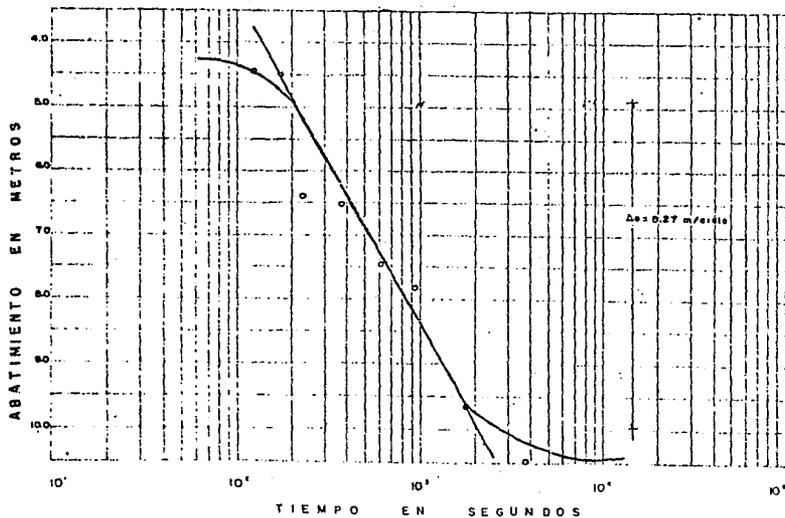
$K_0(r/n) = 2.35 \times 10^{-4}$
 $K_1(r/n) = 3.194 \times 10^{-4}$
 $r/n = 0.0433$

$T = 0.099 \text{ s} = K_0(r/n) / S_m$

$T = 0.113 \text{ s} = 10^3 \text{ m}^2 / 900 \times 3.3042 / 10.03 \text{ m}$

$T = 3.34 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{seg}$

GRAFICA III.3.3



GRAFICA DE PRUEBA DE BOMBEO

Fecha: 140
 Local: BUENAVENTURA CHIH
 Caudal: 150 l/s
 Profundidad: 10 m

TIEMPO	Ab	As	Abum
12.50	0	6.65	
12.50	120"	13.04	4.39
12.55	150"	13.14	4.10
12.55	240"	15.00	1.89
12.60	360"	15.13	0.13
12.67	600"	18.05	0.93
12.75	900"	16.39	0.34
13.00	1800"	18.24	1.65
13.50	3600"	19.04	0.60
14.50	7200"	19.05	0.01
15.50	10800"	19.05	0

$S_m = 10.40$ m
 $S_1 = 8.20$ m
 $\Delta s = 0.27$ m/sida

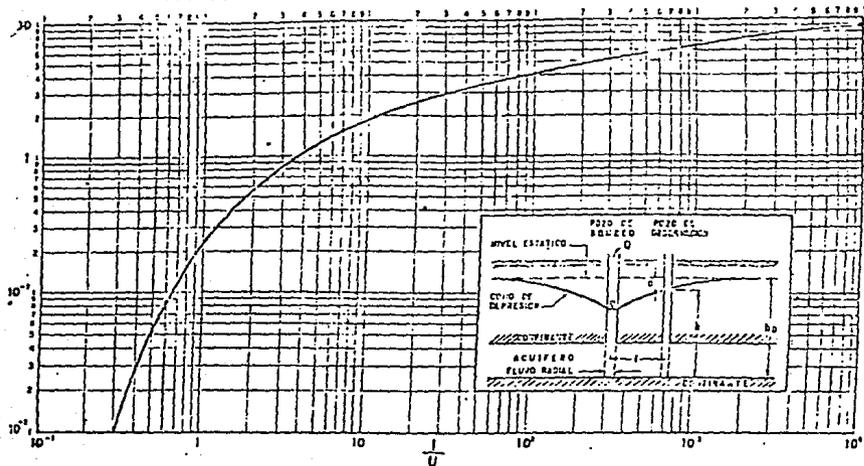
$\theta^{1/2} Ks(r/s) = 2.153$
 $Ks(r/s) = 1.8884$
 $r/s = 0.1688$

$T = 0.1509 \frac{Ks(r/s)}{S_m}$
 $T = 0.159 \frac{180 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{10.00} = 1.997$

