

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE HIDRICO  
INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO MÁTAPE,  
Y SUS ACUÍFEROS MÁTAPE, VALLE DE  
GUAYMAS Y SAN JOSÉ DE GUAYMAS

## TESIS

**Que para obtener el Grado de:  
Maestro en Ciencias-Geología**



**PRESENTA:**

**FRANCISCO LAMBERTO RUÍZ VEGA.**

**Hermosillo, Sonora, Diciembre de 2007**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>GENERALIDADES</b>	
1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO	7
1.2 METODOLOGIA A UTILIZAR	7
1.3 LOCALIZACIÓN	9
1.3.1 COORDENADAS DE LOS VERTICES	10
1.3.2 MUNICIPIOS QUE LO COMPONEN	12
1.4 HIDROGRAFIA	13
1.4.1 REGION HIDROLÓGICA	13
1.4.2 CUENCA	15
1.4.3 SUBCUENCAS	16
1.4.4 APROVECHAMIENTOS SUPERFICIALES	18
1.4.5 INFORMACION GENERAL DE LAS PRESAS	20
1.5 CLIMA DE LA CUENCA DEL RIO MÁTAPE	25
<b>CAPITULO II</b>	
<b>ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD</b>	
2.1 TOPOGRAFÍA	28
2.2 FISIOGRAFIA	28
2.2.1 PROVINCIAS FISIOGRÁFICAS	28
2.2.2 FORMAS DE RELIEVE (GEOMORFOLOGÍA)	30
2.2.3 GEOFÍSICA (RESEÑA HISTORICA)	30
2.2.4 GEOLOGÍA	32
2.2.5 GEOQUÍMICA	34
2.3 TIPOS DE ACUÍFEROS	35
2.3.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES	36
2.3.2. ACUIFEROS POR SU CAPA SUPERIOR	38
2.3.3. ACUIFEROS EN EL AREA DE ESTUDIO	39
<b>CAPITULO III</b>	
<b>ANALISIS HIDRAULICO DE LA CUENCA</b>	
3.1 ESTACIONES CLIMATOLOGICAS E HIDROMÉTRICAS	40
3.1.1. RESTITUCION DE DATOS FALTANTES	42
3.2 PRECIPITACIÓN MEDIA	55
3.2.1. PROMEDIO ARITMÉTICO	55
3.2.2. METODO DE LAS ISOYETAS	56
3.2.3. POLIGONOS DE THIESSEN	60
3.3 TEMPERATURA MEDIA	62
3.4 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL Y REAL	64
3.4.1. METODO DE THORNTHWAITE (ETP)	65
3.4.2. MÉTODO DE TURC (ETR)	68
3.4.3. MÉTODO DE COUTAGNE (ETR)	70
3.5 PRECIPITACION EFECTIVA	71
3.6 ESCURRIMIENTO MEDIO	71
3.7 INFILTRACIÓN MEDIA	89
3.8. EVAPOTRANSPIRACION DE NIVELES SOMEROS	91

	<i>PÁGINA</i>
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	
4.1 CENSO DE APROVECHAMIENTOS	95
4.2 UNIDADES GEOHIDROLOGICAS DE LA CUENCA	98
4.2.1. ACUÍFERO SUPERIOR DEL VALLE DE GUAYMAS	99
4.2.2. ACUÍFERO INFERIOR DEL VALLE DE GUAYMAS	100
4.2.3. VALLE DE CRUZ DE PIEDRA (BOCA ABIERTA)	100
4.3. CARACTERISTICAS GEOHIDROLÓGICAS DEL VALLE DE SAN JOSE DE GUAYMAS	102
4.4. HIDRÁULICA DE POZOS	102
4.4.1. PRUEBAS DE BOMBEO	102
4.4.2. PARÁMETROS GEOHIDROLOGICOS	106
4.5. PIEZOMETRIA	107
4.5.1. EVOLUCION DE NIVELES ESTATICOS	107
4.6. CALIDAD DEL AGUA	110
4.7. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO VALLE DE GUAYMAS	114
4.7.1 DECRETOS DE VEDA	114
4.7.2 DECRETOS DE RESERVA O REGLAMENTO	114
4.7.3 ZONAS DE DISPONIBILIDAD	114
4.7.4 ORGANIZACIÓN DE USUARIOS	116
<b>CAPITULO V</b>	
<b>BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS</b>	
5.1 ECUACIÓN DE BALANCE	117
5.2 ENTRADAS	118
5.2.1 RECARGA NATURAL	118
5.2.2 RECARGA INDUCIDA	119
5.2.3 FLUJO HORIZONTAL	119
5.3 SALIDAS	120
5.3.1 EVAPOTRANSPIRACION	120
5.3.2. DESCARGAS NATURALES	120
5.3.3. BOMBEO	121
5.3.4. FLUJO HORIZONTAL	126
5.4. CAMBIO DE ALMACENAMIENTO	129
<b>CAPITULO VI</b>	
<b>DISPONIBILIDAD</b>	
6.1. RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	131
6.2. DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	131
6.3. VOLUMEN ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA	132
6.4. DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	133
<b>CAPITULO VII</b>	
<b>ANALISIS DE SENSIBILIDAD</b>	138
<b>CAPITULO VIII</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
8.1. CONCLUSIONES	148
8.2. RECOMENDACIONES	149
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	

## RELACION DE FIGURAS

## PÁGINA

Figura 1.- Precipitación en el Mundo	1
Figura 2.- Cantidades estimadas de agua en el Mundo	3
Figura 3.- División de México en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas	9
Figura 4.- Cuencas y acuíferos de la Región II “Noroeste”	11
Figura 5.- Límites superficiales de captación de las unidades hidrogeológicas que componen la Cuenca del Río Mátape	13
Figura 6.- Regiones hidrológicas de Sonora	14
Figura 7.- Distribución de la superficie por cuenca hidrológica	15
Figura 8.- Drenaje y subcuencas hidrológicas del Río Mátape	17
Figuras 9a y 9b.- Obra de toma y cortina del Represo El Horno	18
Figura 10.- Distribución de aprovechamientos superficiales	19
Figuras 11 a y b.- Visita de campo a la Presa La Haciendita	20
Figura 12.- Obra de toma de la Presa Punta de Agua	22
Figura 13.- Corte transversal de cortina y obra de toma	22
Figura 14.- Vertedor de la presa	22
Figura 15.- Corte longitudinal por el eje de la cortina	22
Figura 16.- Vista aérea de la presa Punta de Agua (CONAGUA, 2006)	23
Figura 17.- Imagen de satélite de los almacenamientos superficiales	24
Figuras 18 a y b.- Vista aérea del Bordo de Ortiz	25
Figuras 19 a y b.- Trabajos de reparación del bordo	25
Figura 20.- Distribución del clima en Sonora	26
Figura 21.- Ciclón Tropical “Juliette”, Empalme, Sonora	27
Figura 22.- Fisiografía de la Cuenca del Río Mátape	29
Figuras 23.- a) Geología superficial de la Cuenca del Río Mátape. b) Corte transversal del acuífero del Valle de Guaymas.	33
Figura 24.- Estaciones climatológicas y subcuencas del Río Mátape	41
Figuras 25, 26, 27 y 28.- Precipitación y temperatura de la Estación Guaymas	43
Figuras 29, 30, 31 y 32.- Precipitación y temperatura de la Estación Empalme (Observatorio)	44
Figuras 33, 34, 35 y 36.- Precipitación y temperatura de la Estación Francisco Márquez	45
Figuras 37, 38, 39 y 40.- Precipitación y temperatura de la Estación Vícam	46
Figuras 41, 42, 43 y 44.- Precipitación y temperatura de la Estación La Misa	47
Figuras 45, 46, 47 y 48.- Precipitación y temperatura de la Estación Torres	48
Figuras 49, 50, 51 y 52.- Precipitación y temperatura de la Estación Suaqui Grande	49
Figuras 53, 54, 55 y 56.- Precipitación y temperatura de la Estación Punta de Agua	50
Figuras 57, 58, 59 y 60.- Precipitación y temperatura de la Estación San José de Pimas	51
Figuras 61, 62, 63 y 64.- Precipitación y temperatura de la Estación Mazatán	52
Figuras 65, 66, 67 y 68.- Precipitación y temperatura de la Estación Tecoripa	53
Figuras 69, 70, 71 y 72.- Precipitación y temperatura de la Estación Mátape	54
Figura 73.- Precipitación promedio mensual en la Cuenca del Río Mátape	56
Figura 74.- Precipitación media anual por estación	56
Figura 75.- Isoyetas de precipitación en la Cuenca del Río Mátape (mm)	57
Figura 76.- Isoyetas de precipitación por subcuencas	58
Figura 77.- Polígonos de Thiessen en la Cuenca del Río Mátape	60
Figura 78.- Temperatura promedio por mes en la Cuenca del Río Mátape	63
Figura 79.- Temperatura por estación en el área de estudio	63
Figura 80.- Subcuencas y áreas de escurrimiento del Río Mátape	75

	PÁGINA
Figura 81.- Retención superficial por repesos aguas arriba de la Presa Punta de Agua	85
Figura 82.- Entradas anuales de la Estación Hidrométrica Punta de Agua	88
Figura 83.- Entradas medias mensuales a la Estación Hidrométrica Punta de Agua (1957-2002)	88
Figura 84.- Áreas con niveles freáticos someros en la Cuenca del Río Mátape	92
Figura 85.- Datos de Concesión o Asignación de Aguas del REPDA	95
Figura 86.- Captura de datos de Aprovechamientos Subterráneos del REPDA	96
Figura 87.- Transmisividades (m <sup>2</sup> /s) en el Valle de Guaymas	99
Figura 88.- Plano de igual elevación de nivel estático (2005)	110
Figura 89.- Plano de isovalores de conductividad eléctrica (Micromhos/cm-2007)	112
Figura 90.-Esquema de la calidad del agua en el Valle de Guaymas (conductividad eléctrica: Micromhos/cm-2007)	113
Figura 91.- Zonas de veda de la Región II “Noroeste”	115
Figura 92.- Pozos en la Cuenca del Río Mátape	121
Figura 93.- Pozos con volúmenes de extracción de > 500,000 m <sup>3</sup> /año	122
Figura 94.- Grafica del bombeo agrícola para los ciclos 1988-2006	124
Figura 95.- Grafica del bombeo todos los usos para los ciclos 1988-2006	125
Figura 96.- Red de flujo	126
Figura 97.- Piezometría del Valle de Guaymas (2006)	127
Figura 98.- Esquema del Flujo Horizontal del acuífero del Río Mátape	134
Figura 99.- Esquema del Flujo Horizontal del acuífero del Valle de Guaymas	136
Figura 100.- Esquema del Flujo Horizontal del acuífero de San José de Guaymas	137
Figura 101.- Unidades Hidrogeológicas de la Cuenca del Río Mátape	138
Figura 102.- Grafica de lluvia, evapotranspiración y precip-efectiva por subcuenca	139
Figura 103.- Grafica de precip-efectiva, escurrimiento e infiltración por subcuenca	140
Figura 104.- Grafica del movimiento general de agua subterránea por unidad hidrogeológica	141
Figura 105.- Esquema gráfico de recomendaciones	146

## RELACION DE TABLAS

## PÁGINA

Tabla 1.- Cantidades estimadas de agua en el mundo	2
Tabla 2.- Disponibilidad de agua en la Región Hidrológico-Administrativa II "Noroeste", (Publicadas a noviembre-2007)	6
Tabla 3.- Coordenadas de los vértices del acuífero del Valle de Guaymas	10
Tabla 4.- Coordenadas de los vértices del acuífero de San José de Guaymas	12
Tabla 5.- Area de las subcuencas del Río Mátape	16
Tabla 6.- Registros de almacenamiento de la Presa Ignacio L. Alatorre	21
Tabla 7.- Propiedades geohidrológicas de rocas y suelos	36
Tabla 8.- Caracterización de los acuíferos	38
Tabla 9.- Estaciones climatológicas con influencia en la Cuenca del Río Mátape	40
Tabla 10.- Precipitación media anual por estación (mm) en la Cuenca del Río Mátape	55
Tabla 11.- Precipitación media anual en las subcuencas del Río Mátape por el Método de las Isoyetas	59
Tabla 12.- Precipitación media anual (mm) por subcuenca con los Polígonos de Thiessen	61
Tabla 13.- Comparativo de resultados por diversos métodos	62
Tabla 14.- Temperatura media mensual y anual (°C) por estación en la Cuenca del Río Mátape	62
Tabla 15.- Determinación de la temperatura media por el método de los Polígonos de Thiessen en la Cuenca del Río Mátape	64
Tabla 16.- Cálculo de índices de calor mensual y anual	66
Tabla 17.- Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual y anual (mm) por el Método de Thornthwaite (sin corregir)	66
Tabla 18.- Número máximo de horas de sol (Doorenbos y Pruitt, 1977)	67
Tabla 19.- Valores intermedios de número máximo de horas de sol	67
Tabla 20.- Evapotranspiración potencial mensual y anual (mm) por el Método de Thornthwaite (corregido)	67
Tabla 21.- Evapotranspiración anua real por estaciones	68
Tabla 22.- Evapotranspiración real media anual por subcuenca	69
Tabla 23.- Cálculo de la evapotranspiración real por medio de Coutagne	70
Tabla 24.- Volúmenes de precipitación, evapotranspiración y precipitación efectiva de las subcuencas del Río Mátape	71
Tabla 25.- Valores de K, en función del tipo y uso de suelo	74
Tabla 26.- Precipitaciones totales anuales por estación en la Cuenca del Río Mátape (mm)	76
Tabla 27.- Cálculo de precipitación media anual para la subcuenca (B1) Río Mátape (mm)	76
Tabla 28.- Cálculo de coeficientes de escurrimiento y escurrimiento medio anual para la subcuenca (B1) Río Mátape (mm)	77
Tabla 29.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Hm <sup>3</sup> ) para la subcuenca (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua	78
Tabla 30.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Hm <sup>3</sup> ) para la subcuenca (A) Río Mátape-Empalme	79
Tabla 31.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Hm <sup>3</sup> ) para la subcuenca (D) Guaymas	80
Tabla 32.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Hm <sup>3</sup> ) para la subcuenca (E) Arroyo Chicuroso	81

	PÁGINA
Tabla 33.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Hm <sup>3</sup> ) para la subcuenca (F) Arroyo Tetabiate	82
Tabla 34.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Hm <sup>3</sup> ) para la subcuenca (C) San José de Guaymas	83
Tabla 35.- Cálculo del volumen de escurrimiento de las diferentes áreas de la Cuenca del Río Mátape	84
Tabla 36.- Información mensual de escurrimiento (103 m <sup>3</sup> ) en la Estación Hidrométrica "Punta de Agua"	87
Tabla 37.- Entradas anuales a la Presa Punta de Agua (1982-2005)	89
Tabla 38.- Cálculo del volumen de infiltración por subcuenca del Río Mátape	91
Tabla 39.- Evapotranspiración potencial media para las subcuencas B1 y B2	93
Tabla 40.- Evaporación total anual en los acuíferos Río Mátape y Guaymas	94
Tabla 41.- Cálculo del volumen de evapotranspiración anual por subcuenca (zonas con niveles someros)	94
Tabla 42.- Registro de Aprovechamientos de Agua Subterránea en la Cuenca del Río Mátape	97
Tabla 43.- Prueba de bombeo en Cobachi, Mpio. La Colorada	103
Tabla 44.- Prueba de bombeo en La Galera, Mpio. La Colorada	104
Tabla 45.- Prueba de bombeo en Mátape, Mpio. Villa Pesqueira	105
Tabla 46.- Parámetros geohidrológicos obtenidos de las pruebas de bombeo en la Cuenca del Río Mátape	106
Tabla 47.- Paro de bombeo en el Valle de Guaymas-Empalme (2005)	109
Tabla 48.- Análisis de agua en 63 pozos en el Valle de Guaymas (2007)	111
Tabla 49.- Cálculo del volumen de Retorno por Riego en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape	119
Tabla 50.- Valores de permeabilidad k en sedimentos	120
Tabla 51.- Tabla de bombeo reorganizado por subcuencas	122
Tabla 52.- Tabla del plan de riego ciclo 88-89 D.R. 084 Guaymas	123
Tabla 53.- Tabla del plan de riego ciclos 1988-2006 D.R. 084 Guaymas	124
Tabla 54.- Tabla del volumen para todos los usos, ciclos 1988-2006 según D.R. 084 Guaymas	125
Tabla 55.- Cálculo del flujo subterráneo de agua dulce que entra por la parte norte del Valle de Guaymas, (Paro de bombeo 2006)	128
Tabla 56.- Cálculo del volumen de entrada de agua de mar entre la Sierra de Santa Ursula y San Francisquito (Paro de bombeo 2006)	129
Tabla 57.- Cambio de almacenamiento por subcuenca del Río Mátape	129
Tabla 58.- Volumen de bombeo por subcuenca en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape	132
Tabla 59.- Tabla de disponibilidades por subcuenca y acuífero en la Cuenca del Río Mátape	133
Tabla 60.- Balance de agua subterránea Acuífero Río Mátape	134
Tabla 61.- Balance de agua subterránea Acuífero Valle de Guaymas (área admiva)	135
Tabla 62.- Balance de agua subterránea Acuífero Valle de Guaymas (quitando F y B2 solo el Valle)	135
Tabla 63.- Balance de agua subterránea Acuífero San José de Guaymas	137
Tabla 64.- Resultado de las disponibilidades utilizando el 100% del volumen concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm <sup>3</sup> /año)	138
Tabla 65.- Cuadro resumen del movimiento del agua subterránea con el 100% del bombeo concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm <sup>3</sup> /año)	139

	PÁGINA
Tabla 66.- Lluvia, evapotranspiración y precip-efectiva por subcuenca (Hm <sup>3</sup> /año)	139
Tabla 67.- Precip-efectiva, escurrimiento e infiltración por subcuenca (Hm <sup>3</sup> /año)	140
Tabla 68.- Movimiento general de agua subterránea por unidad hidrogeológica (Hm <sup>3</sup> /año)	141
Tabla 69.- Resultado de las disponibilidades utilizando el 90% del volumen concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm <sup>3</sup> /año)	142
Tabla 70.- Cuadro resumen del movimiento del agua subterránea con el 90% del bombeo concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm <sup>3</sup> /año)	142
Tabla 71.- Resultado de las disponibilidades utilizando el 64% del volumen concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm <sup>3</sup> /año)	143
Tabla 72.- Cuadro resumen del movimiento del agua subterránea con el 64% del bombeo concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm <sup>3</sup> /año)	143
Tabla 73.- Resumen general del acuífero Río Mátape (Unidad hidrogeológica B1)	144
Tabla 74.- Resumen general del acuífero Valle de Guaymas (Área Admiva. Unidades hidrogeológicas B2, A, D, E y F)	145
Tabla 75.- Resumen general del acuífero Valle de Guaymas (Solo el Valle Unidades hidrogeológicas A, D y E)	146
Tabla 76.- Resumen general del acuífero San José de Guaymas (Unidad hidrogeológica C)	147

## **ANEXOS (EN CD)**

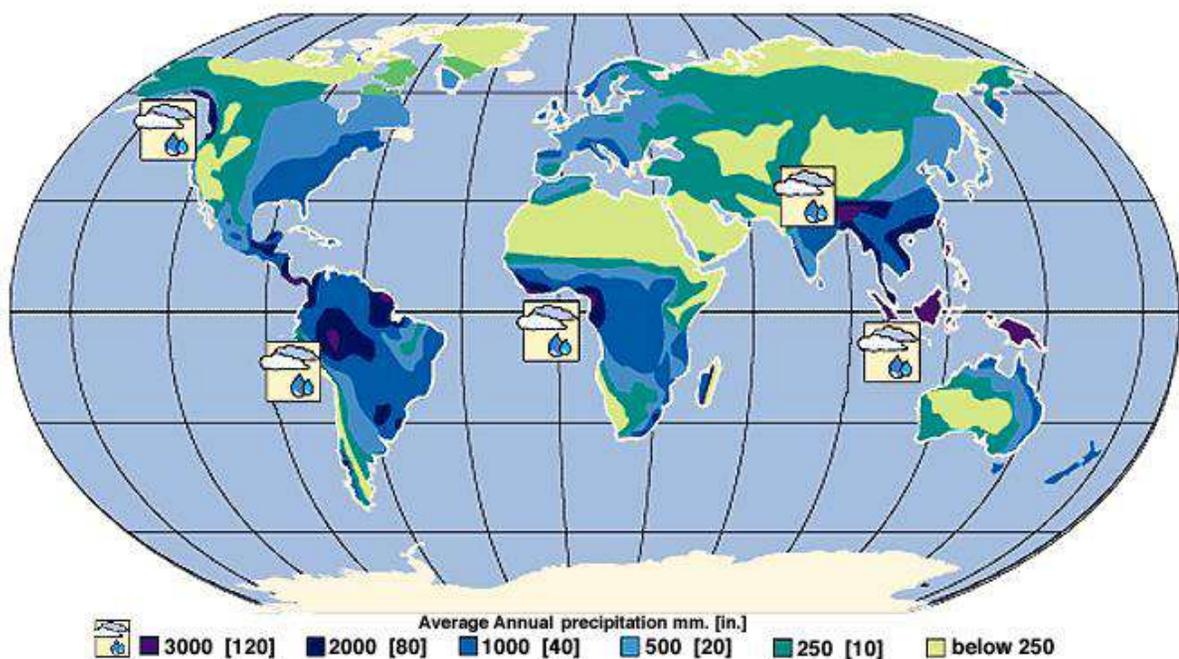
- I.- Información climatológica de las Estaciones, precipitación mensual total y temperatura media mensual.
- II.- Base de datos de aprovechamientos subterráneos de la Cuenca del Río Mátape del Registro Público de Derechos de Agua.
- III.- Base de datos de evolución de niveles estáticos del Valle de Guaymas y San José de Guaymas.
- IV.- Memoria de cálculo de áreas de escurrimiento.
- V.- Relación de programas de riego ciclos agrícolas 1988-2006.
- VI.-Relación de repesos aguas arriba de la Presa Punta de Agua.
- VII.-Tablas de calidad del agua en el Valle de Guaymas y San José de Guaymas.

## INTRODUCCIÓN

Cada año aproximadamente 110,000.00 km<sup>3</sup> de agua caen como precipitación sobre los continentes de la esfera terrestre. La población del planeta se estima en 5,700 millones, lo que significa que cada uno de nosotros recibe, en promedio, cerca de 53 000 litros, ó 53 m<sup>3</sup> de agua dulce por día, y esto sin considerar el agua que cae como lluvia o nieve en los océanos. Seguramente, debe haber agua suficiente para cubrir las necesidades de todos.

Sin embargo, aún con esta abundancia de agua, miles de personas mueren cada día de enfermedades asociadas con inadecuados esquemas de abastecimiento de agua limpia. Por supuesto, **el problema no es la cantidad de agua ni el número de personas, sino la relativa distribución de los dos, y el aspecto de que el agua no llega uniformemente en el tiempo.** Las áreas de mayor precipitación se encuentran en Centro y Sudamérica, África occidental, y Asia sur-oriental (Figura 1).