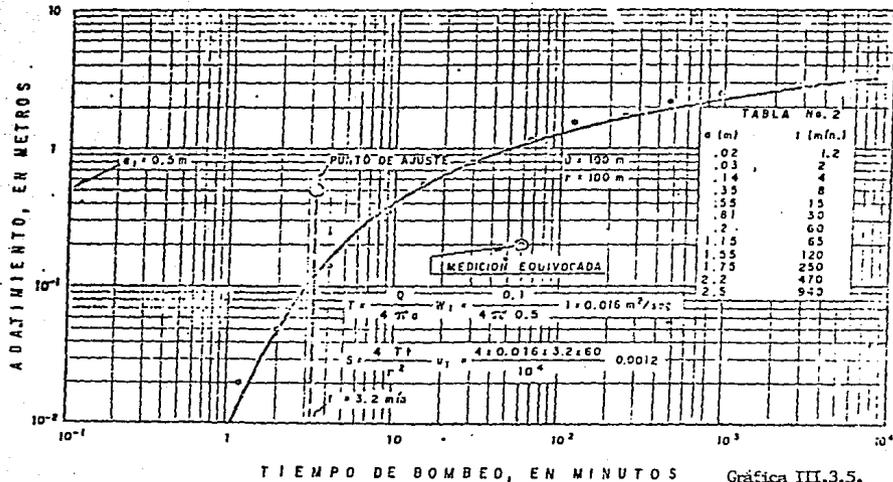
$T = 4.47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

GRAFICA III,3,4

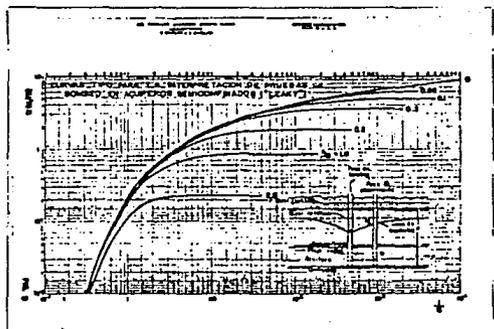
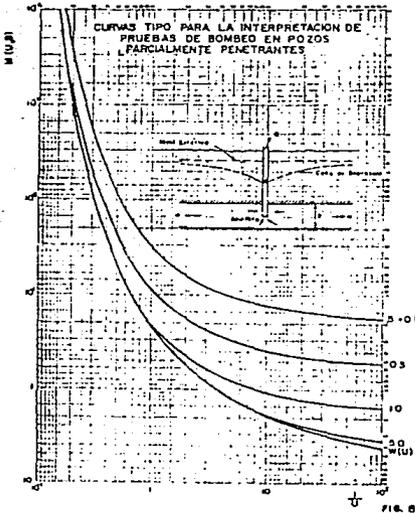
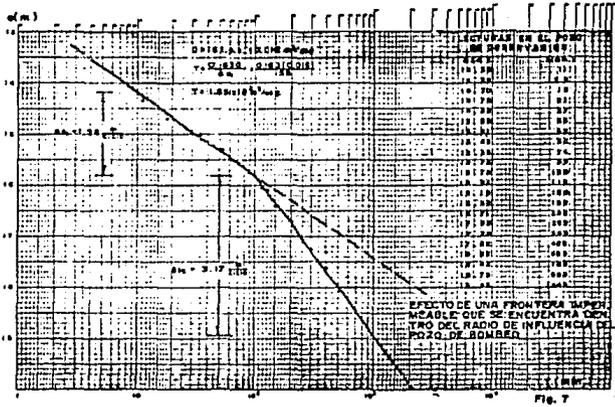
CURVA TIPO PARA INTERPRETACION DE PRUEBAS DE BOMBEO EN POZOS
TOTALMENTE PENETRANTES EN ACUIFERO CONFINANTES



INTERPRETACION DE UNA PRUEBA DE BOMBEO



Gráfica III.3.5.



Gráfica III.3.6.

III.4. " HIDROMETRIA PIEZOMETRICA "

Principalmente se realizan 3 configuraciones que son Configuración de la profundidad al nivel estático, Elevación del nivel estático con respecto al nivel medio del mar y la Configuración de la evolución del nivel estático.

Las Configuraciones de la profundidad al nivel estático como su nombre lo indica, representa a que profundidad se localiza el nivel estático del agua con respecto al terreno natural, dato importante para la ejecución de alguna obra, ya sea pozo, noria o galería filtrante.

Configuración de elevación del nivel estático, esta configuración es la más importante de las tres, ya que es la que más brinda información. En los planos de configuración del nivel estático se observa el sentido del flujo subterráneo, que es de gran importancia, ya que se sabe en que forma se mueve en el subsuelo, otro aspecto importante que se puede obtener es la pendiente en la que se mueve el flujo subterráneo, valor con el cual se puede obtener la velocidad con la cual se mueve el agua subterránea.

Otros dos parámetros que se pueden obtener son los caudales de entrada y salida del flujo subterráneo y la evolución del nivel estático como se verá más adelante.

En las configuraciones de igual evolución del nivel estático es posible observar el ascenso, descenso o equilibrio en la elevación del nivel estático valor de gran importancia para la planeación del régimen de explotación del acuífero.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE

EWADIANA, DGO.

POZO No.	COTIZACION EN ENERO 1925	COTIZACION EN ENERO 1926	COTIZACION EN ENERO 1927	COTIZACION EN ENERO 1928	COTIZACION EN ENERO 1929	COTIZACION EN ENERO 1930	COTIZACION EN ENERO 1931	COTIZACION EN ENERO 1932
143	1881.88							
348	1864.92	21.85	19.35	17.15	22.70	25.00		
137	1850.34	1843.34	1845.04	1847.84	1842.22	1859.99		
320	1874.81					1846.14		
211	1881.70					7.00		
217	1864.92					1867.81		
261-A	1857.00					19		
275	1878.31					1862.70		
312	1881.74					1852.92		
336	1872.82							
340	1859.83							
342	1857.05							
355	1865.28							
356	1865.28							
380	1878.57							
383	1881.42							
418-A	1865.00							
437	1864.48							
422	1800.79							
427	1864.56							
433	1870.01							
446	1894.38							
453	1879.17							
463	1876.79							
470	1873.80							
472	1862.75							
478-B	1889.00							
480 A	1863.80							
492	1877.47							
513	1862.35							
526	1871.77							
532	1861.41							
536	1850.00							
540	1876.96							
560	1889.29							
564	1857.22							
568	1800.00							
585	1914.33							
586	1859.23							

Profundidad y Elevación del Nivel Estático.

Cuadro III.4.1.

ESTUDIO GEODROLÓGICO DE CUADRIAMA, D.C.O.

POZO No.	COTA BÚZCAL m.s.n.m.	PROFUNDIDAD m.	ELEVACION m.										
587	1800.28	1786.63	14.35	1787.86	13.20	1787.86	13.20	1787.86	13.20	1785.86	+1.05	1786.25	0.11
593	1857.50											7.00	1850.50
592	1867.55											1.30	1867.48
597	1866.96	1864.52	2.44	1864.79	2.17	1864.88	2.08	1864.88	2.08	1864.88		1867.48	2.296
623	1872.74	N										1866.04	6.20
628	1868.02		22.97	1855.12	17.05	1855.09	17.49	1855.09	17.49	1855.09	-8.10	1850.69	-1.35
648	1855.89											1850.69	-1.35
656	1877.54											13.05	1866.39
686	1878.78		22.76	1856.07	19	1859.85	18.98	1859.85	18.98	1859.85	-3.00	1852.95	-2.02
687	1881.54											8.00	1870.5
682	1880.40											3.40	1870.5
685	1805.45	N	1829.25		1837	1802.05	3.40	1802.05	3.40	1800.55	+1.40	1801.85	2.70
719	1859.33												
815	1890.00												
819	1890.00												
829	1895.38		37.60	1847.38	34.60	1850.58	33.75	1850.58	33.75	1850.38	-2.40	1847.98	-2.60
845	1870.93												
846	1856.09		14.06	1842.01	5.25	1852.84	5.00	1852.84	5.00	1848.94	-0.70	1848.24	6.23
891	1805.00											17.20	177.80
904	1861.69											18.60	1843.29
907	1867.92		7.36	1860.64	7.20	1861.3	6.76	1861.3	6.76	1860.9	-0.35	1861.25	0.61
908	1871.77		7.88	1863.89	7.88	1863.87	7.90	1864.17	7.60	1864.17		9.00	-1.12
913	1877.02											9.20	1867.77
914	1878.52	N										1868.02	
915	1807.04		6.47	1800.57	6.59	1800.44	5.80	1801.24	5.80	1800.94	-0.10	1800.84	6.23
934	1870.83											5.80	1865.03
935	1864.34											16.70	1847.64
982	1878.09		21.15	1856.94	15.60	1860.19	15.60	1860.39	15.70	1860.39	-4.90	1855.19	
956	1882.11											30.00	1852.11
957	1868.85		33.08	1835.77	22.75	1861.7	6.66	1862.2	6.10	1862.75	+0.70	1862.85	1.25
983	1864.15		7.65	1856.5	5.35	1858.8	3.48	1860.75	3.75	1860.4	-0.35	1860.85	3.92
981	1901.29		18.00	1883.29	18.00	1882.49	16.50	1884.79	16.50	1884.79		17.00	2.00
992	1856.87											1884.29	
1007	1858.57		23.00	1835.57	22.35	1876.22	21.70	1876.87	21.70	1875.37	+0.90	1874.27	6.70
1014	1800.31											22.30	1840.82
1064-2	1865.80											4.20	1859.6
1065	1861.26											35.60	1825.89
1099-B	1857.39											10.00	1847.39
1120-S	1890												