**Figura 1.- Precipitación en el Mundo**



FUENTE: <http://earth.rice.edu/mtpe/hydro/hydrosphere/hot/freshwater/rainfall.html>

En estas áreas que reciben tanta precipitación, es donde crecen la mayoría de las selvas tropicales del mundo. Mientras que las áreas de menor precipitación se han convertido en desiertos, los cuales incluyen el Desierto de África del Norte, el Oriente Medio, Norteamérica occidental, y Asia central.

Se calcula que el 97.5% del agua total es salada y que sólo el 2.5% restante es

agua dulce o fresca. Más de la mitad del agua dulce, el 68.6% es hielo polar, el 30.1% es agua subterránea y el resto se halla distribuida en pequeñas cantidades en lagos, ríos y pantanos principalmente (Tabla 1, Figura 2).

**Tabla 1.- Cantidades estimadas de agua en el Mundo**

CONCEPTO	AREA (10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> )	VOLUMEN (km <sup>3</sup> )	% AGUA TOTAL	% AGUA DULCE
OCEANOS	361.30	1,338,000,000.00	96.500000	
AGUA SUBTERRÁNEA DULCE	134.80	10,530,000.00	0.760000	30.10000
AGUA SUBTERRÁNEA SALADA	134.80	12,870,000.00	0.930000	
HUMEDAD DEL SUELO	82.00	16,500.00	0.001200	0.05000
HIELO POLAR	16.00	24,023,500.00	1.700000	68.60000
HIELO NO POLAR Y NIEVE	0.30	340,600.00	0.025000	1.00000
LAGOS DULCES	1.20	91,000.00	0.007000	0.26000
LAGOS SALINOS	0.80	85,400.00	0.006000	
PANTANOS	2.70	11,470.00	0.000008	0.00003
RÍOS	148.80	2,120.00	0.000200	0.00600
AGUA BIOLÓGICA	510.00	1,120.00	0.000100	0.00300
AGUA ATMOSFÉRICA	510.00	12,900.00	0.001000	0.04000
AGUA TOTAL	510.00	1,385,984,610.00	100.000000	
AGUA DULCE	148.80	35,029,210.00	2.500000	100.00000

FUENTE: UNESCO (1978), Chow *et al.* (1994)

Se ha calculado que una acumulación típica de nubes contiene más de 50,000 toneladas de agua. En un momento determinado, la atmósfera contiene alrededor de 12,900 km<sup>3</sup> o 12.9 X 10<sup>12</sup> toneladas de agua (Tabla 1).

Estas cifras pueden parecer enormes, pero la totalidad del agua atmosférica constituye únicamente un milésimo del 1% del agua que existe en el planeta, o el 0.04% del agua dulce que existe en los continentes. Si la totalidad de esta agua atmosférica se precipitara en un momento dado, produciría un promedio de 25 mm de lluvia sobre la superficie total de la tierra.

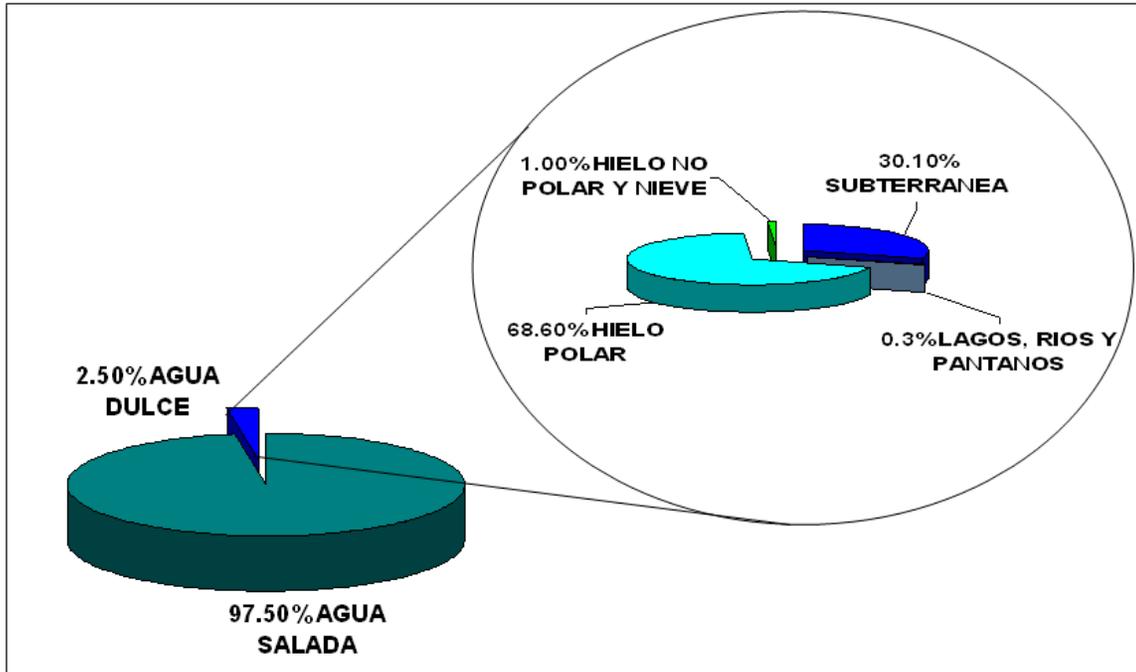
La precipitación anual promedio sobre el globo terráqueo se ha estimado del orden de los 1,000 mm, cantidad que es equivalente a 40 condensaciones totales de la atmósfera a lo largo del año.

Como se puede ver en la Figura 2, la importancia del agua subterránea es evidente ya que en muchas áreas es la única fuente de abastecimiento y representa una porción importante de los recursos de agua potencialmente a usarse en la Tierra.

Existe un contraste con almacenamientos de agua superficial que ocupan áreas amplias y frecuentemente de gran valor para la agricultura. En las profundidades debajo del suelo no es vista, está resguardada de cambios de temperatura, y protegida de la evaporación, que en el verano caliente puede causar pérdidas sustanciales de agua de presas y lagos. Debido a la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea puede ser menos vulnerable a la contaminación, que es un riesgo potencial para el agua

en la superficie.

**Figura 2.- Cantidades estimadas de agua en el Mundo**



FUENTE: UNESCO (1978), Chow *et al.* (1994)

Si el agua subterránea tiene tales ventajas: abundancia, disponibilidad en climas áridos, y relativamente más segura contra la contaminación, se le puede perdonar a alguien que se cuestione el por qué no se usa exclusivamente, o el por qué sacrifican amplias áreas de tierra de belleza extraordinaria como sitios para los embalses de las presas.

No obstante las ventajas del agua subterránea, tiene una seria desventaja, no está uniformemente distribuida en la corteza terrestre. Existen áreas grandes en el mundo en donde el agua subterránea no puede ser obtenida en cantidades suficientes para justificar el gasto de perforar y construir norias y pozos. Aunque casi todas las rocas contienen poros y debajo de cierta profundidad -llamada nivel estático- los poros están llenos de agua subterránea y las rocas están ampliamente distribuidas, se concluye que el agua subterránea está disponible en cualquier lugar, pero esto es incorrecto.

Tres puntos complican el problema, el primero es qué tan porosas son las rocas. Si sólo contienen unos cuantos espacios pequeños entonces la cantidad de agua contenida en un volumen dado de roca será muy limitado.

El segundo punto es una combinación del tamaño de los poros y el grado en que los poros están interconectados, porque esta combinación controlará la facilidad con que el agua fluirá a través de la roca. A esta propiedad se le llama **permeabilidad**.

El tercer punto que determina la cantidad de agua subterránea disponible en los materiales geológicos de un sitio es su velocidad de reposición -el grado con el cual el

agua extraída del acuífero es repuesta. La reposición puede provenir de arriba, de los lados o de abajo, de acuíferos adyacentes que transmiten el agua de otros lugares. El factor de reposición depende no sólo de la naturaleza de los materiales geológicos sino también del suelo y vegetación que los cubren, así como del clima de la región.

El **balance de agua** de un área, determina las entradas, salidas y el cambio de almacenamiento de un acuífero. El conocer con exactitud el balance de agua en una región es tan vital como conocer la porosidad y permeabilidad de las unidades geológicas involucradas. Esto es debido a que el agua subterránea de un área no se encuentra aislada de aquélla de otra región, sino que es parte de la totalidad del agua de la corteza terrestre. Por tanto existe un intercambio continuo entre toda el agua del ciclo hidrológico (<http://cictd.uaslp.mx/geo/geohidrologia/diapositivas/cap2/cap2.htm>).

El agua subterránea se agota en un área cuando se consume más agua de la que ingresa al acuífero. Esto causa que el nivel freático disminuya, por lo que el agua subterránea se hace más difícil y cara de extraer. En ocasiones la extracción de una gran cantidad de agua de un acuífero puede ocasionar que varios pozos de la región se sequen (el manto freático queda por debajo del nivel del pozo).

La rápida expansión de las áreas urbanas da como resultado el sobre uso de los suministros de agua subterránea y provoca su agotamiento y contaminación. Aunado a esto en las áreas costeras, el sobre bombeo crónico provoca la intrusión de agua salada dentro del acuífero, contaminando grandes extensiones de terreno fértil.

Reconociendo la importancia de los balances de agua, se propone el presente estudio, en el que se calculan los volúmenes y movimientos hídricos dentro de la Cuenca del Río Mátape.

### ***PROBLEMÁTICA MUNDIAL***

De acuerdo a estudios realizados en diversas partes del mundo, se tiene que (CONAGUA-IMTA, 2003):

- India, Nueva Delhi agotará sus reservas subterráneas para el 2015, si continúa el consumo actual.
- En África, en los últimos 20 años, el espejo de agua del Lago Chad se redujo de 18,000 km<sup>2</sup> a sólo 3,900 km<sup>2</sup>. A raíz de la propagación de las sequías, casi 20 millones de personas se enfrentan a la carencia de alimentos en el este africano.
- La población mundial se incrementará en 3,000.00 millones de personas en los próximos 50 años y la mayoría de ellas nacerá en los países que ya experimentan falta de agua.
- Para el 2025, unos 25 países africanos estarán sometidos a regímenes de racionamiento individual del agua, equivalentes a 1.7 m<sup>3</sup> de agua por persona por año.
- En Etiopía, gran cantidad de la población depende exclusivamente de la ayuda alimentaria para su supervivencia, pues ha perdido su ganado y cultivos por la sequía.
- En China el Río Amarillo, uno de los más grandes del norte, está casi siempre

seco y algunas ciudades como Shangai se hundieron debido a la gran cantidad de agua subterránea que se extrae. En total, 2/3 de las ciudades chinas padecen grave escasez de agua.

- Las reservas subterráneas que son las que suministran la tercera parte del agua dulce, desciende hasta 1 m/año en partes de China, India, México y Yemen.

Respecto a la contaminación se puede decir que:

- Un litro de agua (1 kilogramo) disuelve 8.75 kg de nitrato de amonio empleado como fertilizante, el cual puede llegar a los embalses y contaminarlos.
- Los detergentes representan uno de los peores enemigos del agua, pues en su estructura química contienen compuestos que no se degradan fácilmente. Los fosfatos que forman verdaderas montañas de espuma interfieren seriamente en la vida acuática.
- La contaminación por metales pesados, como mercurio, cadmio, plomo, arsénico y cromo entre otros, han provocado anomalías en la salud de la población mundial.
- A través de los microorganismos patógenos se provoca: cólera, hepatitis, fiebre tifoidea y diarrea, que pueden ser fatales sobre todo entre los niños.

### ***PROBLEMÁTICA REGIONAL***

La Región Hidrológico-Administrativa II “Noroeste” de la CONAGUA comprende las regiones hidrológicas No. 8 Sonora Norte y No. 9 Sonora Sur, la cual se extiende hasta el Estado de Chihuahua. De acuerdo a los datos de disponibilidad de agua subterránea publicados en la página Web de la Comisión Nacional del Agua, se pueden observar los acuíferos que presentan déficit de agua (Tabla 2).

Administrativamente la Región II “Noroeste” consta de 79 municipios: 72 municipios corresponden al Estado de Sonora y 7 al Estado de Chihuahua. En cuanto a los dos regiones hidrológicas, el 34.17% de la población total corresponde a la Cuenca del Río Yaqui, el 24.7% a la Cuenca del Río Sonora, el 7.8% a la Cuenca del Río mayo, el 3.5% a la Cuenca del Río Sonoyta, el 25.5% a la Cuenca del Río Concepción, y el 4.32% a la Cuenca del Río Mátape.

Entre la problemática regional, se tiene la coexistencia de 2 facetas contrastantes: una creciente concentración de la población en un número reducido de ciudades, y una enorme dispersión demográfica en las zonas rurales. El 44% de la población se concentra en tan sólo el 9.3% de la superficie total de la Región II “Noroeste”, en los municipios de Hermosillo y Cajeme. Otro porcentaje importante de habitantes se concentra en los siguientes 8 municipios más poblados (Navjoa, Guaymas, Nogales, Etchojoa, Huatabampo, Caborca, San Luis Río Colorado, Agua Prieta y Empalme (CONAGUA, 2007).

**Tabla 2.- Disponibilidad de agua en la Región Hidrológico-Administrativa II “Noroeste”, (Publicadas a noviembre-2007)**

CLAVE	UNIDAD HIDROGEOLOGICA	Recarga media anual	Descarga natural comprometida	Volumen concesionado de agua subterránea	Volumen de extracción consignado en estudios técnicos	Disponibilidad media anual de agua subterránea	Déficit
	(ACUÍFERO)						
<b>ESTADO DE CHIHUAHUA</b>							
860	<b>GUERRERO-YEPOMERA</b>	30.00	2.00	29.78	54.20	0.00	-1.78
<b>ESTADO DE SONORA</b>							
2603	<b>SONOYTA-PUERTO PEÑASCO</b>	41.40	15.90	94.16	46.30	0.00	-68.66
2606	<b>LOS CHIRRIONES</b>	30.00	2.00	29.78	54.20	0.00	-1.78
2609	<b>BUSANI</b>	15.50	0.00	16.79	20.00	0.00	-1.29
2610	<b>COYOTILLO</b>	4.00	0.00	12.32	10.80	0.00	-8.32
2612	<b>MAGDALENA</b>	41.30	0.00	43.38	41.60	0.00	-2.08
2616	<b>RIO SAN PEDRO</b>	41.00	17.00	19.90	22.30	4.10	0.00
2618	<b>ARIVAIPA</b>	15.20	0.20	1.24	1.20	13.76	0.00
2619	<b>COSTA DE HERMOSILLO</b>	250.00	0.00	430.96	430.50	0.00	-180.96
2621	<b>MESA DEL SERI-LA VICTORIA</b>	73.00	16.00	93.69	120.00	0.00	-36.69
2624	<b>RIO SONORA</b>	66.60	0.00	115.43	57.10	0.00	-48.83
2625	<b>RIO SAN MIGUEL</b>	52.50	0.00	54.09	57.00	0.00	-1.59
2626	<b>RIO ZANJON</b>	76.80	0.00	90.04	109.20	0.00	-13.24
2632	<b>RIO FRONTERA</b>	23.80	0.00	22.67	26.70	1.13	0.00
2633	<b>RIO MOCTEZUMA</b>	31.00	0.00	26.05	28.00	4.95	0.00
2635	<b>VALLE DE GUAYMAS</b>	100.00	0.00	112.63	98.90	0.00	-12.63
2636	<b>SAN JOSE DE GUAYMAS</b>	4.50	0.00	19.22	8.10	0.00	-14.72
2640	<b>VALLE DEL YAQUI</b>	564.10	50.00	428.45	363.90	85.65	0.00
2641	<b>COCORAQUE</b>	198.20	20.00	103.15	70.00	75.05	0.00
2642	<b>VALLE DEL MAYO</b>	155.00	0.00	213.22	132.50	0.00	-58.22
2643	<b>CUCHUJAQUI</b>	29.00	19.50	2.50	2.00	7.00	0.00
2658	<b>SAN BERNARDO</b>	46.80	35.00	0.05	1.10	11.70	0.00

FUENTE: <http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>

Adicionalmente, la región se encuentra expuesta a la incidencia de fenómenos meteorológicos extremos como lo son los ciclones tropicales, las heladas, las granizadas, las inundaciones y las sequías. Esta última problemática, ha obligado a los habitantes de la región a extraer más agua subterránea que la que recarga a los acuíferos, provocando sobre explotación o déficit de agua (Tabla 2).

## **I. GENERALIDADES**

### **1.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO**

El objetivo general es la determinación de la disponibilidad media de agua (1982-2005) en la Cuenca del Río Mátape y sus acuíferos (Mátape, Valle de Guaymas y San José de Guaymas), para una adecuada planeación y utilización del recurso.

### **1.2. METODOLOGÍA A UTILIZAR**

1. Recopilar y analizar toda la información existente sobre el tema (tesis, estudios técnicos, publicaciones, datos de CNA, de INEGI, etc).
2. Efectuar visitas de campo a la zona de estudio para reconocer el tipo de aprovechamientos, realizar pruebas de bombeo, medición de niveles estáticos y censo de pozos, entre otros.
3. Calcular los parámetros de hidrología superficial necesarios para caracterizar la cuenca, mediante el uso de imágenes de satélite y AutoCAD.
4. Concentrar los datos del censo de aprovechamientos de agua basados en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) y los ciclos agrícolas reportados por el DR. 084, subdividirlos por acuíferos y subcuencas.
5. Obtener y analizar datos climatológicos y piezométricos de la Cuenca del Río Mátape para elaborar mapas y gráficas (polígonos de Thiessen, isoyetas, piezometría y evolución de niveles estáticos).
6. Determinar las unidades hidrogeológicas del área, mediante reconocimiento de campo, con apoyo de mapas geológicos e hidrológicos
7. Establecer la ecuación de balance hídrico integral para la Cuenca del Río Mátape y seleccionar los métodos para calcular cada parámetro.
8. Estimar las entradas, salidas y disponibilidad de agua de los acuíferos: Mátape, Valle de Guaymas y San José de Guaymas, que se ubican en la Cuenca del Río Mátape.

### **PROCEDIMIENTO**

Para llevar a cabo la presente investigación hidrogeológica, se plantearon los objetivos generales y específicos, que fueron de manera general, calcular la disponibilidad media de agua de la Cuenca del Río Mátape, usando una ecuación de balance hídrico integral, la que fue ajustada a la ecuación propuesta por la Norma Oficial Mexicana.

Se elaboró una guía o índice de tesis a seguir, considerando los tiempos, la profundidad de los temas y los recursos económicos con que se contaba para la realización del estudio. La investigación, análisis de la información y elaboración de conclusiones, se llevó a cabo de 2005 a 2007.

Al inicio, se efectuó una recopilación bibliográfica de los datos existentes y de los estudios técnicos realizados con anterioridad (tesis, proyectos, libros, mapas,

artículos científicos, páginas de Internet, banco de datos de dependencias, etc), con el fin de profundizar en el tema, resumir y efectuar un análisis crítico. Se estudiaron todos los conceptos relativos a balance o disponibilidad de agua en una cuenca hidrológica.

Los datos recopilados (climatología, piezometría, etc) se usaron para realizar el análisis hidráulico e hidrogeología de la cuenca, mediante la elaboración de figuras, mapas y gráficas con diversos programas de cómputo. Entre los datos, se encuentra el inventario de aprovechamientos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), del cual se revisaron sus características constructivas, régimen de explotación, volúmenes de agua concesionada en los acuíferos, usos que se le dan, hidráulica de pozos y medición de los niveles estáticos de aprovechamientos subterráneos, entre otros.

De acuerdo a las características fisiográficas de la cuenca en estudio, se seleccionó una ecuación de balance hídrico integral que representara de la mejor manera las condiciones reales. El balance contempla entradas, salidas y disponibilidad de agua, tanto superficial como subterránea, cuyo cálculo requirió aplicar diversos métodos.

Entre las entradas y salidas superficiales de agua, se tienen la precipitación, la evapotranspiración y el escurrimiento. Para estimar el volumen de precipitación, se usaron los Polígonos de Thiessen y el Método de las Isoyetas. El volumen de evapotranspiración real se obtuvo mediante el Método de Turc, que se basa en la precipitación y la temperatura medias anuales. La diferencia de los volúmenes de lluvia y evapotranspiración da el volumen de precipitación efectiva por subcuenca, que multiplicada por los coeficientes de escurrimiento según el Apéndice Normativo "A" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 y calibrándolo con las entradas a la Estación Hidrométrica y Presa Punta de Agua así como los volúmenes retenidos por la Presa La Haciendita y varios repesos aguas arriba de la Presa Punta de Agua, resulta en el volumen escurrido.

Para obtener el coeficiente de escurrimiento, se digitalizaron en AutoCAD los mapas de Hidrología Superficial, escala 1:250,000 editados por el INEGI, los que incluyen las zonas con diferentes rangos de escurrimiento.

Entre las entradas subterráneas se tiene a la recarga vertical, que se calculó como la suma de la infiltración y de los retornos de riego. La infiltración resultó de restarle a la precipitación, la evaporación y el escurrimiento. Los retornos por riego o recarga inducida, se calcularon como un porcentaje del volumen agrícola concesionado en el REPDA y de las descargas controladas para riego de las presas y bordos de la zona.

Para calcular las entradas y salidas subterráneas horizontales, se utilizaron redes de flujo, con datos de piezometría, transmisividad y espesor aproximado de los acuíferos.

La descarga natural o salida de agua subterránea a través de manantiales, no es importante en el área estudiada por lo que no fue considerada. La extracción por bombeo fue tomada del volumen concesionado en el REPDA y la reportada por el DR 084 según los ciclos agrícolas, laminas de riego y tipos de cultivos.

Las salidas por evaporación directa de los acuíferos con niveles someros se

estimo tomando en cuenta las zonas con materiales no consolidados con niveles estáticos entre 1 y 10 metros que tienen una gran cantidad de norias en funcionamiento REPDA.

Por último, se sustituyeron todos los valores calculados en la ecuación de balance hídrico integral para obtener el cambio de almacenamiento de los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape. La disponibilidad de agua subterránea se obtuvo mediante la fórmula de la Norma Oficial Mexicana (NOM-011-CNA-2000), que es equivalente a reagrupar algunos términos de la ecuación de balance previamente calculados.

Para apoyar todo el trabajo anterior, se procedió a elaborar diversos mapas y gráficas usando los programas Excel, Surfer y AutoCAD entre otros.