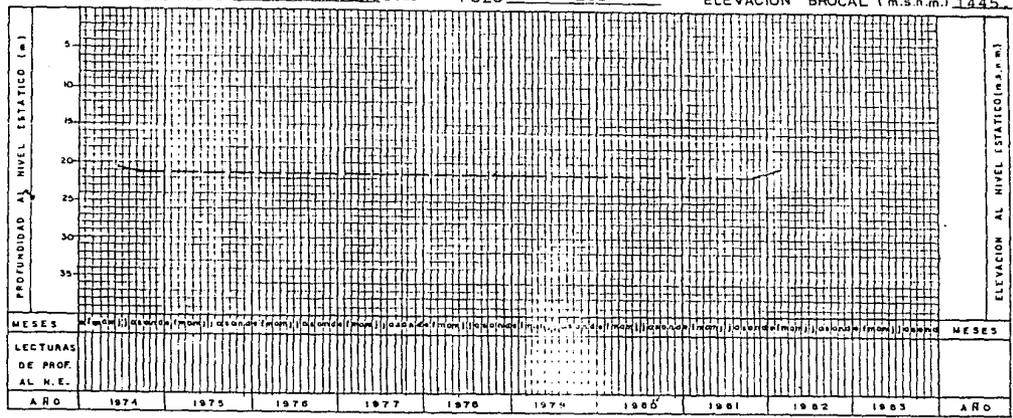
Profundidad y Elevación del Nivel Estático.

VARIACION DE PROFUNDIDAD DE LOS NIVELES ESTATICOS

LOCALIDAD SN. BUENAVENTURA

POZO 165

ELEVACION BROCAL (m.s.n.m.) 1445.582

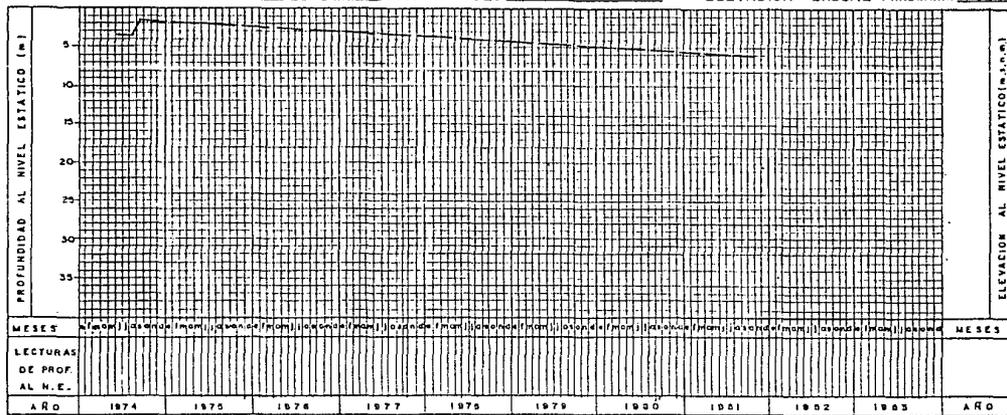


VARIACION DE PROFUNDIDAD DE LOS NIVELES ESTATICOS

LOCALIDAD SN. BUENAVENTURA

POZO 44

ELEVACION BROCAL (m.s.n.m.) 1497.678



Gráfica III.4.2.

Las principales características que se deben tener en cuenta al configurar son las de carácter geológico, hidrológico y la posible presencia de los acuíferos superpuestos.

III.5. BOMBEO (B):

Este parámetro de la ecuación de balance se calcula con los datos de campo reunidos en la hidrometría de las captaciones.