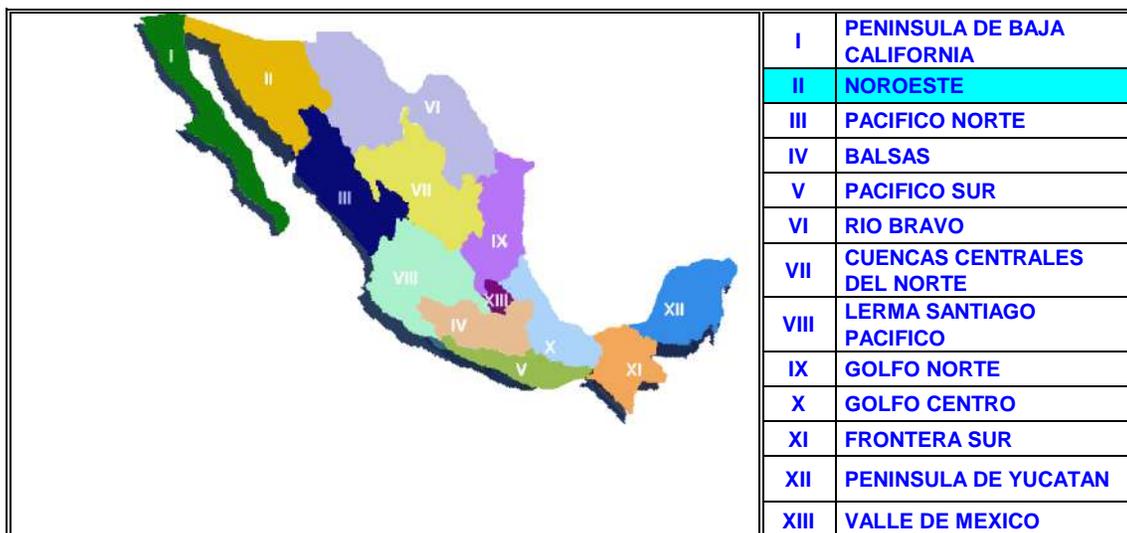
Se analizaron pruebas de conductividad eléctrica en varios pozos, determinando así hasta donde ha avanzado la intrusión salina en las zonas costeras por la excesiva extracción subterránea.

Se establecieron alternativas de explotación futura de las aguas subterráneas, determinando el volumen óptimo explotable.

### 1.3. LOCALIZACIÓN

La Cuenca del Río Mátape y sus acuíferos (Mátape, Valle de Guaymas y San José de Guaymas) se localizan en la Región Hidrológica No. 9 Sonora Sur, dentro de la Región II "Noroeste", en el desértico Estado de Sonora (Figura 3).

**Figura 3.- División de México en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas**



FUENTE: <http://sgp.cna.gob.mx/Publico/Regionales/Noroeste/Siga.htm>

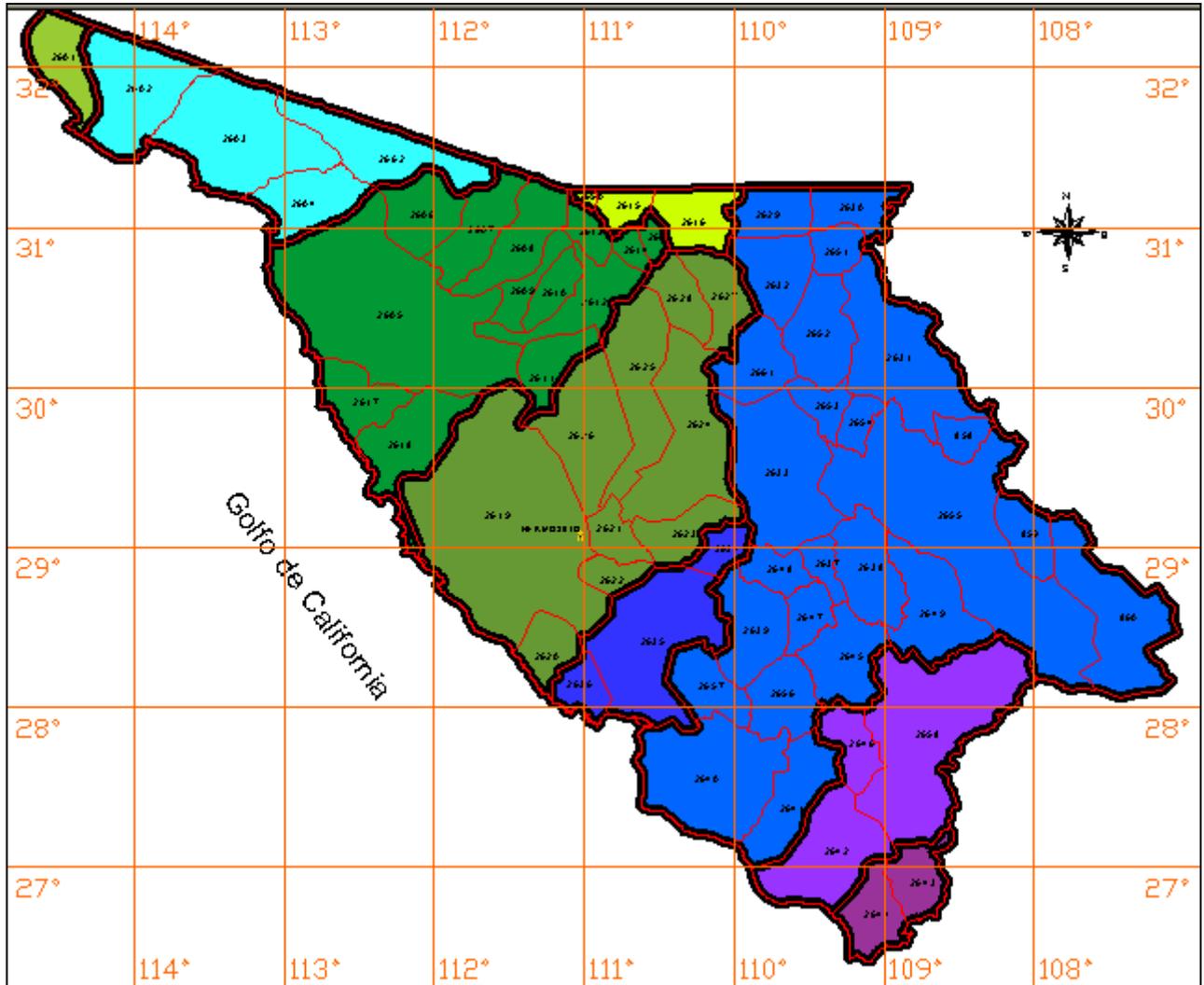
### 1.3.1. LIMITE DE LOS ACUIFEROS DE GUAYMAS Y DE SAN JOSE DE GUAYMAS

Las coordenadas de los polígonos que enmarcan el área de los acuíferos estudiados se muestran en las Tablas 3 y 4; estos límites están publicados en el Diario Oficial de la Federación.

**Tabla 3.- Coordenadas de los vértices del acuífero del Valle de Guaymas**

DIARIO OFICIAL Viernes 31 de enero de 2003						
LIMITES ACUIFERO 2635 VALLE DE GUAYMAS						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	111	0	10.8	28	25	33.6
2	110	56	6	28	26	16.8
3	110	48	25.2	28	33	14.4
4	110	47	9.6	28	40	15.6
5	110	34	55.2	28	47	9.6
6	110	30	36	28	52	4.8
7	110	18	57.6	28	53	13.2
8	110	4	33.6	28	47	52.8
9	110	4	4.8	28	47	6
10	110	8	6	28	44	34.8
11	110	8	49.2	28	43	30
12	110	4	22.8	28	40	19.2
13	110	4	22.8	28	32	49.2
14	110	1	1.2	28	32	27.6
15	110	0	10.8	28	30	57.6
16	110	1	58.8	28	30	0
17	110	0	50.4	28	21	10.8
18	110	6	39.6	28	18	32.4
19	110	7	40.8	28	20	52.8
20	110	9	32.4	28	19	55.2
21	110	10	44.4	28	21	21.6
22	110	10	48	28	23	34.8
23	110	15	36	28	22	30
24	110	22	37.2	28	20	31.2
25	110	25	44.4	28	7	40.8
26	110	17	38.4	27	56	49.2
27	110	13	15.6	27	50	6
28	110	15	14.4	27	48	10.8
29	110	19	48	27	48	39.6
30	110	23	31.2	27	52	33.6
31	110	29	2.4	27	49	51.6
32	110	29	34.8	27	49	48
33	110	30	18	27	49	58.8
34	110	30	43.2	27	50	16.8
35	110	31	12	27	50	34.8
DEL 35 AL 36 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA						
36	110	48	21.6	27	55	4.8
37	110	49	30	27	56	9.6
38	110	47	16.8	28	1	19.2
39	110	56	9.6	28	19	22.8
40	110	59	31.2	28	19	26.4
1	111	0	10.8	28	25	33.6

Figura 4.- Cuencas y Acuíferos de la Región II “Noroeste”



- |             |              |             |             |             |                |              |            |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------------|--------------|------------|
| <b>RH-7</b> | Río Colorado | <b>RH-8</b> | Río Sonoyta | <b>RH-8</b> | Río Concepción | <b>RH-9</b>  | Río Sonora |
| <b>RH-9</b> | Río Mátape   | <b>RH-9</b> | Río Yaqui   | <b>RH-9</b> | Río Mayo       | <b>RH-10</b> | Río Fuerte |

FUENTE: <http://siga.cna.gob.mx/SIGA/Regionales/Noroeste/NW.htm> (modificado)

El Organismo de Cuenca Noroeste esta comprendido por 8 cuencas (Figura 4). Las cuales son: Río Colorado, Río Sonoyta, Río Concepción, Río Sonora, Río Mátape, Río Yaqui, Río Mayo y Río Fuerte.

**Tabla 4.- Coordenadas de los vértices del acuífero de San José de Guaymas**

ACUIFERO 2636 SAN JOSE DE GUAYMAS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERV.
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	110	56	9.6	28	19	22.8	
2	110	47	16.8	28	1	19.2	
3	110	49	30	27	56	9.6	
4	110	48	21.6	27	55	4.8	DEL 4 AL 5 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
5	111	11	20.4	28	1	15.6	
6	111	10	48	28	3	21.6	
7	111	10	51.6	28	8	2.4	
8	111	7	48	28	9	43.2	
9	111	8	52.8	28	12	0	
10	111	5	6	28	13	37.2	
11	111	0	7.2	28	17	6	
12	110	59	31.2	28	19	26.4	
1	110	56	9.6	28	19	22.8	

FUENTE: CONAGUA (2004)

### 1.3.2. MUNICIPIOS QUE LA COMPONEN

La Cuenca del Río Mátape esta formada por tres acuíferos:

**Al norte el 34 Río Mátape** que abarca los municipios de Villa Pesqueira, Mazatán, La Colorada y una pequeña porción de San Pedro de la Cueva.

**Al suroeste el 36 San José de Guaymas**, el Río San José drena individualmente una porción costera del suroeste de la cuenca, en el Municipio de Guaymas.

**Al centro y sureste el 35 Valle de Guaymas**, es el acuífero más grande de la cuenca, abarca todo el Municipio de Empalme, una parte de Guaymas, La Colorada, Suaqui Grande y una pequeña porción de Bácum. Las poblaciones principales que se encuentran dentro del perímetro del acuífero, son: Empalme y localidades menores como Ortíz, Francisco Márquez, La Misa, Punta de Agua y San José de Pimas así como poblados ejidales de Santa María, Maytorena, Cruz de Piedra y José María Morelos, entre otros (Figura 5).

El acuífero Valle de Guaymas abarca la parte central y baja de la Cuenca del Río Mátape; existen 5 subcuencas hidrográficas en el acuífero Valle de Guaymas. Entre las sierras San Francisquito y Bacatete se encuentra un pequeño valle conocido como Cruz de Piedra o Boca Abierta

**Figura 5. Límites superficiales de captación de las unidades hidrogeológicas que componen la Cuenca del Río Mátape**



La imagen de satélite anterior nos muestra claramente los límites superficiales de captación de las unidades hidrogeológicas Mátape, Valle de Guaymas y San José de Guaymas. El acuífero de San José de Guaymas se puede estudiar por separado pues no tiene ninguna relación con el del Valle de Guaymas.

#### **1.4. HIDROGRAFIA**

##### **1.4.1. REGION HIDROLÓGICA**

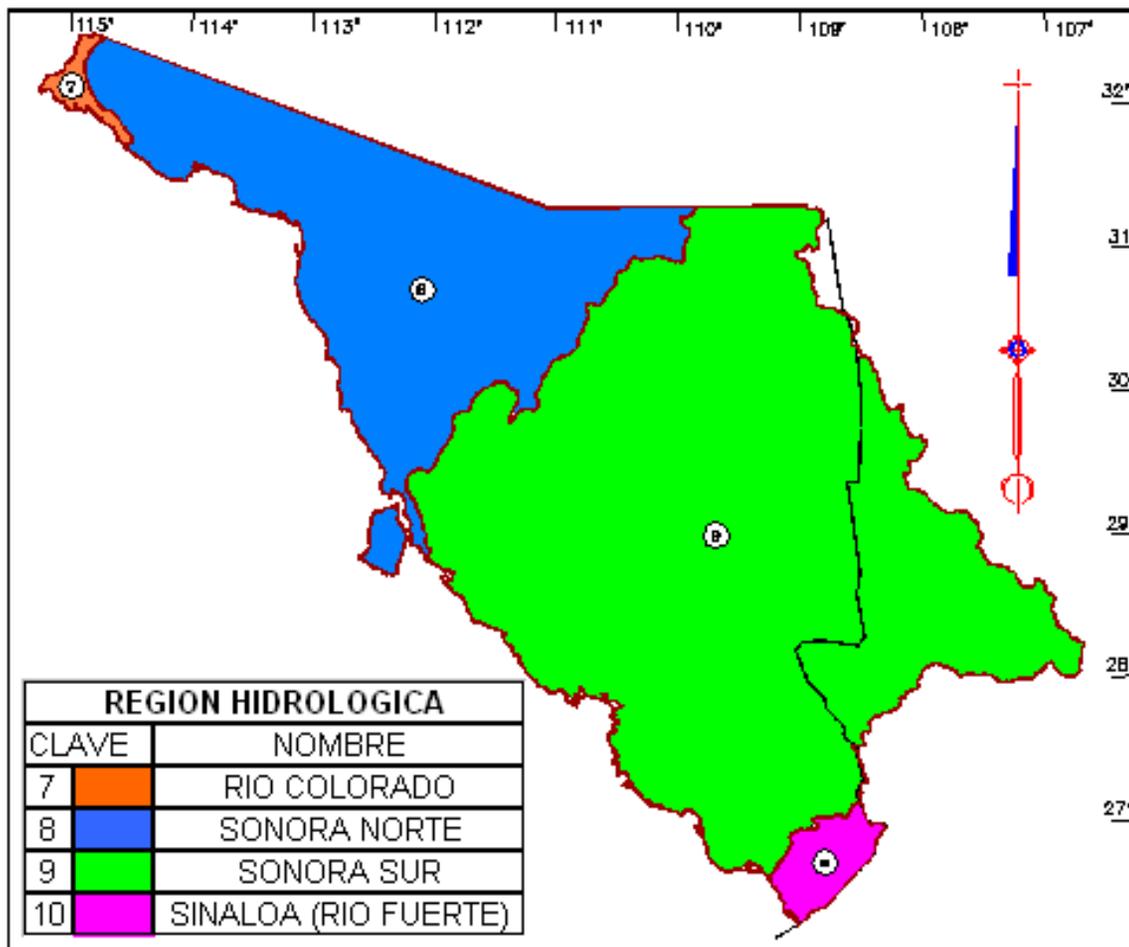
La Región II Noroeste está integrada por la región hidrológica No. 8, Sonora Norte y la No. 9, Sonora Sur, que suman una superficie hidrológica de 193,681 km<sup>2</sup> dentro del

territorio nacional (Figura 6).

● **La Región No 8** se ubica en la parte extrema del noroeste del Estado de Sonora (Figura 6), entre los meridianos  $110^{\circ}23'$  y  $114^{\circ}52'$  de longitud oeste y los paralelos  $28^{\circ}57'$  y  $32^{\circ}31'$  de latitud norte. Abarca una superficie hidrológica de  $56,177\text{km}^2$  y comprende las cuencas de los ríos:

- Sonoyta
- Concepción

**Figura 6.- Regiones hidrológicas de Sonora**



FUENTE: INEGI (1993)

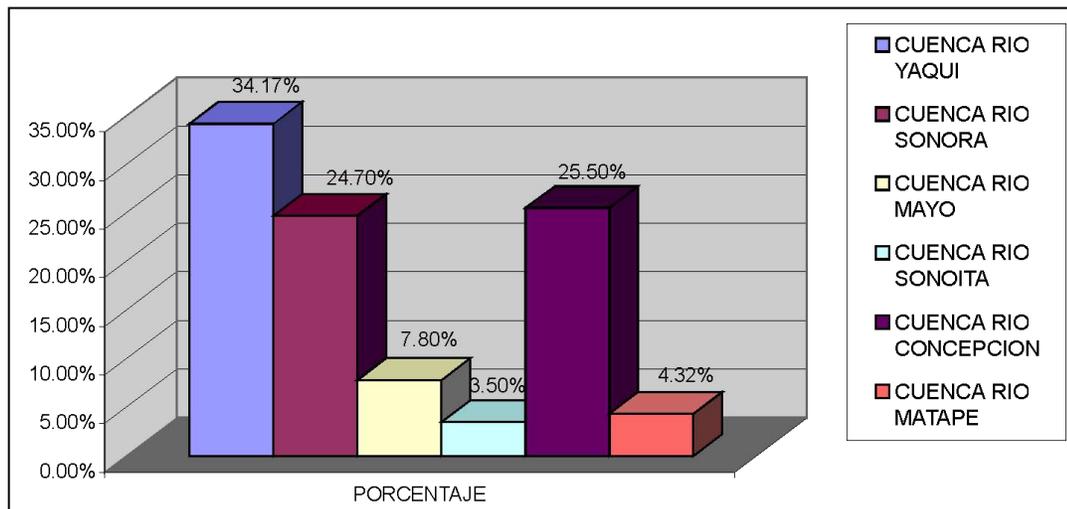
● **La Región No 9** se ubica en su mayor parte en el centro-oeste y este del Estado de Sonora y el resto pertenece al Estado de Chihuahua (Figura 6); se encuentra entre los meridianos  $106^{\circ}48'$  y  $112^{\circ}06'$  de longitud oeste y los paralelos  $26^{\circ}35'$  y  $31^{\circ}20'$  de latitud norte. Abarca una superficie hidrológica de  $137,504\text{km}^2$  e incluye las cuencas de los ríos:

- Sonora
- Yaqui

- Mátape
- Mayo

Las cuencas regadas por estos ríos tienen diferentes dimensiones, siendo la Cuenca del Río Yaqui la de mayor extensión, correspondiendo al 34.17% del total del estado, le sigue la Cuenca del Río Concepción con 25.50% del total del estado, y así sucesivamente, siendo la Cuenca del Río Sonoyta, la de menor extensión, cubriendo el 3.50% del territorio sonorense (Figura 7).

**Figura 7.- Distribución de la superficie por cuenca hidrológica**



Administrativamente la Región II Noroeste consta de 79 municipios: 72 correspondientes al Estado de Sonora y 7 al de Chihuahua.

#### **1.4.2. CUENCA**

La Cuenca del Río Mátape se encuentra en la porción central de la entidad y al oeste de la Región Hidrológica No. 9, comprende un área de 9,030 km<sup>2</sup> en su totalidad y drena un área de 7,211.97 km<sup>2</sup> excluyendo las subcuencas **(D) Guaymas** y **(F) Arroyo Tetabiate**. Se localiza íntegramente dentro del Estado de Sonora, cuenta con una precipitación media anual de 398.71 mm y una pendiente general que oscila de media a baja.

El dren principal de la cuenca es el Río Mátape, el cual tiene su nacimiento en la Sierra de Mazatán a 1,500 m.s.n.m., al noreste de Villa Pesqueira (Mátape), desde donde inicia su trayectoria de 124 km hasta descargar sus aguas en el vaso de la Presa Ignacio L. Alatorre, para posteriormente, cambiar el nombre de su cauce al de Río San Marcial, cuyas aguas son finalmente utilizadas en la zona agrícola del Valle de Guaymas.

Durante este recorrido, el Río Mátape observa una pendiente media de 0.0038 y dirección general noreste – suroeste, siendo sus afluentes una gran cantidad de arroyos de carácter intermitente. El Río Mátape tiene una longitud total aproximada desde su

origen hasta su desembocadura de 197 km; tiene un escurrimiento medio anual estimado en 61.56 Mm<sup>3</sup>, un rumbo general hacia el sur, hasta desembocar en el Golfo de California, al oriente de la bahía y puerto de Guaymas.

La Cuenca del Río Mátape está limitada entre 2 grandes cuencas (Figura 6):

**Al noroeste** por la Cuenca del Río Sonora (acuíferos 19 Costa de Hermosillo, 20 Sahuaral, 22 La Poza y 23 Santa Rosalía).

**Al noreste** con la Cuenca del Río Yaqui (acuíferos 33 Río Moctezuma, 39 Río Tecoripa, 40 Valle del Yaqui, 48 Soyopa y 57 Agua Caliente).

**Al sur** con el Golfo de California (Mar de Cortés).

### 1.4.3. SUBCUENCAS

La Cuenca del Río Mátape ( C ) está dividida en 6 subcuencas hidrológicas: A, B, C, D, E y F (Figura 8), sin embargo, en el presente estudio y con el fin de facilitar el cálculo de los parámetros del balance, se dividió la Subcuenca (B) Río Mátape-Presa Punta de Agua en 2 subcuencas: la (B1) Río Mátape al norte y la (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua al sur de la anterior (Tabla 5).

**Tabla 5.- Area de las subcuencas del Río Mátape**

ACUIFERO	SUBCUENCA	AREA (km <sup>2</sup> )
Río Mátape	(B1) Río Mátape	1,124.16
	(B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua	1,995.26
Valle de Guaymas	(A) Río Mátape-Empalme	2,886.89
	(D) Guaymas	660.69
	(E) Arroyo Chicuroso	544.97
	(F) Arroyo Tetabiate	584.33
San José de Guaymas	( C ) San José de Guaymas	1,234.46
<b>TOTAL CUENCA</b>		<b>9,030.76</b>

El Río Mátape nace en la Sierra de Mazatán al norte del poblado de Villa Pesqueira (Mátape), en la denominada **Subcuenca (B1) Río Mátape**. La **Subcuenca (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua** recibe aportaciones del Arroyo El Garambullo por la margen derecha y por la izquierda de los arroyos Los Mautos, Las Chinchas y Agua Fría; las aguas de este último, no son registradas por la estación hidrométrica Punta de Agua.

Los principales afluentes en la **Subcuenca (A) Río Mátape-Empalme** son los arroyos El Salpullido y Seco, que confluyen al Río Mátape por su margen derecha, cerca del poblado de Ortiz. El agua superficial es captada principalmente por la Presa

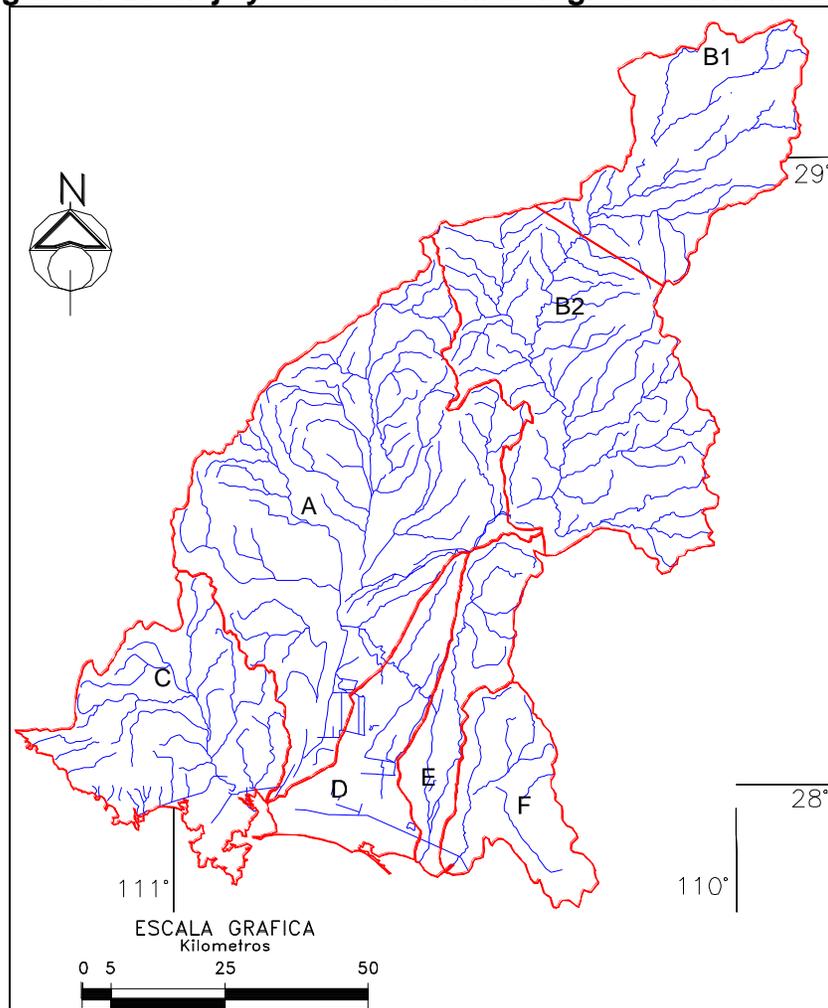
Ignacio L. Alatorre, también conocida como Punta de Agua, y por el Bordo de Ortiz. Aguas arriba del poblado de Mátape, se localiza el Represo El Horno y 6 km aguas abajo, la Presa La Haciendita, cuyo abastecimiento se usa principalmente para fines agrícolas y pecuarios de pequeña escala.

Al **Arroyo Chicuroso** en la **Subcuenca ( E )** del mismo nombre, se le une por la margen derecha el Bordo Piloto y por la izquierda el Arroyo Moscobampo. Esta subcuenca se define a partir de la estación hidrométrica Punta de Agua. Nace en la estribación noroccidental de la Sierra El Bacatete, a unos 3 km de dicha estación, su rumbo es hacia el sur franco y desemboca en la Bahía de Guásimas en el Golfo de California.

La subcuenca de este arroyo, junto con la **(F) Arroyo Tetabiate**, tienen una superficie de 1,130 km<sup>2</sup> y se encuentran entre la cuenca hidrográfica del Río Yaqui al sur, y el valle de Guaymas al occidente (Figura 8).

La **Subcuenca (D) Guaymas** en la parte central del valle tiene varios arroyos pequeños, el más importante es el Arroyo Mautal, el cual es interceptado por el Bordo Piloto.

**Figura 8.- Drenaje y subcuencas hidrológicas del Río Mátape**



#### 1.4.4. APROVECHAMIENTOS SUPERFICIALES

Ubicado a 6 km al sur del parteaguas norte de la cuenca, sobre el Arroyo El Dátil, afluente del Río Mátape en el Municipio de Villa Pesqueira, se localiza el **Represo El Horno** (Figuras 9a y 9b), un aprovechamiento muy antiguo que tiene un área hasta la boquilla de 14.85 km<sup>2</sup>, con un escurrimiento medio anual aproximado de 0.5 millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>).

**Figuras 9a y 9b.- Obra de toma y cortina del Represo El Horno**



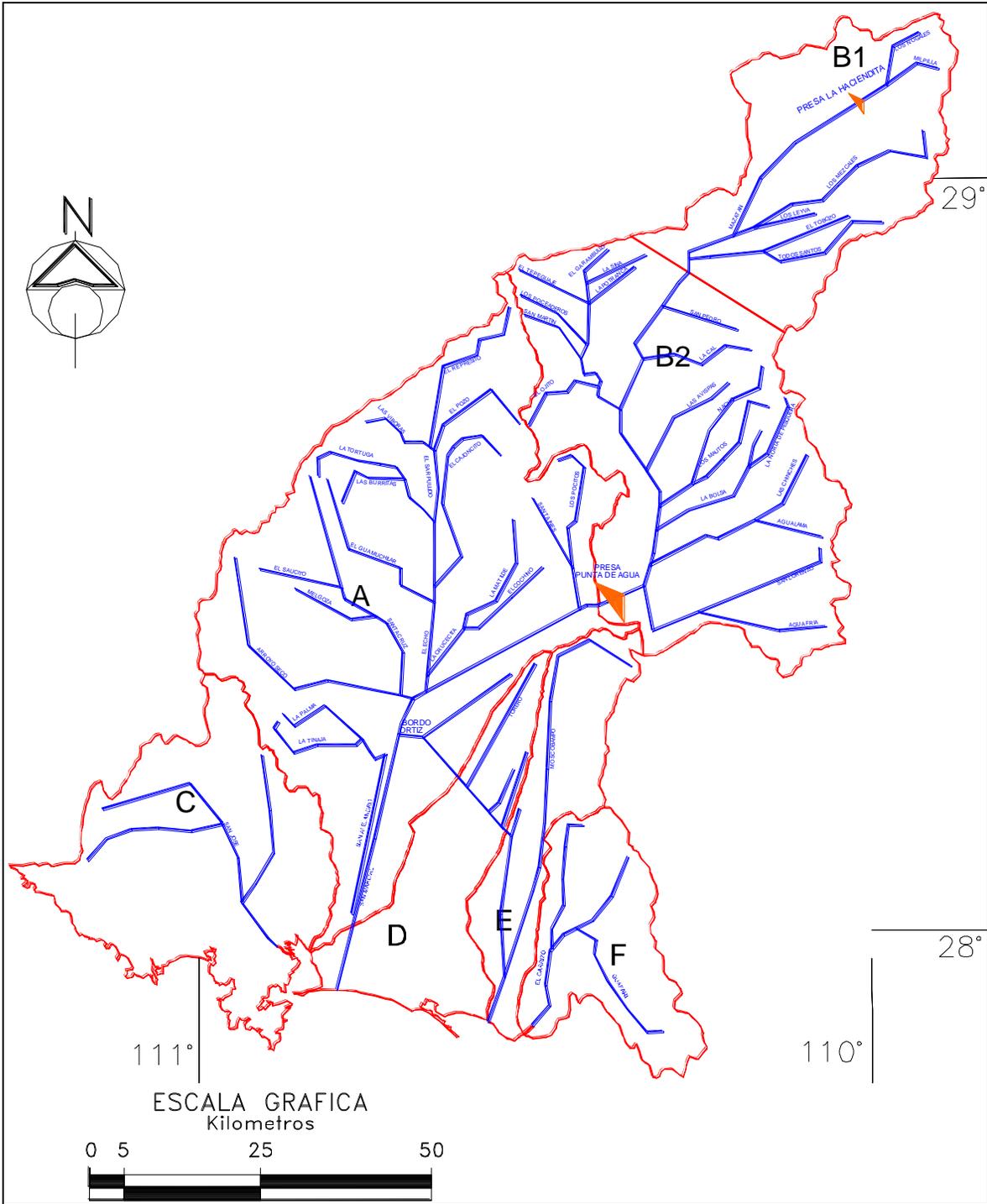
El poblado de Mátape se localiza a 6.8 km aguas abajo del represo y a 4 km más al sur, se ubica la **Presa La Haciendita**, construida en 1955 con una capacidad aproximada de 6.9 Mm<sup>3</sup> para el riego de 306 ha (Figuras 10 ,11 a y b).

Continuando su curso el Río Mátape recorre 18.2 km de esta presa hasta el poblado de Mazatán y 21 km aguas abajo, ya en el Municipio de La Colorada, se ubican Cobachi y La Galera; en este punto se encuentra el límite del acuífero Mátape y comienza el de Valle de Guaymas. Aproximadamente a 25 km aguas abajo se localiza el pueblo de San José de Pimas, 5 km antes de la confluencia por la margen derecha del Arroyo El Garambullo; posteriormente el Río Mátape recorre 30.81 km, durante los cuales se le unen varios arroyos por su margen izquierda (Las Avispas, Los Mautos, La Bolsa y Las Chinchas) hasta la estación hidrométrica Punta de Agua, la cual se encuentra a 7 km aguas arriba de la **Presa Ignacio L. Alatorre (Punta de Agua)**.

Entre la estación y la presa, se le une al río el Arroyo El Chololo (Agua Fría), cuyas aguas aunque no son contabilizadas por la estación hidrométrica, sí ingresan a la Presa Punta de Agua (Figuras 10 y 16). Las principales afluentes del Río Mátape son, desde su origen hasta el mar, Arroyo Los Mezcales, El Toboso y Todo Santo por la margen izquierda, Arroyo La Sierra y La Sina por la margen derecha, Arroyo Las Avispas, Las Chinchas y Agua Fría por la margen izquierda. Los afluentes anteriores constituyen los escurrimientos de entrada al vaso de la presa Punta de Agua. A partir del caudal del

Arroyo Los Pocitos, todos los restantes afluentes principales del Río Mátape son por la margen derecha y forman los escurrimientos que llegan al Bordo de Ortiz y al Bordo Piloto.

Figura 10.- Distribución de aprovechamientos superficiales



### 1.4.5. INFORMACION GENERAL DE LAS PRESAS

- **LA HACIENDITA, MPIO. DE VILLA PESQUEIRA**

Al sur de Mátape se ubica este represo pequeño en comparación con la Presa Punta de Agua. Se usa principalmente para abrevadero de ganado vacuno y para recreación de los habitantes del pueblo (Figuras 11 a y b).

a) LOCALIZACION GEOGRAFICA. La presa se ubica en las coordenadas: 109° 59' 48" de longitud oeste y 29° 05' 43" de latitud norte.

b) HIDROLOGIA. Se localiza en la Región Hidrológica No. 9 Sonora Sur, en la Cuenca ( C ) Río Mátape, Subcuenca (B1) Río Mátape. El área de la Cuenca del Río Mátape hasta la presa es de 114.90 km<sup>2</sup>.

c) ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL: 4.08 Mm<sup>3</sup>

d) CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION

Capacidad del NAMO	6.9 Mm <sup>3</sup>
Capacidad del NAME	8.97 Mm <sup>3</sup>
Elevación NAME	709.40 m.s.n.m.
Capacidad máxima del vertedor	1,210.00 m <sup>3</sup> /s
Año de inicio de operación	1955

**Figuras 11 a y b.- Visita de campo a la Presa La Haciendita**



- **PRESA IGNACIO L. ALATORRE (PUNTA DE AGUA)**

El aprovechamiento superficial más importante al centro de la cuenca, es la Presa Ignacio L. Alatorre, también conocida como Punta de Agua.

Cuando el Río Mátape lleva agua, recorre 120 km desde su nacimiento hasta ser interceptado por la presa, sitio a partir del cual, el río cambia de nombre a Arroyo San Marcial. La presa se destina para riego agrícola, abrevadero y otros usos secundarios, como proteger contra inundaciones a los terrenos aguas abajo.

a) LOCALIZACION GEOGRAFICA. Ubicada en las coordenadas: 110° 22' 11" longitud oeste y 28° 26' 39" latitud norte, sobre el Río San Marcial o Mátape en el Municipio de Guaymas. Partiendo de la Ciudad de Hermosillo, la Presa Ignacio L. Alatorre tiene acceso por la carretera pavimentada Hermosillo-La Colorada, para tomar enseguida el camino de terracería que se desarrolla paralelo a la vía del ferrocarril Guadalajara-Nogales, pasando por las estaciones Torres y Moreno, donde se desvía a la izquierda con rumbo a los poblados La Misa, Palo Verde y Punta de Agua, hasta llegar a la presa distante 115 km.

b) HIDROLOGIA. Se ubica en la Región Hidrológica No. 9 Sonora Sur. El área que comprende desde la parte alta de la Cuenca del Río Mátape hasta la Presa Punta de Agua es de 3,119.42 km<sup>2</sup>.

c) ALMACENAMIENTO MEDIO ANUAL. Registrado por la CONAGUA (2006) en la Presa Ignacio L. Alatorre de 1982 a 2005 fue de 41.36 Mm<sup>3</sup>. El almacenamiento total en dicho período fue de 992.66 Mm<sup>3</sup> (Tabla 6).

**Tabla 6.- Registros de almacenamiento de la Presa Ignacio L. Alatorre**

AÑO	ENTRADA (Mm <sup>3</sup> )	AÑO	ENTRADA (Mm <sup>3</sup> )	AÑO	ENTRADA (Mm <sup>3</sup> )
1982	32.72	1991	18.65	2000	20.13
1983	30.71	1992	10.75	2001	83.63
1984	32.92	1993	13.57	2002	8.06
1985	32.1	1994	27.54	2003	9.54
1986	17.69	1995	29.48	2004	20.43
1987	6.45	1996	12.69	2005	14.9
1988	105.02	1997	109.62	<b>TOTAL</b>	<b>992.66</b>
1989	104.78	1998	8.25	<b>MEDIA</b>	<b>41.36</b>
1990	222.12	1999	20.91		

FUENTE: CONAGUA (2006)

d) CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION. Consta de una cortina de materiales graduados, tiene una longitud de 1,015 m, una altura sobre el fondo del cauce de 21 m, un dique que cierra un puerto, una obra de toma del tipo de torre y galería, con capacidad para un gasto normal de 3.25 m<sup>3</sup>/s, obra de excedencias consistente en un vertedor de cresta libre tipo abanico con capacidad para un gasto máximo de 1,210 m<sup>3</sup>/s. La obra de toma fue modificada ya que el azolve cubrió parte de ella, reduciendo

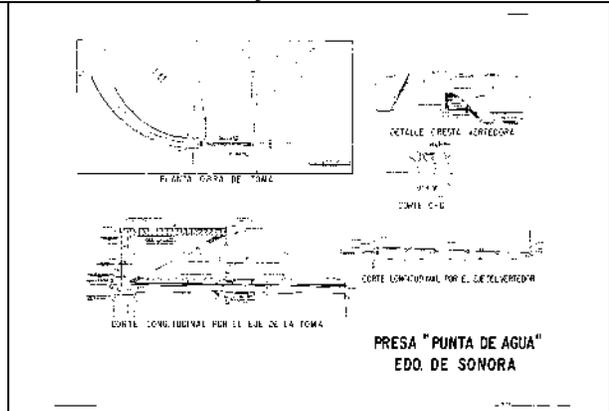
su capacidad de operación en sólo 15 años (Figuras 12, 13, 14 y 15).

Capacidad del NAMO	27.97 Mm <sup>3</sup>
Capacidad del NAME	41.10 Mm <sup>3</sup>
Capacidad de azolves	1.60 Mm <sup>3</sup>
Elevación cresta vertedora	100.00 m.s.n.m.
Elevación NAME	102.65 m.s.n.m.
Elevación de la corona	105.00 m.s.n.m.
Avenida de proyecto	1,500.00 m <sup>3</sup> /s
Longitud del Vertedor	140.00 m
Capacidad máxima del vertedor	1,210.00 m <sup>3</sup> /s
Año de inicio de operación	<b>1980</b>

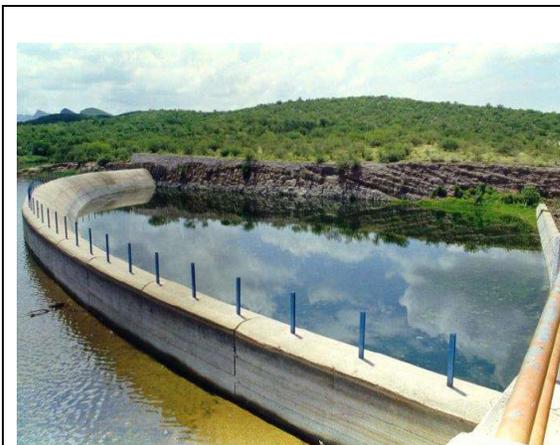
**Figura 12.- Obra de toma de la Presa Punta de Agua**



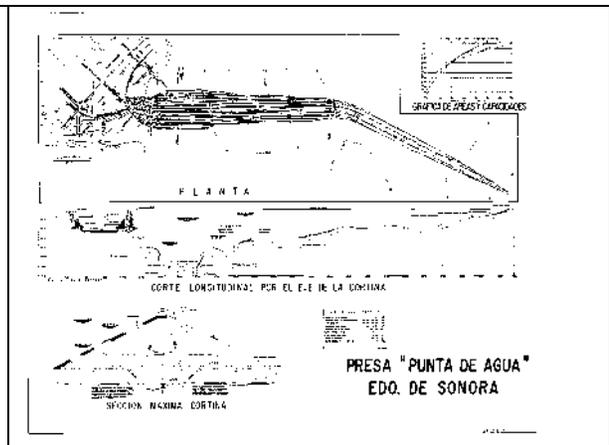
**Figura 13.- Corte transversal de cortina y obra de toma**



**Figura 14.- Vertedor de la presa**



**Figura 15.- Corte longitudinal por el eje de la cortina**



e) GEOLOGIA REGIONAL. La presa se ubica en la Subprovincia Fisiográfica del Desierto Sonorense, limitada al noreste por la Sierra Madre Occidental y al oeste por el Golfo de California. A unos 15 km aguas arriba de la boquilla se encuentra la zona

carbonífera de San Marcial. Alrededor de la presa existen grandes cantidades de calizas paleozoicas, paquetes interestratificados de areniscas, lutitas, limonitas, mantos de carbón y algunos conglomerados de la Formación Barranca del Triásico Superior-Jurásico Inferior, rocas de la Formación San Marcial del Jurásico Superior-Cretácico, rocas volcánicas (lavas, tobas, aglomerados) del Terciario, rocas graníticas del Terciario Medio, y rocas volcánicas y conglomerados de la Formación Báucarit de fines del Terciario. En el Cuaternario se inició el modelado de la topografía que dio al terreno su aspecto actual (Figuras 16 y 17).

**Figura 16.- Vista aérea de la presa Punta de Agua (CONAGUA, 2006)**



**Figura 17.- Imagen de satélite de los almacenamientos superficiales**



- BORDO DE ORTIZ

El Bordo de Ortiz se encuentra a 36 km aguas arriba de Empalme y su desembocadura al Golfo de California, y a 38 km aguas abajo de la Presa Ignacio L. Alatorre después de la confluencia por su margen derecha con el Arroyo Seco (Figuras 17, 18a y b, 19a y b).

El bordo tiene una longitud aproximada de 4 km, su cortina es de sección homogénea; inició su operación en 1958 con funciones de regularizar, proteger y recargar el acuífero, además de generar aguas abajo un sistema de riego por bolseo. Tiene una descarga de 60 m<sup>3</sup>/s.

**Figuras 18 a y b.- Vista aérea del Bordo de Ortiz****Figuras 19 a y b.- Trabajos de reparación del bordo**

### **1.5. CLIMA DE LA CUENCA DEL RIO MÁTAPE**

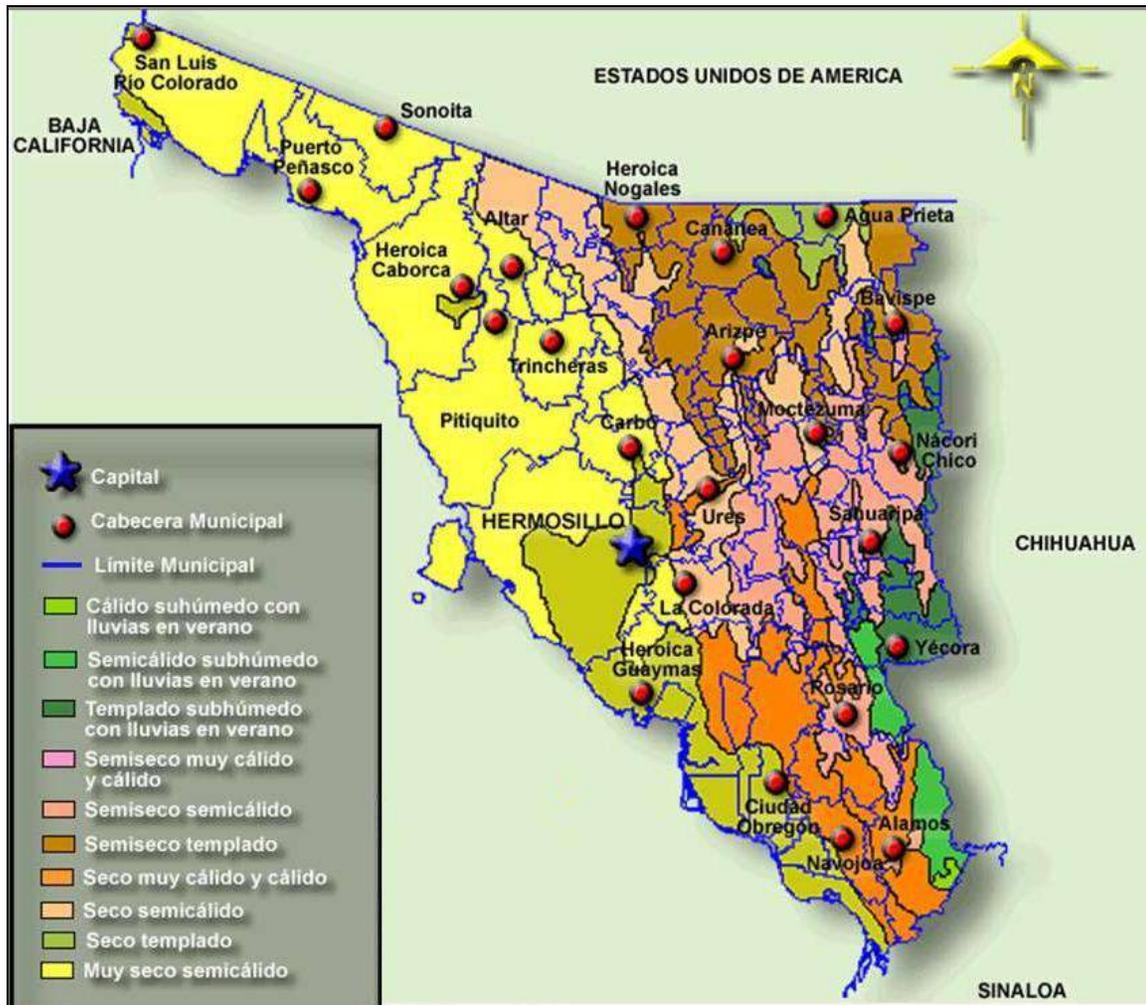
El clima general de la región está influenciado por su ubicación latitudinal, que corresponde a un cinturón de zonas áridas distribuido alrededor del mundo. Prevalece un sistema de alta presión, originado por la confluencia de masas de aire frío y tropical, lo que provoca cielos despejados, amplia exposición solar e incremento de temperaturas.