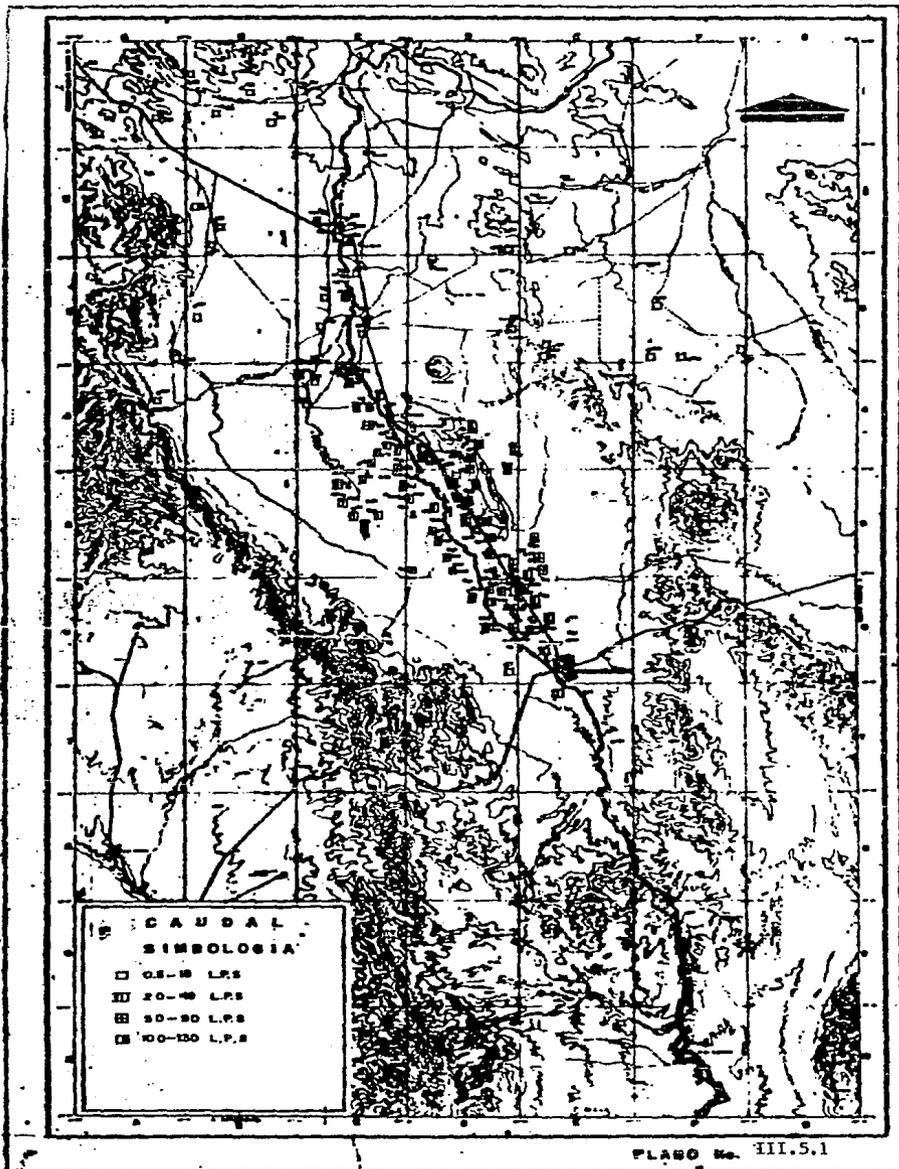
En esta sección se analizarán únicamente los volúmenes procedentes del subsuelo.

Existen fundamentalmente tres métodos para calcular el volumen extraído del subsuelo los cuales son: gasto - tiempo - área lámina y consumo de energía eléctrica.

El Método de Gasto.- Tiempo consiste en conocer el gasto (caudal de cada pozo y su régimen de operación es decir si conocemos cuantos litros por segundo extrae un pozo y cuantos segundos trabaja por año luego entonces podemos conocer, cuantos litros extrae por año. Esto se hace en cada pozo, y la sumatoria de estos da el volumen extraído en un área determinada durante un año.

Otro Método es el Area-Lámina, este método está fundamentado en el cual se explicó en el tema de evapotranspiración. Valor obtenido por el método antes indicado se le afecta por un factor de ineficiencia de riego el cual en globa tanto las ineficiencias de conducción, como parcelaria. Este factor tiene un valor de 0.67 y se definió con apoyo en estadísticas de los distritos de riego del país.

El tercer Método como su nombre lo indica solo es posible utilizarlo en áreas donde la mayor parte o todos los motores de los pozos sean de tipo



eléctrico lo cual por lo general no sucede. Para conocer el consumo de energía eléctrica es recomendable acudir a la Comisión Federal de Electricidad.

V = Variación en el Almacenamiento.

Para obtener el cambio en el almacenamiento se utilizan los planos de curvas de igual elevación del nivel estático. Es preferible usar los planos de igual elevación en lugar de las curvas de igual evolución del nivel estático, ya que estos últimos con frecuencia muestran variaciones fuertes y muy localizadas, cuyas extrapolaciones conducen a resultados falsos y de tratamiento peligroso. La anterior situación es favorablemente diluida al usar los planos de igual elevación del nivel estático.

El procedimiento a seguir se explica a continuación; la fórmula aplicada es:

$$V = \sum A_i h_i$$

Donde:

A_i = Área entre curva y curva equipotencial

h_i = Altura sobre el nivel del mar (El plano de referencia puede ser distinto)

N = Número total de áreas parciales

Se aplica la ecuación antes mencionada a cada uno de los planos; la diferencia entre los volúmenes así obtenidos proporciona la variación en el almacenamiento para las fechas en cuestión. Se muestra a continuación el cuadro de resultados

VALLE	FECHA	AREA	H	V(10 ⁶ m ³)
	Enero 1975	1023.1	1.86407	1907.1342
Guadiana	Enero 1976	1023.1	1.86458	1907.6494
	Enero 1977	1023.1	1.86335	1906.3897

La diferencia entre los volúmenes así obtenidos para -
fechas consecutivas, proporcionan la variación en el almacenamiento, como -
se muestra a continuación:

VALLE	PERIODO	Ah (m)	CAMBIO EN EL ALMACENAMIENTO
Guadiana	Enero 1975-1976	0.51	521.78
	Enero 1976-1977	-1.23	-1258.41

CAPITULO IV B A L A N C E

$$\text{ECUACION: } Eh + RV - Sh - B - Fb = \pm \text{ vs}$$

$$\begin{aligned} 19.866350 + 1.67RV - 16.592209 - 69.82848 - 17.490541 &= 521.78S \\ 18.414816 + 1.43RV - 16.589418 - 69.82848 - 7.615234 &= -1248.4Ls \\ 23.718824 + 1.28RV - 16.705249 - 69.82848 - 18.410927 &= -5739.59S \\ 26.203814 + 1.19RV - 19.924760 - 69.82848 - 18.557034 &= -5381.51S \end{aligned}$$

Sistema equivalente a:

$$\begin{aligned} 1.67RV - 521.78S &= 84.04487 \\ 1.43RV + 1258.41S &= 75.61843 \\ 1.28RV + 5739.59S &= 81.22583 \\ 1.19RV + 5381.51S &= 82.10646 \end{aligned}$$

Para resolver este sistema se uso el método de Mínimos Cuadrados cuya aplicación conduce a ecuaciones simultáneas de la forma:

$$\begin{aligned} a^2 + ab &= ac \\ ab + b^2 &= bc \end{aligned}$$

Los resultados así obtenidos son:

$$R_v = 50.85435 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año.}$$

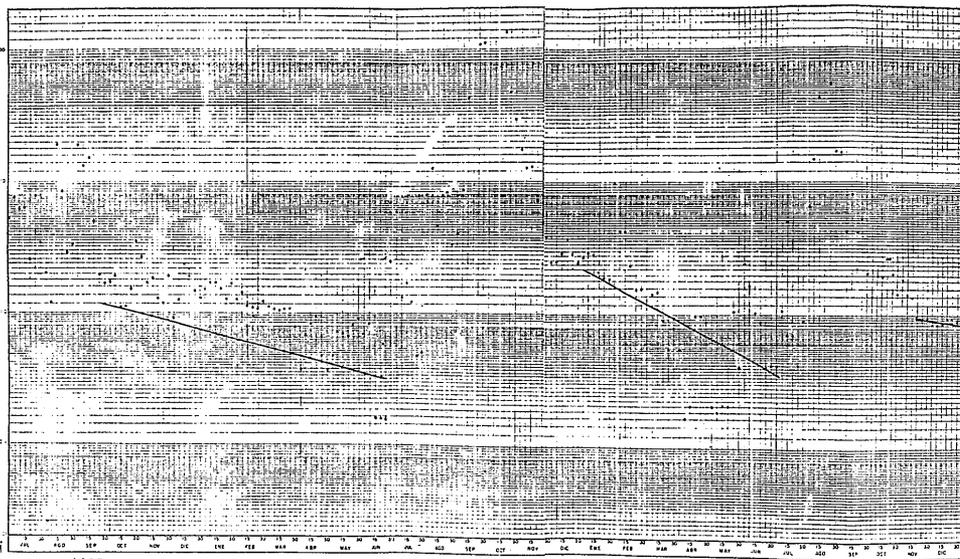
$$S = 0.00334$$

El par de valores obtenidos, parece ser bueno; no obstante un análisis detallado nos demuestra que son un poco bajos para representar a todo el valle.

Con el objeto de incrementar el resultado obtenido se procedió a resolver las ecuaciones por parejas, obteniéndose se los siguientes resultados:

ECUACIONES	$R_v \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$	S
1 - 2	51.902	0.0021
1 - 3	51.186	0.0027
1 - 4	51.535	0.0038
2 - 3	50.297	0.0029
2 - 4	48.986	0.0044

Valores que no difieren en forma significativa -- con los valores antes obtenidos. En los pares de ecuaciones, - en los que participa la ecuación No.4, es en los que se aprecia la mayor semejanza con los valores obtenidos originalmente, esto se debe a que el bombeo se calculó para esa fecha y se aplicó a todos los demás. El par que arroja un mejor resultado del coeficiente en el 2 - 4 de 0.004, valor que se asemeja más al que se piensa, podría representar a todo el valle de 0.02.