Los climas predominantes en la mayor parte del territorio sonoreNSE, son de carácter seco, semiseco, subhúmedos y templados, que se manifiestan a lo largo del límite oriental, en la sierra alta.

En la Cuenca del Río Mátape se tienen varios climas: el semiseco semicálido y semiseco muy cálido en los cuales su rango de temperatura media anual va de 18.0° a 22.0°C y el de precipitación total anual de 400 a 700 mm. Las poblaciones con estas características climáticas son Mátape, Tecoripa y Mazatán en la parte alta y centro.

El clima seco templado y seco muy cálido y cálido en la parte baja correspondiente al Valle de Guaymas. Este clima es de tipo semidesértico, así como la vegetación, con lluvias deficientes en todas las estaciones del año. La temperatura media anual oscila entre 15° y 30°C, presentándose la temporada cálida de Junio a Septiembre (Figura 20).

Figura 20.- Distribución del clima en Sonora



FUENTE: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/son/clim.cfm>

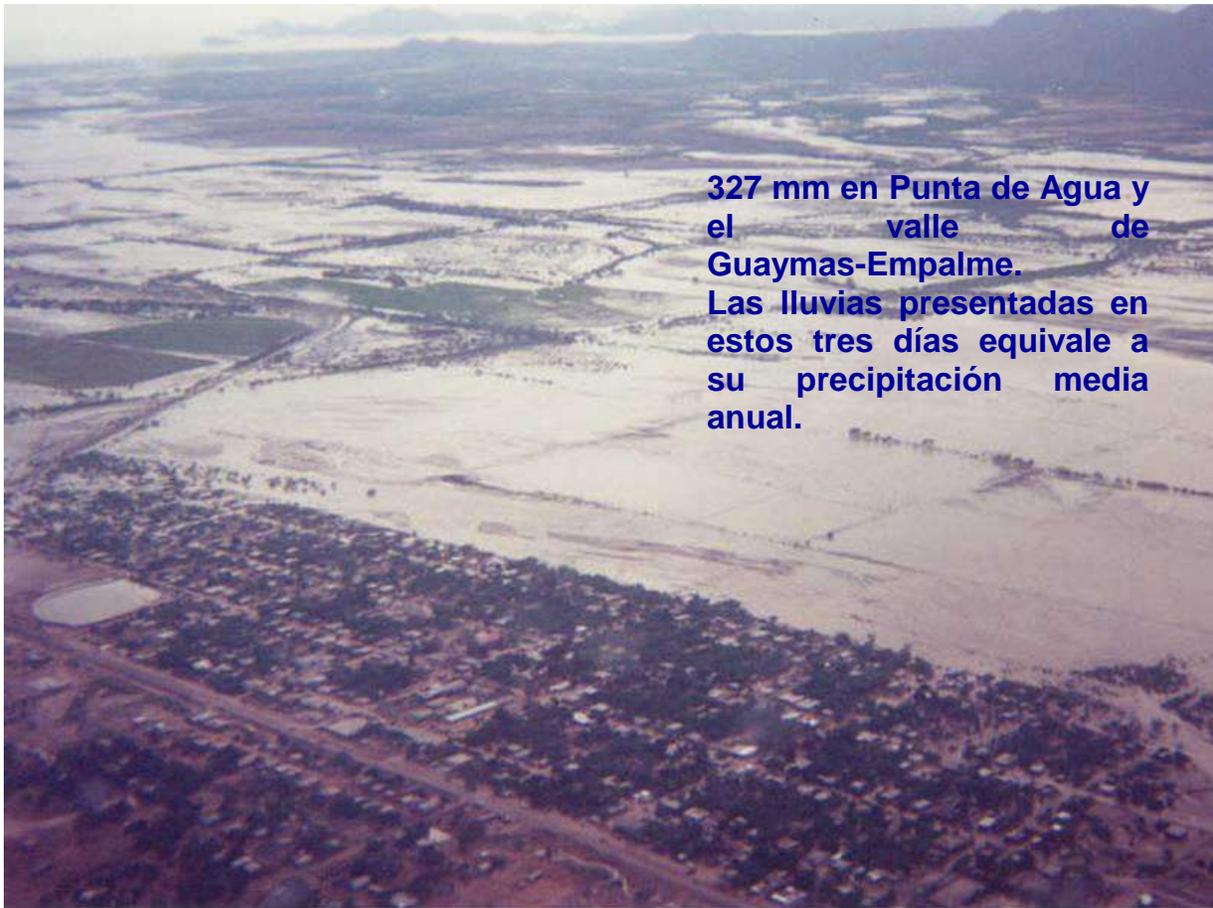
La precipitación media anual en el acuífero del Valle de Guaymas es de 320 mm, en tanto que la evaporación potencial media anual es del orden de 2,600 mm, la cual representa ocho veces más el valor de la precipitación.

El análisis climatológico se efectuó por medio de los datos disponibles de precipitación pluvial y temperatura registrados en 12 estaciones climatológicas de las cuales 5 se encuentran dentro de la zona del acuífero del Valle de Guaymas y 2 en el acuífero del Río Mátape, 1 en el acuífero de San José de Guaymas y 4 más fuera incluso de la Cuenca del Río Mátape, pero con influencia sobre ella. El período analizado fue de 24 años (1982-2005). De la disponibilidad de datos, se observa que la temporada de lluvias tiene lugar entre los meses de Junio a Octubre destacando el mes de Agosto como el más lluvioso del período. El otro período de lluvias se registra en invierno, entre los meses de Diciembre a Febrero, aunque con menor intensidad que en el período de verano. En los meses restantes la precipitación es prácticamente

nula.

La región se encuentra expuesta a la incidencia de fenómenos meteorológicos extremos como son los ciclones tropicales, las heladas, las granizadas, las inundaciones y las sequías. Es por ello que la diversidad de climas y entornos, de algunas de las zonas de la región pueden sufrir efectos de sequías prolongadas, impactos de heladas y granizadas o la presencia de inundaciones y ciclones (Figura 21). Estos fenómenos producen grandes efectos y alteraciones en el medio natural, económico y social de la región.

**Figura 21.- Ciclón Tropical “Juliette”, Empalme, Sonora**



## **II. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

### **2.1. TOPOGRAFÍA**

Se dispuso de cartografía de la zona a escala 1:50,000 y 1:250,000, de donde fue posible obtener las características fisiográficas de la cuenca mediante el programa AutoCAD, las cuales se anotan a continuación:

- Área drenada Río Mátape-Presa Ignacio L. Alatorre = **3,119.42 km<sup>2</sup>**
- Área drenada Río Mátape-Estación hidrométrica Punta de Agua II = **3,074.00 km<sup>2</sup>**
- Área drenada de Río Mátape-desembocadura Golfo de California = **6,005.64 km<sup>2</sup>**
- Pendiente media del cauce hasta la Estación hidrométrica Punta de Agua II = **0.0043 = 0.43%**
- Longitud del cauce a la Presa I. L. Alatorre = **123 km**
- Longitud del cauce a la Estación hidrométrica Punta de Agua II = **116 km**

### **2.2. FISIOGRAFIA**

#### **2.2.1. PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS**

El Valle de Guaymas se ubica en la Provincia Fisiográfica “Zona Desértica de Sonora”, (Alvarez, 1958) ó Planicie Costera Noroccidental (Robles, 1960).

Esta provincia fisiográfica forma una franja de 1,400 km de largo limitada al oriente por la Sierra Madre Occidental y al Occidente por el Golfo de California.

El área en general es baja, ya que no excede de 1000 m.s.n.m., presentando amplias superficies planas con suave pendiente hacia el mar, frente a las que destacan cerros profundamente erosionados, colinas y sierras bajas rodeados de conos aluviales muy tendidos.

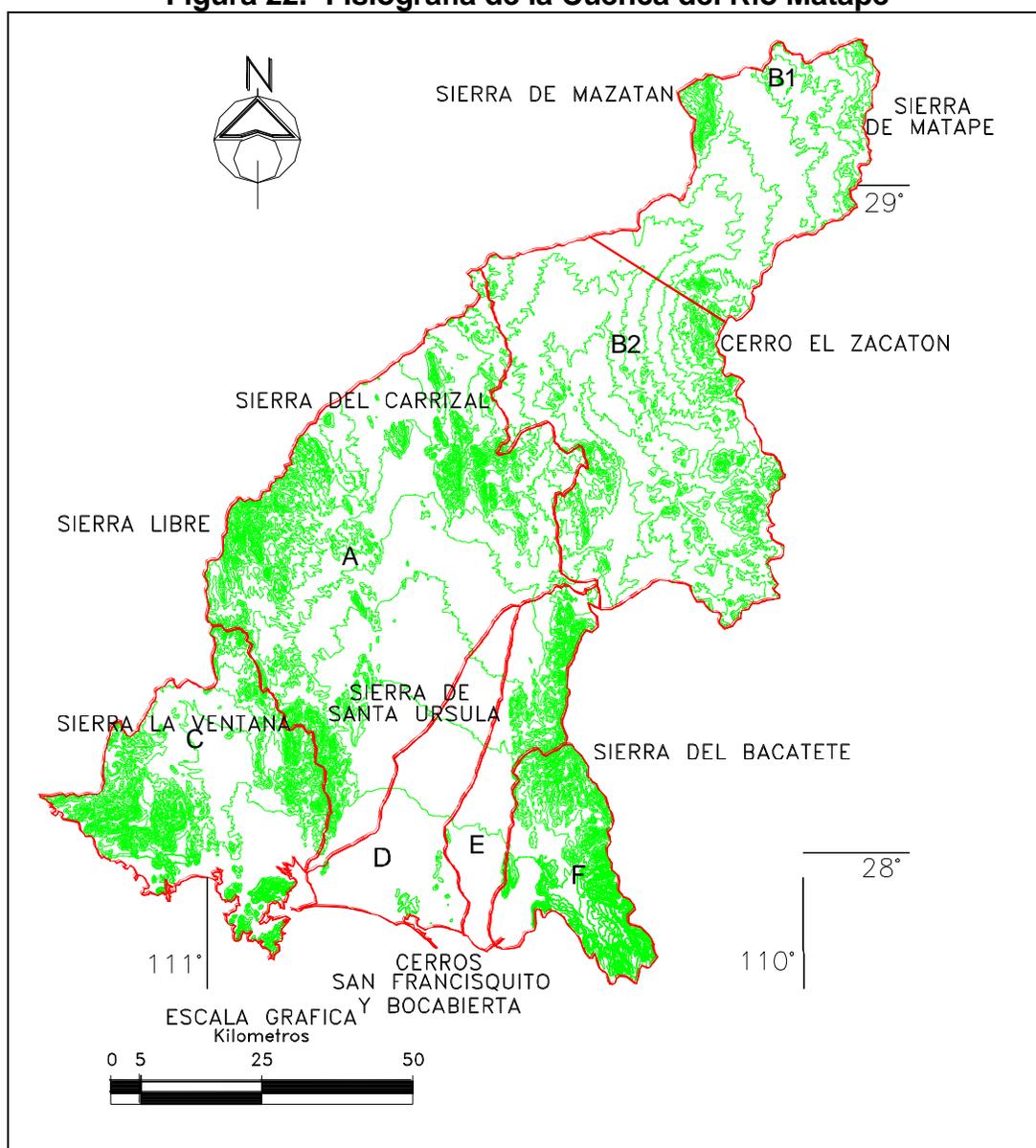
Cuando a fines del Cretácico o principios del Terciario, la tectónica de aquella época formó los bloques fallados y se levantó la Sierra Madre Occidental, una gran porción de esta provincia quedó bajo las aguas y luego emergió.

Los bloques fallados escalonados sufrieron tan intensa erosión que sus formas originales se perdieron y dejaron al descubierto rocas intrusivas antiguas. La erosión de las faldas de la Sierra Madre Occidental y las lluvias torrenciales del Pleistoceno y Reciente, han acarreado grandes volúmenes de sedimentos clásticos que han modelado diferentes rasgos morfológicos sobre una planicie costera típica. En el norte de esta provincia, predominan llanuras áridas con muy escaso drenaje, en tanto que al sur, se va pasando gradualmente a llanuras aluviales formadas por el depósito de

arrastre de la Sierra Madre que han ido levantando el terreno, haciéndolo perder pendiente transversal, por lo que todas las corrientes son divagantes en su curso inferior.

Dentro de esta provincia, el área del acuífero se extiende en una dirección sensiblemente norte-sur. Comprende la cuenca hidrográfica del Río Mátape en su parte baja, donde se localiza la Sierra de San Francisquito y que separa al Valle de Guaymas y al Valle de Cruz de Piedra (Boca Abierta). Esta cuenca se encuentra separada por las sierras de Santa Ursula y La Ventana, que sobresalen 500 m.s.n.m. De estas sierras, la primera constituye el límite oeste de la Cuenca del Río Mátape y la segunda el límite este de la Cuenca del Arroyo San José de Guaymas (Figura 22).

**Figura 22.- Fisiografía de la Cuenca del Río Mátape**



### **2.2.2. FORMAS DE RELIEVE (GEOMORFOLOGÍA)**

La Cuenca del Río Mátape, tiene su límite norte natural en la estribación oeste de la Sierra Madre Occidental. El límite oeste de la cuenca lo forma la Sierra Libre y sus prolongaciones meridionales representadas por las sierras de Santa Ursula y La Ventana (Figura 22). De éstas, sobresale el relieve de las prominencias topográficas formadas por rocas ígneas de las sierras La Ventana y Libre, las cuales alcanzan altitudes de hasta 1,000 m.s.n.m.

Hacia el oriente, el límite de la cuenca lo forman las sierras El Bacatete, Moradillas y El Carrizal (Figura 22). La primera de estas sierras está formada por rocas ígneas extrusivas terciarias, la segunda por rocas intrusivas y la última por extrusivas cretácicas.

Al sur, cercanas a la línea de costa del Golfo de California, se encuentran la Sierra San Francisquito y los cerros de Cruz de Piedra y Boca Abierta, de poca altitud formados por rocas graníticas, basálticas y tobas arenosas respectivamente.

En esta cuenca la morfología queda definida por tres rasgos sobresalientes: el primero consiste de una gran llanura aluvial formada por materiales recientes orientada en dirección norte-sur y cuya elevación promedio es de 100 m.s.n.m. Esta unidad morfológica constituye el Valle de Guaymas. El segundo rasgo morfológico sobresaliente de la cuenca, está expuesto por otra llanura de reducidas dimensiones orientada en dirección NW-SE y que forma el Valle de San José de Guaymas. La elevación máxima de esta llanura es de 100 m.s.n.m. Por último, dentro de las formas principales, se encuentran las sierras altas que forman los bordes de la cuenca y las de menor elevación en el extremo sur. La costa está representada por playas bajas, habiéndose formado esteros, cabos y bahías como los de Empalme y Yasícori, respectivamente.

El drenaje en el Valle de Guaymas está controlado por rasgos tectónicos estructurales y tiene como colector principal al Río Mátape, el cual por efectos de levantamientos del área ha perdido su capacidad de labrado hacia la porción sur del valle, donde el cauce pierde definición.

Dentro del Valle de Guaymas, existe en el lado oriental una pequeña subcuenca formada por el Arroyo Chicuroso, el cual desciende con una dirección norte-sur, siguiendo la traza de la línea de falla en el borde de la Sierra El Bacatete. Existen además otros arroyos de menor importancia como el Echo y Seco que confluyen al Río Mátape por su margen derecha a la altura del poblado de Ortiz.

### **2.2.3. GEOFÍSICA (RESEÑA HISTORICA)**

Los estudios de geofísica han constituido importantes herramientas de apoyo como método indirecto en el conocimiento del subsuelo. Entre los métodos geofísicos aplicados a la geohidrología, se tienen:

#### **A) Prospección eléctrica (Resistividad)**

El método de resistividad consiste básicamente en la inyección de corriente

eléctrica al subsuelo, a través de dos electrodos (A y B) denominados "electrodos de corriente". El campo eléctrico generado por la propagación de la corriente en el subsuelo se mide en un par de electrodos (M y N) denominados "electrodos de potencial" conectados a un voltímetro. El tipo de corriente utilizada es continua o directa. Las leyes del fenómeno considerado descansan en la teoría electromagnética, básicamente en las ecuaciones de Maxwell.

#### B) Prospección magnética (Magnetometría)

El método magnético de prospección es el más antiguo de los métodos de prospección geofísica. Consiste en la medición de las variaciones del campo geomagnético debido a cambios en una propiedad física de los materiales conocida como "susceptibilidad magnética". El fundamento físico – matemático del método descansa en la Ley de Coulomb.

#### C) Prospección gravimétrica (Gravimetría)

El método gravimétrico consiste en la medición de los valores de la gravedad terrestre con el objeto de determinar las desviaciones o "anomalías" del comportamiento normal del campo gravitacional, ocasionadas por cambios de densidad en los materiales del subsuelo. El fundamento físico-matemático del método descansa en la "Ley de la Gravitación Universal" de Newton.

Entre los estudios geohidrológicos y geofísicos realizados con anterioridad por instituciones oficiales, como la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Noroeste de la CONAGUA, sita en el edificio México, tercer piso en la ciudad de Hermosillo, Sonora, se encuentra la "Interpretación de datos y determinación del potencial actual del Acuífero en la Costa de Guaymas, Sonora", realizado por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. en el año de 1975, en el que se incluyen 85 sondeos eléctricos verticales de resistividad.

El Comité para el Desarrollo de los Recursos de las Cuencas Centro y Norte del Estado de Sonora realizó en la zona costera del Valle de Guaymas, 39 sondeos eléctricos tendientes a investigar la posición de la franja de la interfase salina.

Por otra parte, en 1969, la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos llevó a cabo 24 implantaciones resistivas y en el año de 1974, se efectuaron 24 sondeos más. Los resultados se analizaron y reinterpretaban en el estudio realizado en 1975 por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería.

#### **2.2.4. GEOLOGÍA**

Las rocas de la Cuenca del Río Mátape varían en edad del Paleozoico al Cenozoico. Las rocas más jóvenes consisten en diversos materiales aluviales, fluviales, lacustres y basálticos del período Cuaternario, Q(al), constituyen los rellenos del Valle de Guaymas. Consisten en boleos, gravas, arenas, arcilla y caliche en capas o lenticulas interdigitadas y proporcionan las características apropiadas de permeabilidad y porosidad al acuífero.

Basaltos del Terciario, T(B), se localizan en la Sierra El Bacatete y Santa Ursula, así como en la Sierra San Francisquito, que divide en dos al Valle de Guaymas, como se puede observar en la Figura 23.

La Sierra El Bacatete está constituida por rocas volcánicas del Terciario, T(R-Ta), que incluyen riolitas, andesitas y basaltos, con intercalaciones de tobas ácidas, presentando mesetas formadas por fracturación N-S.

La Sierra Libre corresponde a un conjunto de lomeríos, formados por rocas intrusivas graníticas, cubiertas parcialmente por derrames de lavas basálticas, riolitas y tobas ácidas del Terciario, T(R-Ta). Las rocas intrusivas constituyen el fondo rocoso impermeable, sobre el que se encuentran los demás paquetes de materiales, tanto aluviales como rocosos.

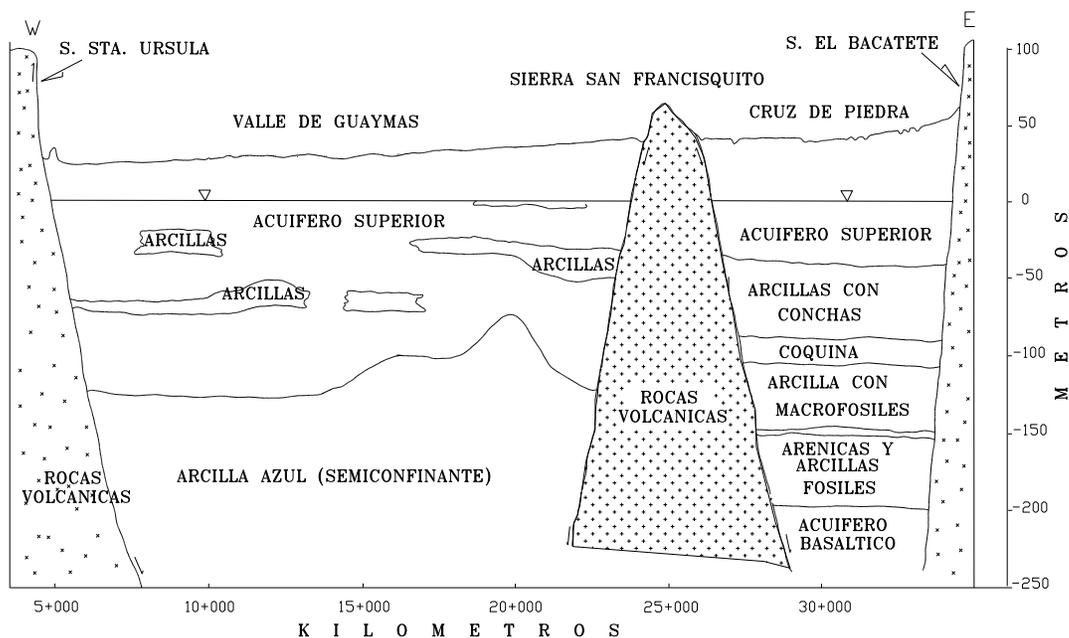
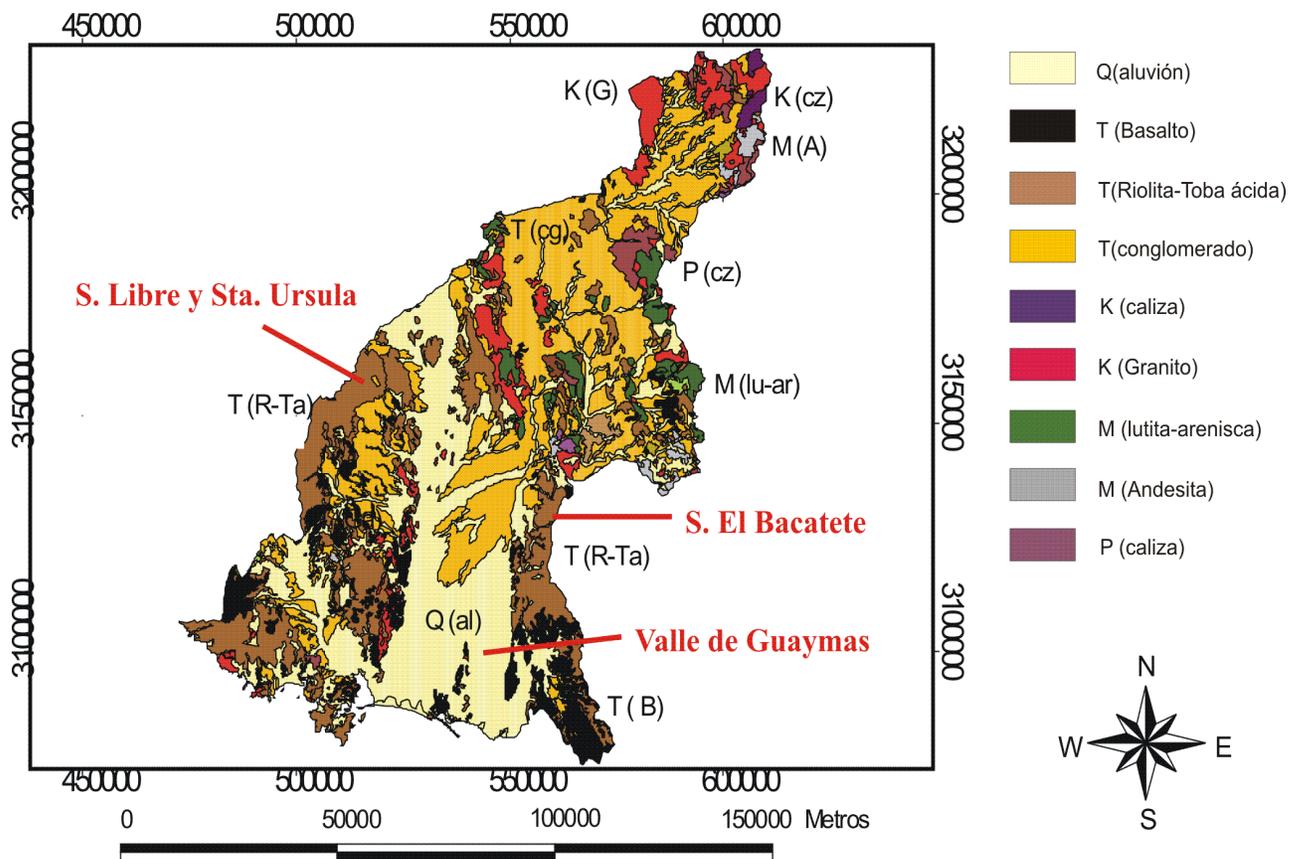
En la parte alta de la Cuenca del Río Mátape y en la mitad norte del Valle de Guaymas, se encuentra un depósito de materiales clásticos que probablemente corresponda al Conglomerado Báucarit del Terciario, T(cg). De los cortes litológicos de pozos de exploración, se sabe que esta unidad está compuesta hacia aguas arriba de arenas y gravas; en tanto que al sur de la carretera internacional, predomina un conglomerado, cuyo espesor total es de 200 m.

Las rocas sedimentarias del Mesozoico son de dos tipos: detríticas (lutita-arenisca) y químicas (calizas). Afloran en la porción central-este de la cuenca. También de la misma edad, se tienen pequeños afloramientos de andesitas, en la parte alta-este del área de estudio (Figura 23).

Una segunda unidad mesozoica, es el granito del Cretácico Superior que constituye los primeros emplazamientos plutónicos que afectaron las secuencias paleozoicas y mesozoicas. En ocasiones está cubierto por rocas volcánicas terciarias y sedimentos clásticos continentales. Forma lomeríos alargados con dirección N-S, de poca altura, también se halla en zonas planas o con poca pendiente. Aflora principalmente en la parte alta y centro de la cuenca (Figura 23).

Las rocas más antiguas del área de estudio, son calizas del Paleozoico, P(cz), las cuales escasamente afloran en la porción centro-este de la cuenca. Menicucci (1975), describe calizas cámbricas, plegadas, en capas gruesas, en el Represo La Haciendita y Las Norias; pedernales, calizas negras y calizas coralinas en el Cerro de Cobachi; calizas grises y numerosos lentes de pedernal negro en el Cerro Martínez y Cobachi. También observó rocas con numerosos restos fósiles, principalmente braquiópodos, crinoides, gasterópodos, fusulínidos y corales.

**Figuras 23.- a) Geología superficial de la Cuenca del Río Mátape. b) Corte transversal del acuífero del Valle de Guaymas.**



Por otro lado en lo que respecta al Valle de San José de Guaymas, la imagen general de la geología esta definida por sus características tectónicas, éstas han sido determinadas por esfuerzos de tensión con dirección oriente-poniente que actuaron sobre el basamento granítico y provocaron la separación de estructuras masivas a lo largo del eje norte-sur con caída de bloques intermedios. Entre las separaciones iniciales ocurrieron derrames andesíticos y basálticos (sobre granito) y posteriormente en las partes bajas, se depositaron sedimentos fluviales, marítimos y lacustre para formar los valles actuales, como el de San José de Guaymas entre las Sierras de la Perinola y la Santa Ursula; el de Guaymas entre la Santa Ursula y la San Francisquito; y el de Cruz de Piedra entre esta última y la del Bacatete.

Dentro de la Zona estudiada afloran rocas ígneas y sedimentarias, las cuales están representando los periodos del Paleozoico al Cenozoico.

Las rocas ígneas son las mas abundantes, ocupando la mayor parte de la región. Las sedimentarias se encuentran relleno las partes bajas de los valles y formando las llanuras existentes (Martinez, 2000).

### **2.2.5. GEOQUÍMICA**

Los mismos estudios geohidrológicos incluyen el análisis fisicoquímico de muestras de agua de los pozos en las zonas estudiadas. Adicionalmente, el Distrito de Riego 084, Valle de Guaymas, lleva a cabo la toma de muestras cada año a ciertos pozos representativos para obtener la información anual de la calidad y evolución del agua subterránea.

El Valle de Guaymas es una de las planicies costeras de nuestro país, donde los efectos de la sobreexplotación del agua subterránea han sido más rápidos y perjudiciales, pues la situación mencionada ha provocado una inversión del flujo subterráneo, el que originalmente descargaba al mar, provocando el avance tierra adentro de la interfase salina. Este avance ha alcanzado a los pozos cercanos a la costa, algunos de los cuales han dejado de operar por la salinidad tan elevada que tiene actualmente el agua en esas perforaciones, Por otra parte, ese problema es cada día más grave, pues la afectación va en aumento, siendo una actividad prácticamente constante la suspensión de la operación de perforaciones y su relocalización en otras áreas más alejadas de la costa.

Al oriente del valle entre la Sierra San Francisquito y la del Bacatete, los sólidos totales disueltos varían de 300 a 500 ppm, en muestras obtenidas de pozos que varían en profundidad entre 50 y más de 200 m, por lo que es difícil asociar la calidad con la profundidad del agua.

En términos generales, de la configuración de evolución de sólidos totales, resulta evidente la afectación que por intrusión salina sufre el acuífero Valle de Guaymas, la que va en aumento en una zona bien definida, que corresponde al área ubicada al sur del poblado de Maytorena. En la porción intermedia, cerca de Santa María, donde el deterioro de la calidad del agua subterránea es evidente, la causa puede ser que el bombeo en esta parte debe estar induciendo un flujo vertical de agua

con más concentración salina (Ver Anexo VII.-Tablas de calidad del agua en el Valle de Guaymas y San José de Guaymas).

En lo que respecta a la subcuenta de San José de Guaymas los valores de conductividad eléctrica varían de los 500 a los 5900 micromhos/cm encontrándose los valores mayores cerca de la costa y los menores continente adentro. La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad del agua de conducir corriente eléctrica. La conductividad se utiliza para estimar la cantidad de sales disueltas en el agua, esto nos indica que entre mas alta sea la conductividad eléctrica tendrá mayores concentraciones de sales, los valores mayores corresponden a los se encuentran mas cerca de la costa, indicándonos la precencia de la intrusión salina dentro del acuífero.

El agua de clase dulce (STD) y buena (C1) corresponde a algunos pozos ubicados cerca o a lo largo de los causes del arroyo San José (pozos El Valiente, La Escondida, Arroyo el Tigre y Aguaje Robinson. Esta agua varia de bicarbonatada-sodica a sulfatada-sódica (Martinez, 2000).

Clasificando las muestras según Wilcox se encontraron aguas cuyo peligro de salinidad o conductividad eléctrica varia de C2 (medio),C3 (alto) a C4 (muy alto) y por su relación de adsorción o peligro del sodio, de S1 (bajo) a S2 (medio). Las aguas de grupo C4-S1 y C4-S2 por su alta CE no son apropiadas para riego bajo condiciones ordinarias aunque pueden usarse en ocasiones, bajo circunstancias especiales: los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado y las plantas deberán ser muy tolerantes a las sales. Por su contenido de sodio, las del tipo S1 pueden usarse para riego en casi todos los suelos, pero las del tipo S2 serán peligrosas en suelos de textura fina o que tengan una alta capacidad de intercambio de cationes. Esta agua se encontraron al centro del valle y cerca de la línea de costa en la zona más explotada.

### **2.3. TIPOS DE ACUÍFEROS**

El estudio del agua subterránea es importante para la realización de obras de ingeniería, para la ejecución de investigaciones geológicas y muy especialmente para el desarrollo de obras de captación de dicha agua con fines de abastecimiento para satisfacer las necesidades del hombre.

Las formaciones geológicas en que se acumula el agua subterránea y que son capaces de cederla reciben el nombre de **acuíferos**. Los acuíferos sirven como **conductos de transmisión** y como **depósitos de almacenamiento**. Como conductos de transmisión transportan el agua subterránea de las áreas de recarga, hacia lagos, pantanos, manantiales, pozos y otras estructuras de captación. Como depósitos de almacenamiento, los acuíferos actúan suministrando agua de sus reservas para ser utilizada cuando la extracción exceda a la recarga y, a la vez, almacenando agua durante los períodos en que la recarga resulta mayor que la extracción.

De lo dicho anteriormente, se ve claramente que los acuíferos se caracterizan por ser permeables al agua, es decir, por permitir el paso de ésta a través de ellos; pero, junto a los acuíferos propiamente dichos, aparecen otras formaciones geológicas que reciben nombres de acuerdo con sus posibilidades de contener agua

y de permitir su circulación, tales como: los acuicludos (acuicierres), los acuitardos y los acuífugos.

Los acuicludos o acuicierres (del latín *claudere* = cerrar) son formaciones geológicas impermeables que contienen agua, pero que no la transmiten, haciendo de este modo imposible su explotación. En este caso están las arcillas, que a pesar de contener enormes cantidades de agua (en muchos casos, más del 50% de su volumen) no la drenan por gravedad ni la dejan pasar; por consiguiente, no son aptas para la construcción en ellas de captaciones de agua subterránea.

Los acuitardos (del latín *tardare* = retardar) son formaciones geológicas semipermeables que, conteniendo agua en gran cantidad, la transmiten muy lentamente, por lo que estas formaciones tampoco resultan adecuadas para emplazar captaciones en ellas; no obstante, en determinados casos, la presencia de un acuitardo puede proporcionar a un acuífero que esté en contacto con él, una recarga vertical que puede llegar a ser importante. Las arcillas limosas y arenosas son formaciones que pueden comportarse como acuitardos.

Los acuífugos (del latín *fugere* = huir) son aquellas formaciones geológicas impermeables que no contienen agua ni la pueden transmitir, tales como, los macizos rocosos no alterados.

### **2.3.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES DE ACUIFEROS**

Como es evidente, no todas las formaciones geológicas poseen las propiedades que caracterizan a un acuífero, es decir, que sus intersticios o espacios huecos, sean capaces de almacenar el agua y de servirle de conductos a la vez para transmitirla, permitiendo su aprovechamiento para satisfacer las necesidades del hombre.

Entre las propiedades geohidrológicas más importantes de rocas y suelos, se tienen la porosidad y la permeabilidad, ya que de ellas depende el caudal o gasto (volumen/tiempo) que pueden producir (Tabla 7). Se entiende por roca a un depósito consolidado (material sólido), y por sedimento o suelo a un depósito no consolidado (material suelto).

**Tabla 7.- Propiedades geohidrológicas de rocas y suelos**

<b>Tipo de roca/ suelo</b>	<b>Tipo de vacíos</b>	<b>Porosidad</b>	<b>Permeabilidad</b>	<b>Caudal máximo de manantiales [L/min]*</b>
Grava	poros	elevada	elevada	3,800
Arena	poros	elevada	elevada	1,000
Arcilla	poros	elevada	muy baja	< 4
Arenisca poco cementada	poros y fisuras	variable, generalmente elevada	generalmente elevada	hasta 800
Caliza	poros, fisuras y cavernas	muy variable	variable, generalmente elevada	1,700 frecuente; hasta 1'000,000

## ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Roca piroclástica poco cementada	poros	elevada	variable, generalmente elevada	hasta 2400
Basalto	poros, fisuras y cavernas	variable	variable	entre 1,700 y 3,800 frecuente
Riolita	poros y fisuras	variable, generalmente baja	variable, generalmente baja	entre 4 y 100 frecuente
Granito no alterado	fisuras	muy baja (casi nula)	muy baja	4 - 40 frecuente
Gneis	fisuras	muy baja (casi nula)	muy baja	< 40

FUENTE: <http://www.eccentrix.com/members/hydrogeologie/hidrogeol/05000acuifero.html>

\*Los datos para el caudal máximo de manantiales son datos aproximados que indican el rango del caudal posible. Estos datos no son aplicables a todos los casos particulares en forma generalizada, pero dan una impresión de la cantidad de agua disponible teóricamente en un terreno formado por la roca correspondiente.

Se puede decir que el concepto de acuífero es en cierto modo relativo, ya que una formación geológica que sea capaz, por ejemplo, de producir 1 L/s, no se considerará como acuífero, en un lugar donde haya otras en que sea posible captar 50 L/s o más; pero en una región árida, donde no haya otras posibilidades, a pesar del ínfimo caudal, esa formación que brinda 1 L/s, para resolver las necesidades de una pequeña población, constituye sin duda un acuífero, aunque pobre.

Los espacios huecos que presentan las rocas que componen los acuíferos, pueden ser poros como en depósitos sedimentarios granulares (grava, arena), o fracturas, fisuras y canales de disolución como en rocas (caliza, granito). Una porosidad alta puede ser una buena cualidad de un acuífero pero la alta porosidad no significa, al mismo tiempo, la posibilidad de transmitir grandes cantidades de agua (ejemplo las arcillas, que son muy porosas pero poco permeables a la vez).

Las formaciones geológicas que constituyen acuíferos pueden incluirse en uno de estos dos grupos:

1. Acuíferos formados por depósitos no consolidados (sedimentos)
2. Acuíferos formados por depósitos consolidados (rocas)

Los acuíferos formados por **depósitos no consolidados**, están constituidos por materiales sueltos, fundamentalmente, arenas, gravas o mezclas de ambas de origen geológico muy diverso. Según Todd (1959) el 90% de los acuíferos en explotación en el mundo, caen bajo esta categoría.

Los acuíferos formados por **depósitos consolidados** pueden presentarse en:

1. Calizas y dolomías (fisuradas, fracturadas y carstificadas)
2. Conglomerados o areniscas (disueltas y con algunas partes cementadas)
3. Rocas volcánicas alteradas (escoriáceas)
4. Algunas rocas cristalinas (granitos fracturados)

### 2.3.2. ACUIFEROS POR SU CAPA SUPERIOR

De acuerdo con su capa o estrato superior y con el grado de confinamiento de las aguas, los acuíferos pueden clasificarse en cuatro tipos (Tabla 8):

1. Acuíferos libres (freáticos, no confinados)
2. Acuíferos confinados (cautivos, artesianos)
3. Acuíferos semiconfinados
4. Acuíferos semilibres

Los acuíferos libres son aquéllos en que el agua subterránea presenta una superficie libre, sujeta a la presión atmosférica, como límite superior de la zona de saturación. Esta superficie libre se conoce como “nivel freático”. Estos acuíferos están formados en general por un estrato permeable parcialmente saturado de agua, que yace sobre otro estrato impermeable o relativamente impermeable. En la mayoría de los casos existe solamente un nivel freático, pero en algunos casos, a causa de la presencia de acuicierres o acuitardos de pequeñas dimensiones relativas, pueden existir acuíferos que se denominan acuíferos colgados con niveles freáticos adicionales.

Los acuíferos confinados son formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos impermeables o prácticamente impermeables (una inferior y otra superior).

Los acuíferos semiconfinados están completamente saturados, sometidos a presión, limitados en su parte superior por una capa semipermeable y en su parte inferior por una capa impermeable o basamento del acuífero.

Los acuíferos semilibres, tienen una capa menos permeable que la parte principal del acuífero, en la que hay que considerar la componente horizontal de flujo (Tabla 8).

**Tabla 8.- Caracterización de los acuíferos**

Tipo de acuífero	Capa superior
Confinado	Impermeable (acuicierre)
Semiconfinado	Semipermeable (acuitardo), en la que puede ignorarse la componente horizontal del flujo
Semilibre	Semipermeable (acuitardo), menos permeable que la parte principal del acuífero, en la que hay que tomar en cuenta la componente horizontal del flujo
Libre	Igual que la parte principal del acuífero

FUENTE:

<http://www.eccentrix.com/members/hydrogeologie/hidrogeol/05000acuifero.html>

### **2.3.3. ACUIFEROS EN EL AREA DE ESTUDIO**

De acuerdo a las clasificaciones anteriores, los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape, están formados de **depósitos no consolidados**, que contienen capas de grava y arena (porosidad y permeabilidad elevadas), intercaladas con lentes de arcilla (buena porosidad, pero de baja a nula permeabilidad). En la porción costera, se tienen estratos de basaltos (porosidad y permeabilidad variables). El basamento de los acuíferos está formado por un batolito granítico, con porosidad y permeabilidad nulas.

En la parte alta de la Cuenca del Río Mátape, el acuífero es de **tipo libre**. En el Valle de Guaymas se tienen 2 acuíferos: uno superior de tipo libre y uno inferior de **tipo confinado**. El acuífero del Valle de San José de Guaymas, es de **tipo libre** (TMI, 1975).

### III. ANALISIS HIDRAULICO DE LA CUENCA

En los planos cartográficos se ubicó enteramente el río, su cauce, su origen y desembocadura al mar. De esta forma, se concibió conceptualmente la zona donde se recabaría información en los principales sistemas de bases de datos hidrométricos y climatológicos.

#### 3.1. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS

El Servicio Meteorológico Nacional tiene entre sus funciones principales la obtención, análisis y procesamiento de los datos que registran las condiciones atmosféricas existentes en el país con el fin de elaborar con ellos pronósticos y otros productos de tipo climatológico e hidrometeorológico, mismos que son difundidos a la población en general y a los diferentes sectores de la sociedad. Para ello, se tienen en operación redes de observación y sistemas especiales de telecomunicación que permiten el acopio de datos a nivel nacional, los cuales apoyan la predicción de las condiciones meteorológicas que imperan en el país. En Sonora el Servicio cuenta con 1 radar meteorológico y 6 observatorios meteorológicos en las ciudades de Puerto Peñasco, Altar, Nacozari, Hermosillo, Empalme y Obregón.

La lluvia se mide por la altura que alcanzaría sobre una ideal superficie plana y horizontal antes de sufrir pérdidas (evaporación, infiltración, etc.).

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria de la recarga del acuífero y principal provisor de agua para los escurrimientos superficiales cuando la misma es de tal intensidad y duración que rebasa la capacidad de infiltración y saturación del suelo. Sus mediciones forman el punto de partida de la totalidad de los estudios relativos a la cuantificación, uso y control del agua.

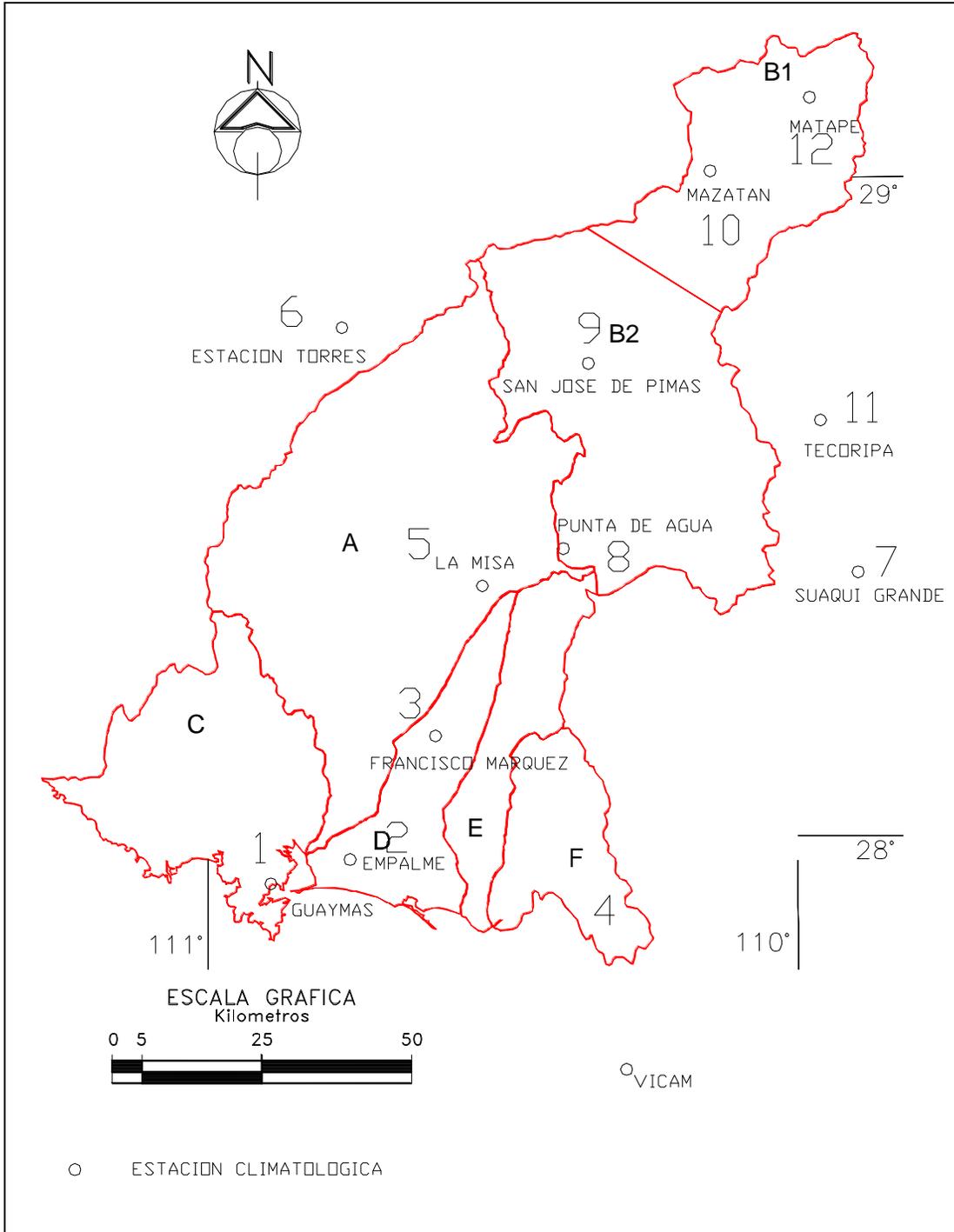
Para el análisis hidrológico en la Cuenca del Río Mátape, se utilizó una estación hidrométrica y doce estaciones climatológicas (Tabla 9, Figura 24).