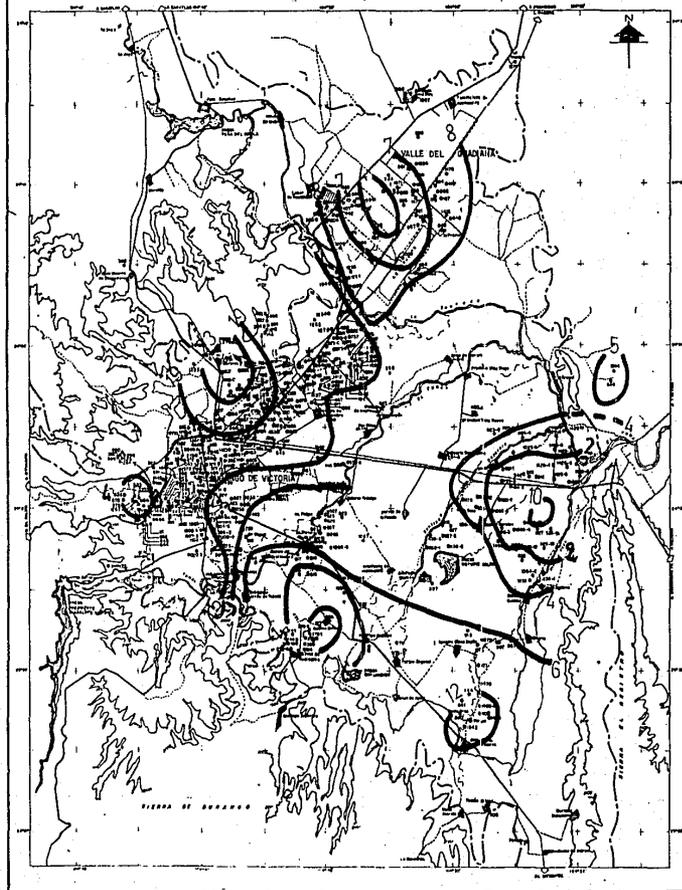


UNAM. ENEP. ARAGON

TECNOLOGIA PROFESIONAL
BALANCE SOCIOLOGICA DE LA
ZONA DEL OJEDANA EN DURANGO

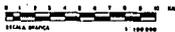
HIDROGRAFIA — ESTACION EL SALTITO

ASCENSOR OSCARDO
RAUL ROSALES PLANO N° III-2.1



SIGNOS CONVENCIONALES

-  CARRETERA
-  BARRERA
-  FERROCARRIL
-  RIO
-  ARROYO
-  PASELERO
-  PASO
-  COTA DE UNO, SACRO EN MTS.
-  LIMITE DE LA ZONA DE ESTUDIO
-  PUNTO

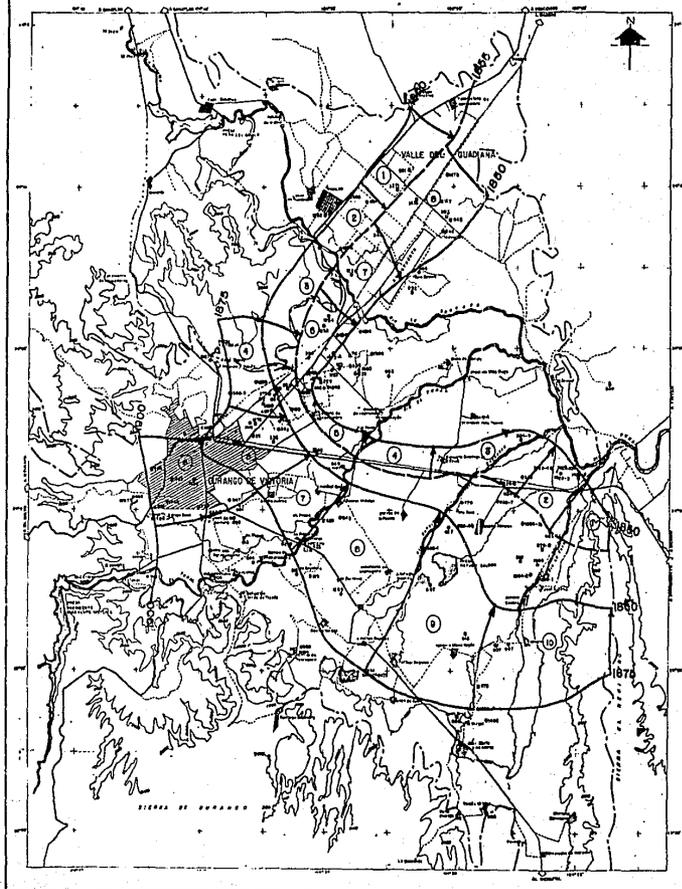


UNAM, ENEP, ARAGON

TESIS PROFESIONAL
BALANCE GEOMORFOLÓGICO DE LA
ZONA DEL GUADIANA EN DURANGO

PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO

ASENCIO BASCAGO PLANO N.º III, 4, 1
RAJIL, ISCORBITO



SIGNOS CONVENCIONALES.