**Tabla 9.- Estaciones climatológicas con influencia en la Cuenca del Río Mátape**

No.	ESTACIÓN	CUENCA	MUNICIPIO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (m.s.n.m.)
1	Guaymas	Río Mátape	Guaymas	110g53m30s	27g55m36s	50
2	Empalme (Observatorio)	Río Mátape	Empalme	110g45m27s	27g57m47s	7
3	Fco. Márquez	Río Mátape	Guaymas	110g36m42s	28g09m00s	83
4	Vícam	Río Yaqui	Guaymas	110g17m23s	27g38m37s	17
5	La Misa		Guaymas	110g31m51s	28g22m37s	145
6	Estación Torres	Costa Hillo.	La Colorada	110g46m10s	28g46m07s	260
7	Suaqui Grande	Río Yaqui	Suaqui Grande	109g53m25s	28g23m41s	235
8	Punta de Agua	Río Mátape	Guaymas	110g23m34s	28g25m59s	250
9	San José Pimas	Río Mátape	La Colorada	110g20m54s	28g42m48s	340
10	Mazatán (Oficina)	Río Mátape	Mazatán	110g08m16s	29g00m13s	540
11	Tecoripa	Río Yaqui	La Colorada	109g57m09s	28g37m30s	410
12	Mátape	Río Mátape	Villa Pesqueira	109g57m58s	29g06m50s	745

Para el análisis de la zona de estudio, ésta se subdividió en 7 subcuencas cuyas áreas y nombres se muestran en la Tabla 5 y en la Figura 24.

**Figura 24.- Estaciones climatológicas y subcuencas del Río Mátape**



La información disponible para la cuenca en estudio la conforma básicamente la cartografía elaborada por el INEGI y los registros de estaciones climatológicas e hidrométricas de la Comisión Nacional del Agua.

Con relación a la cartografía, se dispuso de las cartas topográficas escala 1:250,000 de donde se obtuvieron las características fisiográficas de la cuenca en estudio, de igual forma se usaron las cartas hidrológicas escala 1:250,000.

La delimitación de las subcuencas, así como la localización de las estaciones climatológicas e hidrométricas se digitalizaron con AutoCAD sobre las cartas topográficas, escala 1:250,000 (Figura 24).

### **3.1.1. RESTITUCION DE DATOS FALTANTES**

Para completar los datos en las estaciones climatológicas se utilizó el Método de la Relación Normalizada. La precipitación se puede calcular a partir de los valores observados en 3 estaciones cercanas, situadas uniformemente alrededor de la estación dependiente y que contengan los registros faltantes. Si la precipitación media anual o mensual de cada una de las estaciones auxiliares está dentro de un 10% de la registrada en la estación dependiente, se debe emplear el promedio aritmético de las 3 estaciones para estimar el dato faltante. Si la precipitación media anual o mensual de cualquiera de las estaciones auxiliares difiere en más del 10% de la medida en la estación dependiente, el dato faltante se determina con la ecuación siguiente:

$$h_{p_x} = \frac{1}{n} \left[ \frac{p_x}{p_1} h_{p_1} + \frac{p_x}{p_2} h_{p_2} + \dots + \frac{p_x}{p_n} h_{p_n} \right]$$

Donde:

$h_{p_x}$  = altura de precipitación faltante en la estación en estudio

$n$  = número de estaciones auxiliares

$p_x$  = precipitación media anual en la estación en estudio

$p_i$  = precipitación media anual en la estación auxiliar (  $i$  )

$h_{p_i}$  = altura de precipitación registrada el mes en cuestión en la estación auxiliar (  $i$  )

De este modo, se completaron y analizaron los datos de las estaciones climatológicas para el análisis. Asimismo, para que los estudios realizados con los datos sean lo más apegado a las condiciones reales, se uniformizaron los datos a un período común en ellos, que resultó del año 1982 al año 2005 para la lluvia media.

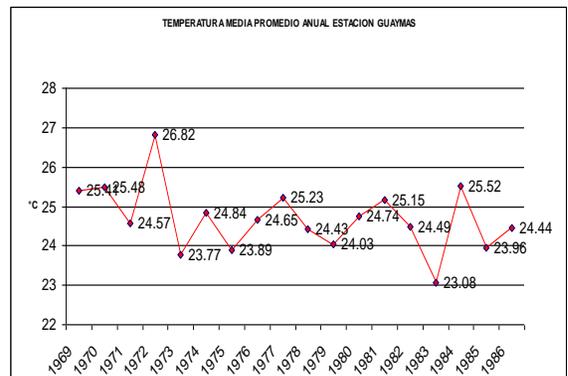
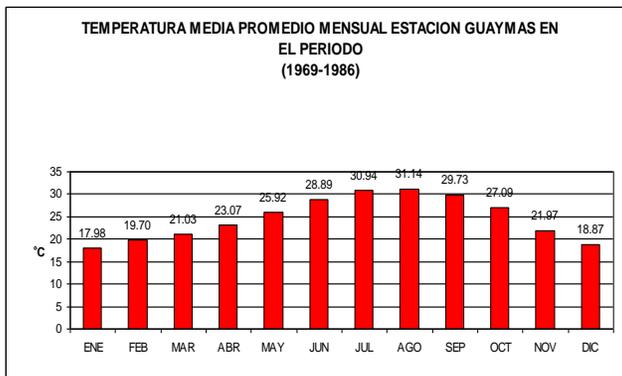
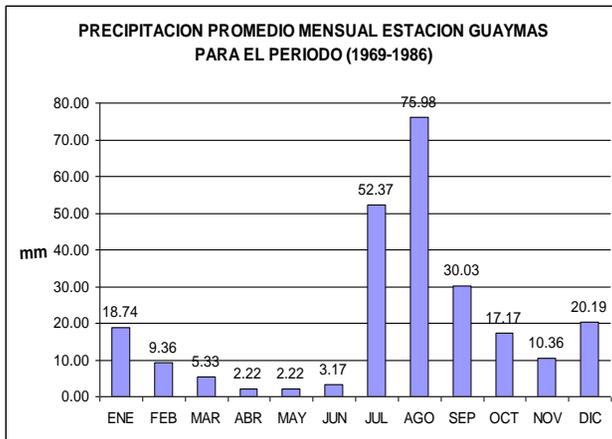
### 1.- ANALISIS DE LA ESTACION “GUAYMAS”

Esta estación se encuentra en la parte baja de la Cuenca del Río Mátape, sobre la costa del Golfo de California; se consideró un registro de 18 años continuos, correspondiente al período de 1969 a 1986, que aunque no coincide con el rango seleccionado para este estudio (1982-2005), se considera que no afecta por ser una precipitación constantemente baja. La estación está ubicada en el Municipio de Guaymas, sobre el área de influencia del acuífero San José de Guaymas, a una altitud de 50 m.s.n.m.

La mayor precipitación promedio mensual ocurrió en el mes de Agosto con 75.98 mm y las mínimas, casi nulas, corresponden a Abril, Mayo y Junio. En esta estación en el período analizado, se presenta una precipitación media anual de 247.13 mm, la cual es la menor de todas las estaciones en estudio. Contrariamente, en ella se tiene la mayor temperatura promedio anual de las estaciones en estudio, siendo la máxima media anual de 24.69 °C.

La máxima precipitación total anual fue en el año de 1984 y llovieron 516.10 mm, habiendo una temperatura media ese año de 25.52 °C (Figuras 25, 26, 27 y 28).

**Figuras 25, 26, 27 y 28.- Precipitación y temperatura de la Estación Guaymas**



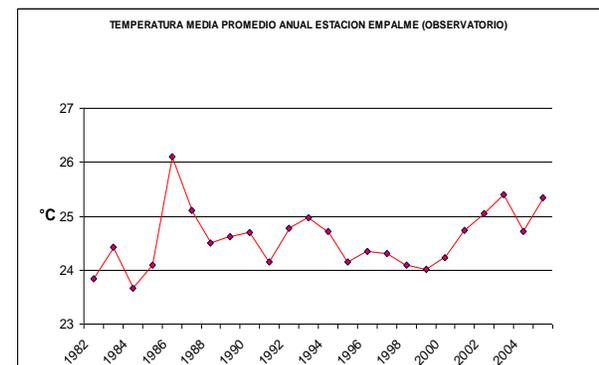
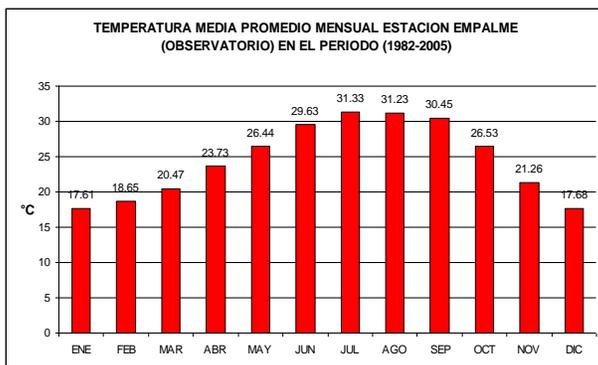
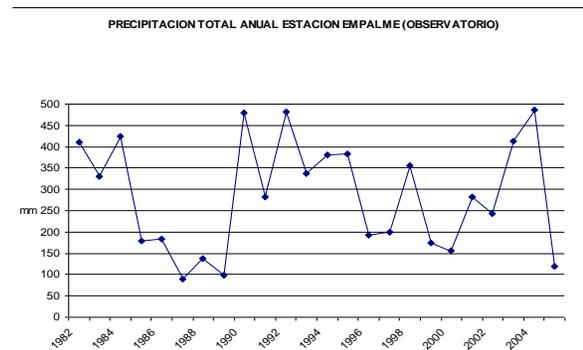
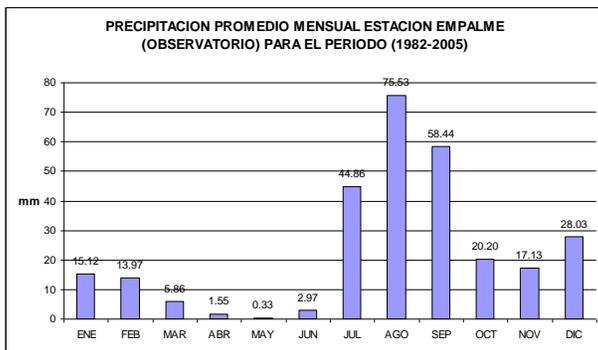
## 2.- ANALISIS DE LA ESTACION “EMPALME (OBSERVATORIO)”

Al sur de la Cuenca del Río Mátape, también se localiza la Estación Empalme, en la costa del Golfo de California. Se trabajó con un registro de 24 años (1982-2005). Se localiza en el Municipio de Empalme, sobre el área de influencia del acuífero Valle de Guaymas, a una altitud de 7 m.s.n.m.

En esta estación se presenta una precipitación media anual de 283.98 mm. La mayor precipitación promedio mensual ocurre en el mes de Agosto con 75.53 mm y las mínimas, casi nulas corresponden a Abril, Mayo y Junio. La máxima precipitación total anual se presentó en el año 2004 con un total de lluvias de 486.80 mm, teniendo una temperatura media para ese año de 24.72 °C

Promediando las temperaturas medias mensuales de los años considerados, se observa que la máxima fue de 31.33 °C en el mes de Julio, la cual está muy por encima de la media aritmética de 24.59 °C (Figuras 29, 30, 31 y 32).

**Figuras 29, 30, 31 y 32.- Precipitación y temperatura de la Estación “Empalme (Observatorio)”**



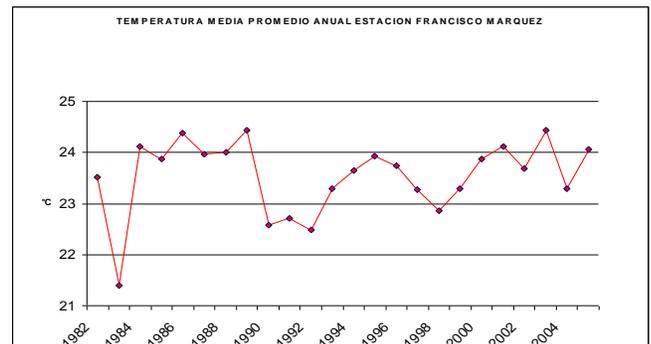
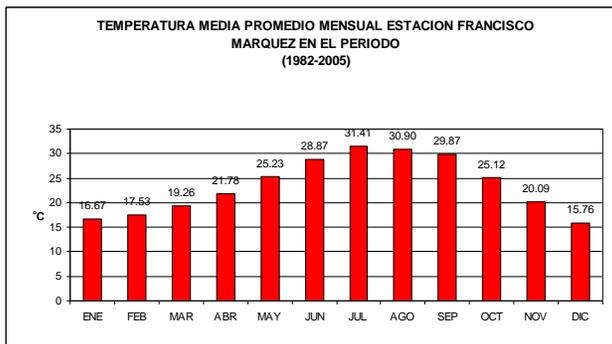
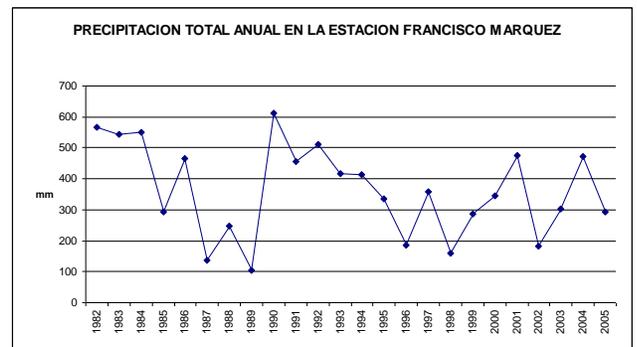
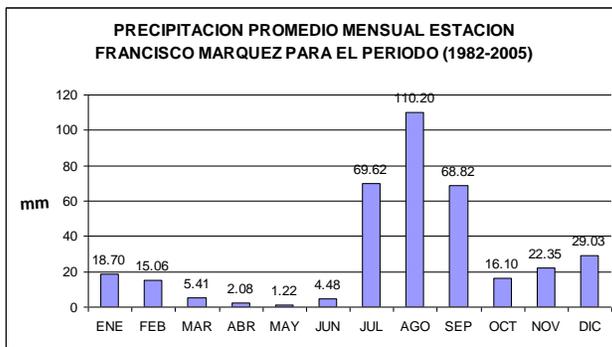
### 3.- ANALISIS DE LA ESTACION “FRANCISCO MÁRQUEZ”

La estación de la Cuenca del Río Mátape, se localiza a 30 km al noreste de Empalme. Se trabajó con un registro de 24 años (1982-2005). Se localiza en el Municipio de Guaymas, sobre el área de influencia del acuífero Valle de Guaymas, a una altitud de 83 m.s.n.m.

En esta estación se presenta una precipitación media anual de 363.06 mm. La mayor lluvia promedio mensual ocurrió en el mes de Agosto y fueron 110.20 mm; las mínimas corresponden a Abril, Mayo y Junio, donde son casi nulas. La máxima precipitación total anual se presentó en el año de 1990 con 611.50 mm, teniendo una temperatura media ese año de 22.58 °C, que está por debajo de la media calculada.

Con los datos analizados, se calculó una temperatura media anual de 23.54 °C. La máxima temperatura promedio mensual fue de 31.41°C en el mes de Julio (Figuras 33, 34, 35 y 36).

**Figuras 33, 34, 35 y 36.- Precipitación y temperatura de la Estación Francisco Márquez**



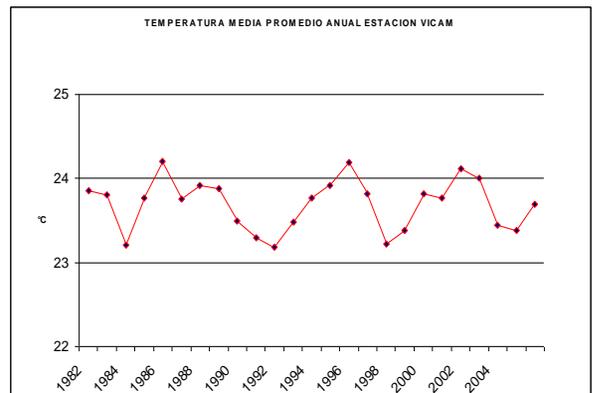
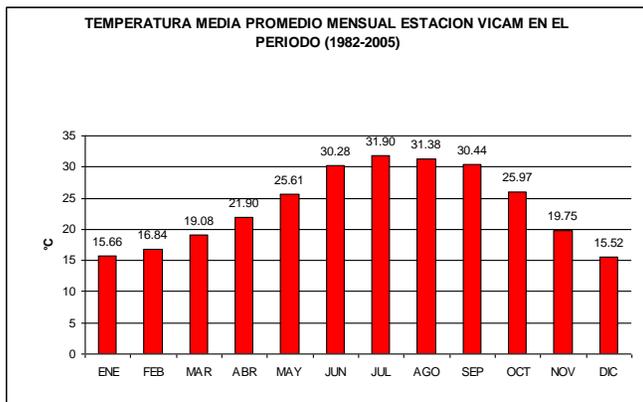
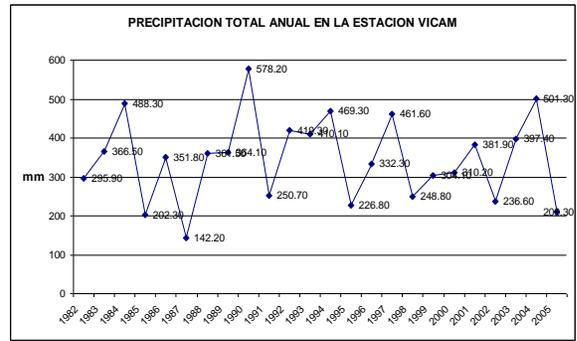
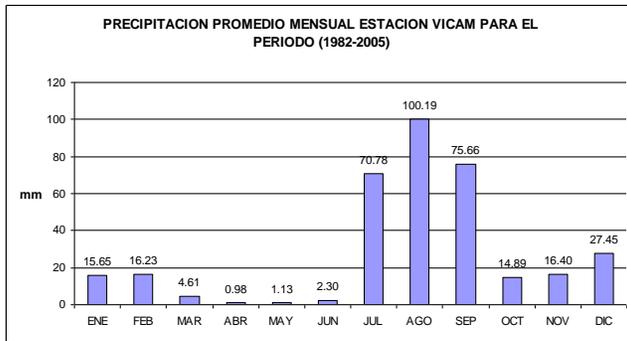
#### 4.- ANALISIS DE LA ESTACION “VÍCAM”

Esta estación se encuentra en la Cuenca del Río Yaqui, a 25 km al sur del límite sureste de la Cuenca del Río Mátape. Se consideró un registro de 24 años (1982-2005). Se localiza en el Municipio de Guaymas, sobre el área de influencia del acuífero del Valle del Yaqui, a una altitud de 17 m.s.n.m.

Para esta estación se calculó una precipitación media anual de 346.27 mm. La mayor precipitación promedio mensual ocurrió en el mes de Agosto y fue de 100.19 mm; las mínimas, casi nulas, se registraron en Abril, Mayo y Junio. En 1990, ocurrió la máxima precipitación total anual y fue de 578.20 mm, habiendo una temperatura media ese año de 23.50 °C, que está por debajo de la media calculada.

La temperatura media anual calculada fue de 23.69 °C (Figuras 37, 38, 39 y 40).

**Figuras 37, 38, 39 y 40.- Precipitación y temperatura de la Estación Vícam**



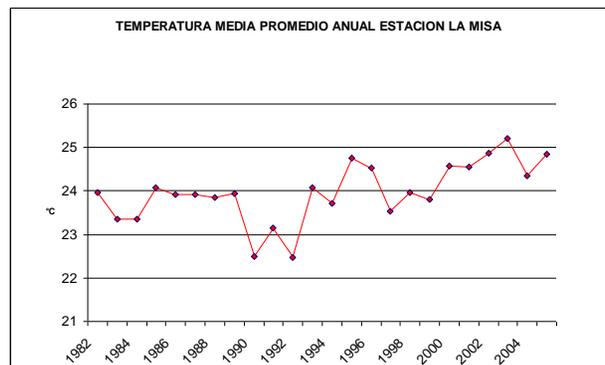
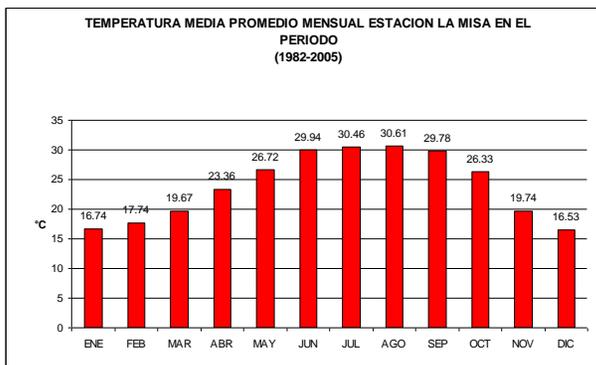
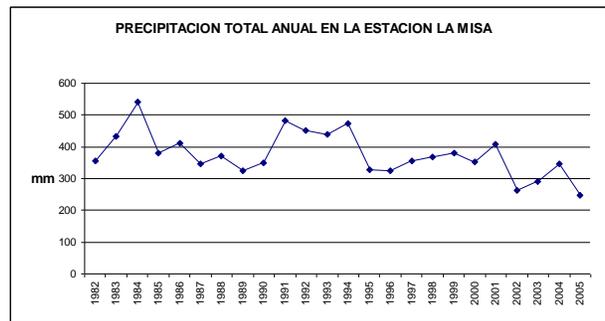
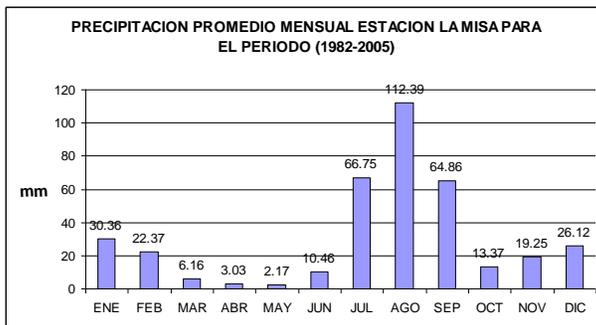
### 5.- ANALISIS DE LA ESTACION “LA MISA”

Esta estación se encuentra en la porción central de la Cuenca del Río Mátape, a 30 km al noroeste de la Estación Francisco Márquez, en el Municipio de Guaymas, sobre el área de influencia del acuífero del mismo nombre; tiene una altitud de 145 m.s.n.m.

Se tomó en cuenta un registro de 24 años, de 1982 a 2005. La precipitación media anual calculada fue de 377.29 mm. La mayor precipitación promedio mensual ocurrió en Agosto y fue de 112.39 mm, las mínimas corresponden a Marzo, Abril y Mayo. La máxima precipitación total anual se presentó en 1984 y fue de 541.60 mm, habiendo una temperatura media ese año de 23.34 °C que está por debajo de la media.

La temperatura media anual calculada fue de 23.97 °C (Figuras 41, 42, 43 y 44).