- CARRETERA
- FERROVIARIO
- RÍO
- ARROYO
- POZOS
- PUEBLO
- CANTINA DE VINO, ALBERGUE, ETC.
- MONTE DE LA COMA DE BARRANCO
- MONTE DE PUEBLO

ESCALA GRÁFICA 1:100 000

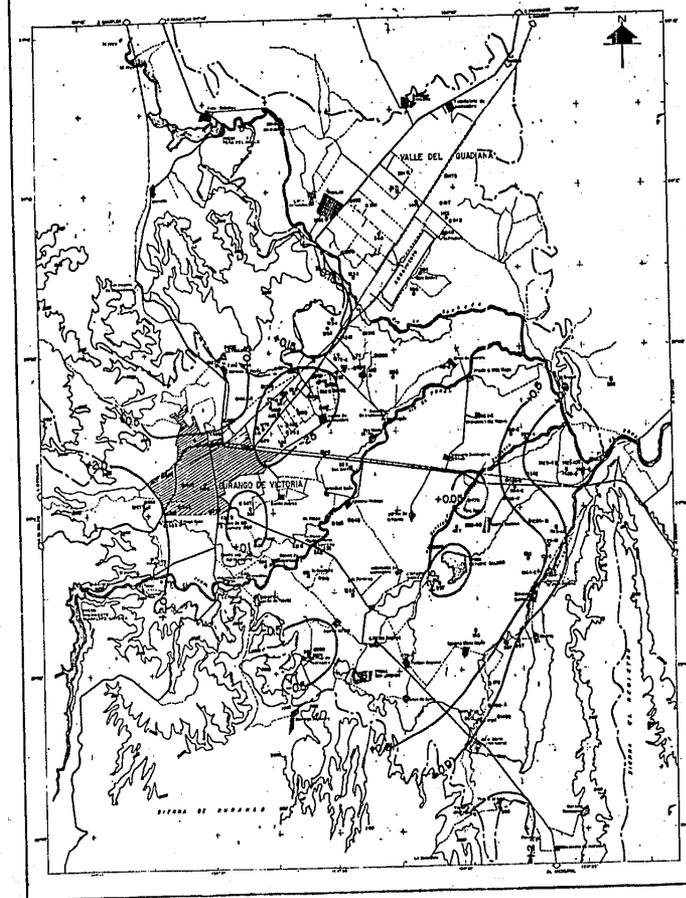
UNAM. E.N.E.P. ARAGÓN

TESIS PROFESIONAL
BALANCE GEOMORFOLÓGICO DE LA
ZONA DEL GUADANA EN DURANGO

ELEVACION DEL NIVEL ESTÁTICO

ASCENSO RASADO
RAIL ROBERTO

PLANO Nº III. 4. 2



SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- CARRETERA
- BARRIO
- FERROCARRIL
- RÍO
- CERRO
- PUEBLO
- PRESA
- LÍNEA DE NIVEL, HORARIO DE NIVEL
- LÍNEA DE LA ZONA DE ESTACIÓN

ESCALA GRÁFICA 1:10,000

UNAM. ENER. ARAGON

REGISTRO PROFESIONAL
BALANCE GEO-HIDROLÓGICO DE LA
ZONA DEL GUADIANA EN DURANGO

EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

ASCENCIÓN RASCAO
RAÚL PROBERTO PLANO Nº III. 4.3

BIBLIOGRAFIA

- 1) TRATADO PRACTICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS
G. CASTANY
EDICIONES OMEGA, S.A.
- 2) TRATADO DE HIDROLOGIA
EMILIO CUSTODIO
EDICIONES OMEGA, S.A.
- 3) MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES
HIDROTECNICA
GEOHIDROLOGIA
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
- 4) BOLETIN DE DIVULGACION TECNICA
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
- 5) ATLAS GEOHIDROLOGICO
BANCO NACIONAL DE INFORMACION GEOHIDROLOGICA
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
- 6) INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DEL CLIMA
SEGUN THORTWARTE
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
- 7) OBRAS HIDRAULICAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS
PARA RIEGO
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
- 8) ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR DE LA ZONA DE PARRAL, CHIHUAHUA
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

- 9) MODELO DEL FUNCIONAMIENTO DEL ACUIFERO DEL VALLE DE DELICIAS
EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA

- 10) ACTUALIZACION DEL ESTUDIO GEOHIDROLOGICO
DEL VALLE DEL GUADIANA
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

- 11) MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS
CENTRO INTERAMERICANO DE FOTOINTERPRETACION
BOGOTA - COLOMBIA

- 12) HIDROLOGIA
ROLANDO SPRINGAL
U N A M

- 13) HIDROGEOLOGIA
DAVIS AND WIEST
EDICIONES ARTEL

- 14) BOLETINES CLIMATOLOGICOS
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

- 15) LA INGENIERIA CIVIL EN EL DESARROLLO AGROPECUARIO DE MEXICO
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

- 16) EXPLOTACION, CUANTIFICACION Y APROVECHAMIENTO DE LOS
RECURSOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA
U N A M