**Figuras 41, 42, 43 y 44.- Precipitación y temperatura de la Estación La Misa**

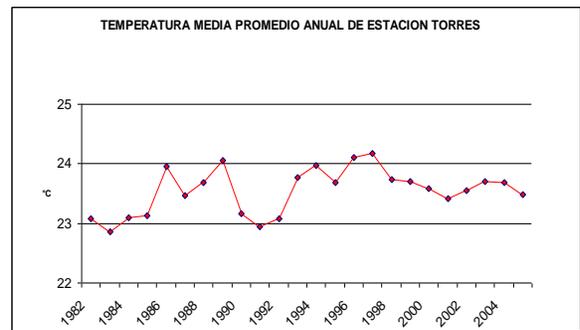
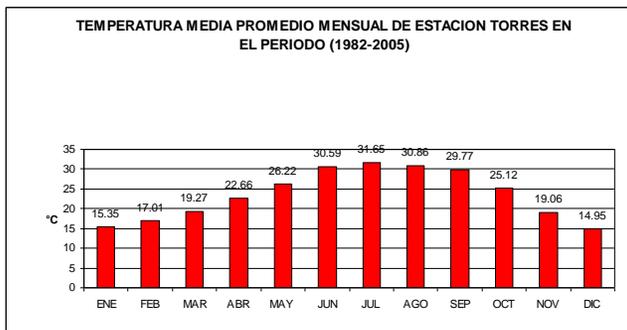
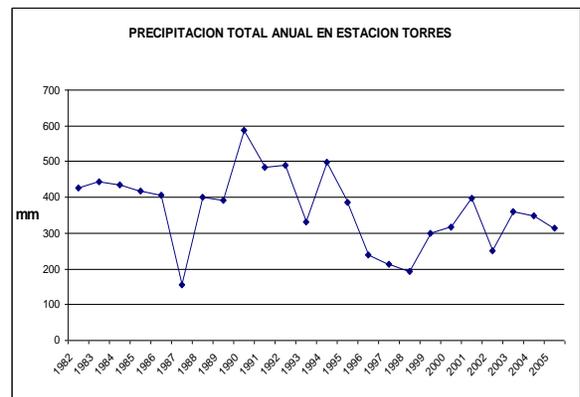
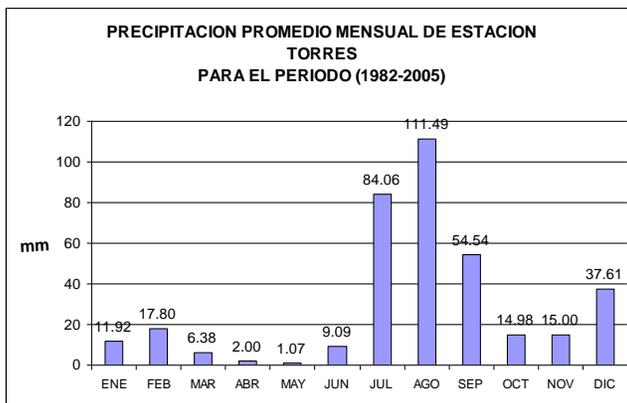


## 6.- ANALISIS DE LA “ESTACION TORRES”

Esta estación se encuentra en la Cuenca del Río Sonora, al este de la Costa de Hermosillo, 15 km al oeste del límite occidental de la Cuenca del Río Mátape. Se trabajó con un registro de 24 años, correspondiente al período de 1982 a 2005. La estación se halla ubicada en el Municipio de La Colorada, sobre el área de influencia del acuífero La Poza, a una altitud de 260 m.s.n.m.

En la estación se ha registrado una precipitación media anual de 365.94 mm. En el mes de Agosto se tuvo la mayor precipitación promedio mensual y fue de 111.49 mm; las lluvias mínimas, que fueron casi nulas, corresponden a los meses de Abril y Mayo. La máxima precipitación total anual se presentó en el año de 1990 con 587.00 mm, teniendo una temperatura media para ese año de 23.16 °C, por debajo de la media calculada de 23.54 °C (Figuras 45, 46, 47 y 48).

**Figuras 45, 46, 47 y 48.- Precipitación y temperatura de la “Estación Torres”**



## 7.- ANALISIS DE LA ESTACION “SUAQUI GRANDE”

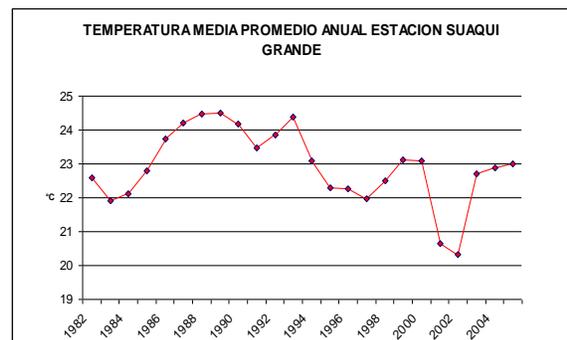
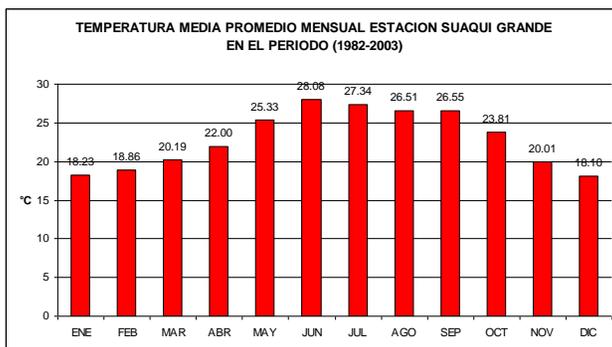
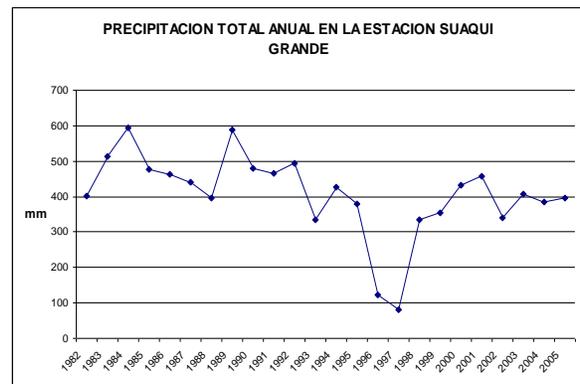
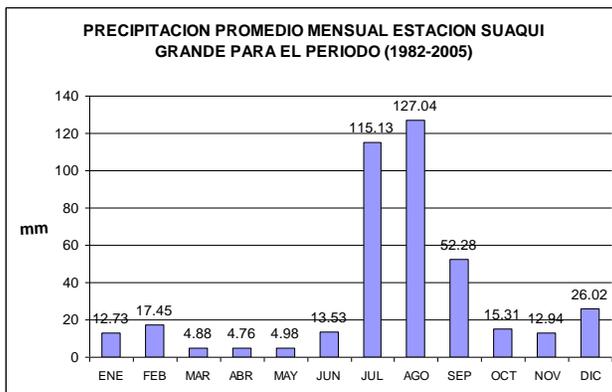
Esta estación se encuentra en la porción occidental de la Cuenca del Río Yaqui, 15 km al este del límite oriental de la Cuenca del Río Mátape. Para el presente trabajo, se utilizó un registro de datos correspondientes a 24 años, es decir, el período de 1982 a 2005.

La estación se ubica en el Municipio de Suaqui Grande, sobre el área de influencia del acuífero de Tecoripa, a una altitud de 235 m.s.n.m.

En esta estación se presenta una precipitación media anual de 407.04 mm. La mayor precipitación promedio mensual ocurrió en el mes de Agosto con 127.04 mm y las lluvias mínimas corresponden a Marzo, Abril y Mayo, con casi 5 mm.

En las figuras anexas (Figuras 49, 50, 51 y 52) se puede ver que la máxima precipitación total anual se presentó en el año de 1984 y fue de 593.20 mm, teniendo una temperatura media para ese año de 22.11 °C, que está por debajo de la media aritmética calculada de 22.92 °C.

**Figuras 49, 50, 51 y 52.- Precipitación y temperatura de la Estación Suaqui Grande**



### 8.- ANALISIS DE LA ESTACION “PUNTA DE AGUA”

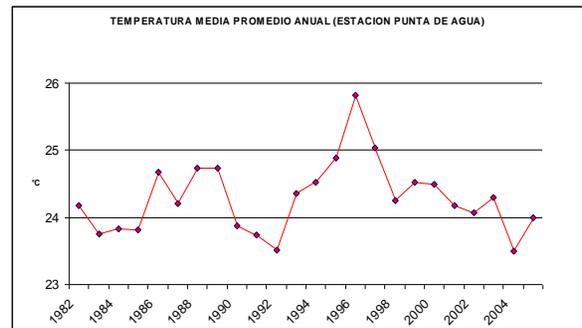
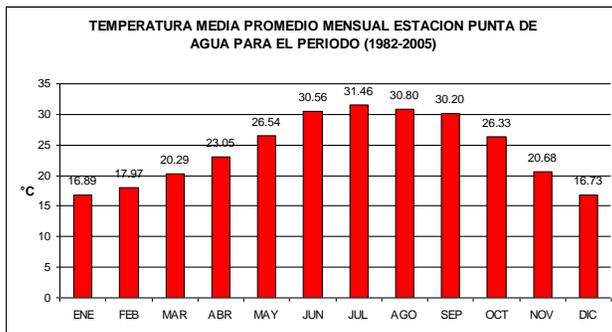
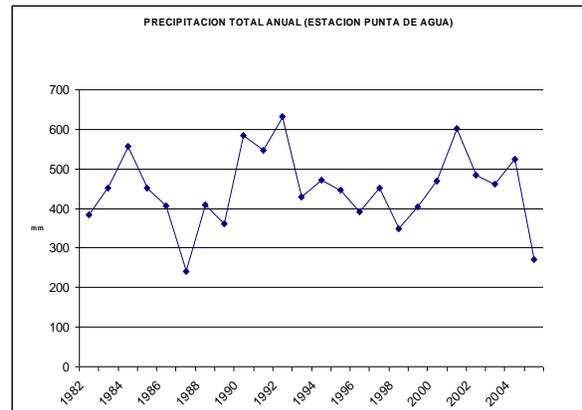
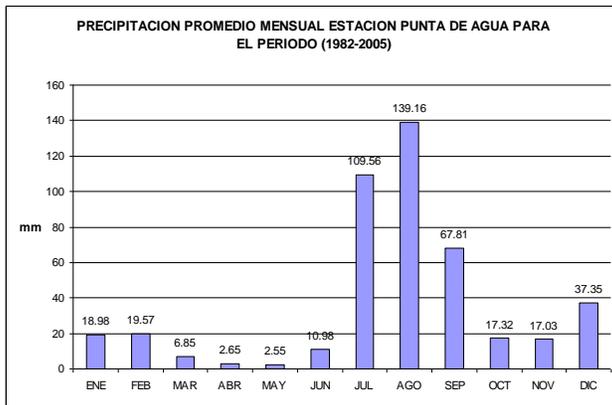
Esta estación se encuentra en la Cuenca del Río Mátape (al centro), 20 km al noroeste de la Estación La Misa; se trabajó con un registro de 24 años, período 1982-2005.

Dicha estación está ubicada en el Municipio de Guaymas, sobre el área de influencia del acuífero del Valle de Guaymas, a una altitud de 250 m.s.n.m.

En esta estación se presenta una precipitación media anual de 449.82 mm. La mayor precipitación promedio mensual ocurre en el mes de Agosto con 139.16 mm y las mínimas, casi nulas, corresponden a Abril y Mayo. La máxima precipitación total anual se presentó en el año de 1992 con 631.90 mm, teniendo una temperatura media para ese año de 23.51 °C, que está ligeramente abajo respecto de la media anual.

La temperatura media anual calculada fue de 23.81 °C (Figuras 53, 54, 55 y 56).

**Figuras 53, 54, 55 y 56.- Precipitación y temperatura de la Estación Punta de Agua**



### 9.- ANALISIS DE LA ESTACION “SAN JOSÉ DE PIMAS”

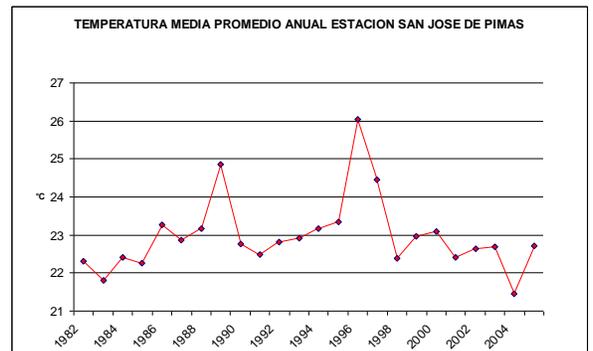
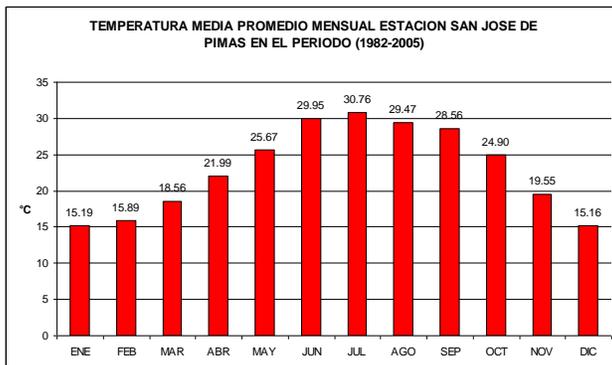
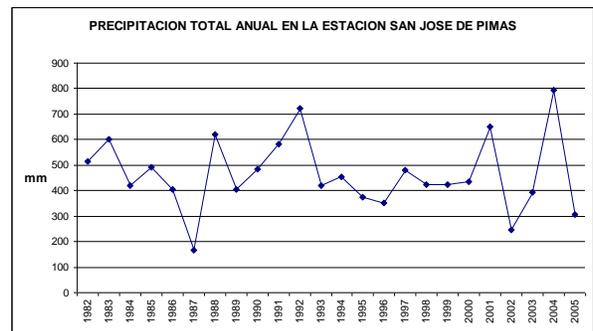
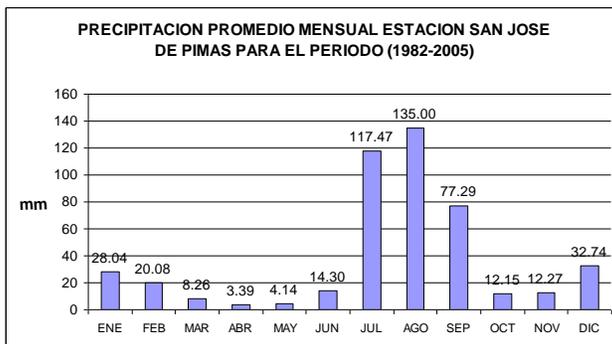
Al centro-norte de la Cuenca del Río Mátape se ubica la estación San José de Pimas, a 32 km al norte de la Estación Punta de Agua. Para la presente tesis, se utilizaron 24 años de datos, de 1982 a 2005.

La estación pertenece al Municipio de La Colorada, sobre el área de influencia del acuífero del Valle de Guaymas, y tiene una altitud de 340 m.s.n.m.

El promedio aritmético de las lluvias medias anuales de 1982 a 2005 fue de 465.12 mm. La mayor precipitación promedio mensual obtenida en el mismo período, fue de 135.00 mm, correspondiente al mes de Agosto; las menores se presentaron en Abril y Mayo. La mayor precipitación total anual se presentó en el año de 2004 con 794.90 mm, teniendo una temperatura media ese año de 21.44 °C.

Asimismo, se calculó la temperatura media anual, que resultó de 22.97 °C (Figuras 57, 58, 59 y 60).

**Figuras 57, 58, 59 y 60.- Precipitación y temperatura de la Estación San José de Pimas**



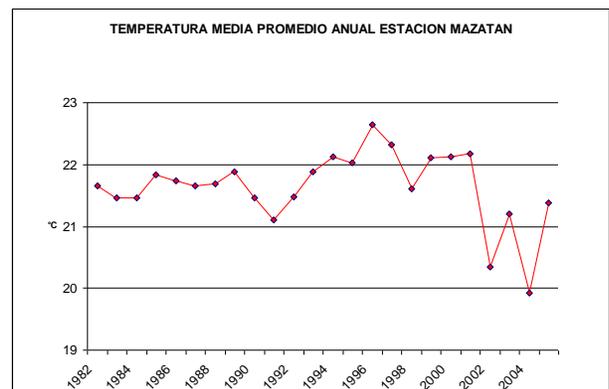
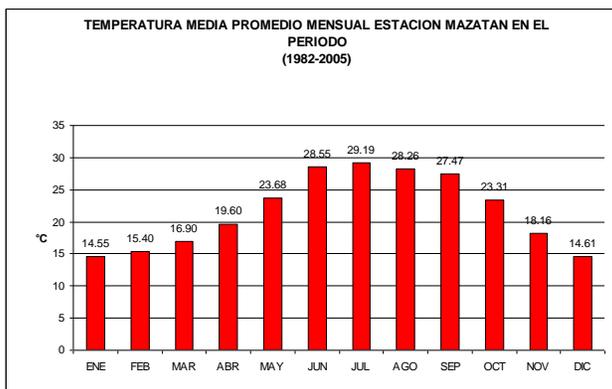
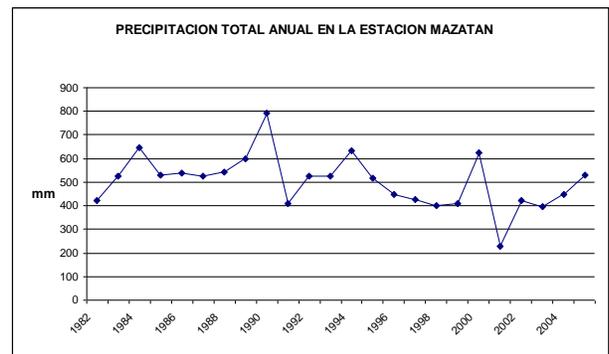
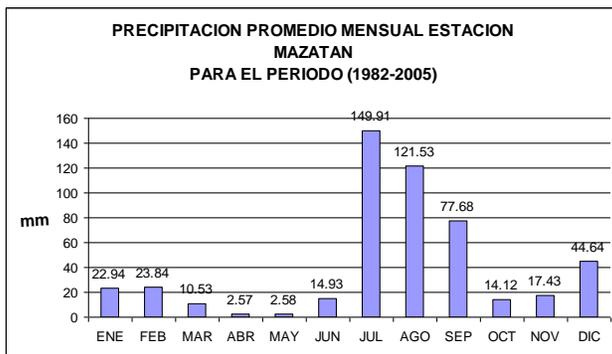
### 10.- ANALISIS DE LA ESTACION “MAZATÁN”

Esta estación se encuentra en la Cuenca del Río Mátape (al norte), 37 km al noreste de San Jose de Pimas; se trabajó con un registro de 24 años, período de 1982-2005. Está ubicada en el Municipio de Mazatán, sobre el área de influencia del acuífero Mátape, a una altitud de 540 m.s.n.m.

En esta estación se presenta una precipitación media anual de 502.70 mm, la cual está muy por encima de la media. La mayor precipitación promedio mensual ocurre en el mes de Julio con 149.91 mm y las mínimas corresponden a Abril y Mayo, donde son casi nulas. La máxima precipitación total anual se presentó en el año de 1990 con 791.50 mm, teniendo una temperatura media para ese año de 21.47 °C, que está por debajo de la media.

Del mismo modo se presenta una temperatura media anual de 21.64 °C, la cual representa la menor temperatura de toda la cuenca, junto con la Estación Mátape (Figuras 61, 62, 63 y 64).

**Figuras 61, 62, 63 y 64.- Precipitación y temperatura de la Estación Mazatán**



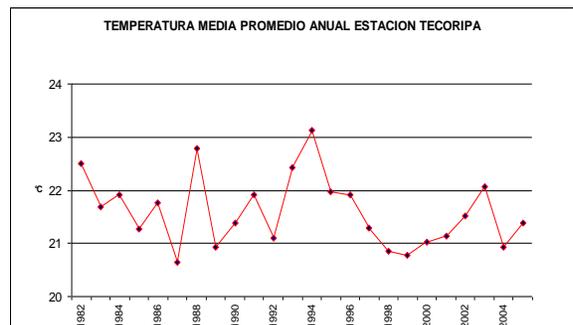
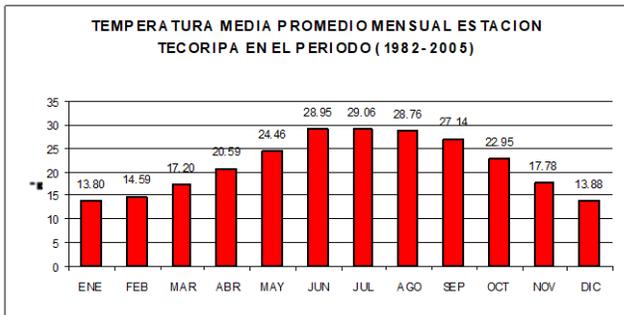
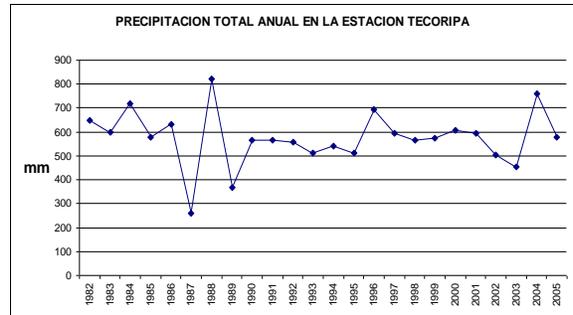
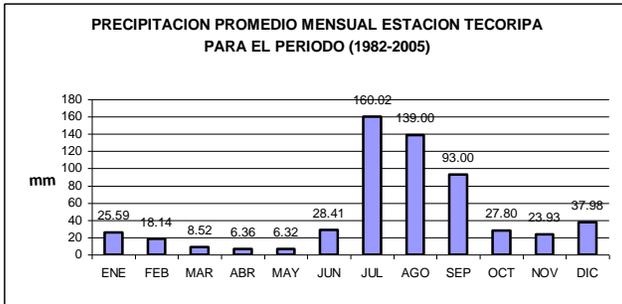
### 11.- ANALISIS DE LA ESTACION “TECORIPA”

Esta estación se encuentra en la Cuenca del Río Yaqui (al oeste), 27 km al norte de Suaqui Grande. Pertenece al Municipio de La Colorada, a una altitud de 410 m.s.n.m. Se analizó un período de 24 años, de 1982 a 2005.

La precipitación media anual fue de 575.07 mm. La mayor precipitación promedio mensual ocurre en el mes de Julio con 160.02 mm y las mínimas corresponden a Abril y Mayo, con media mensual de poco más de 6.00 mm. La máxima precipitación total anual se presentó en el año de 1988, en el cual llovieron 820.60 mm, llegando el termómetro a registrar una temperatura media e 22.78°C.

La temperatura media anual calculada fue de 21.60°C, la cual es de las menores de toda la cuenca en estudio (Figuras 65, 66, 67 y 68).

**Figuras 65, 66, 67 y 68.- Precipitación y temperatura de la Estación Tecoripa**



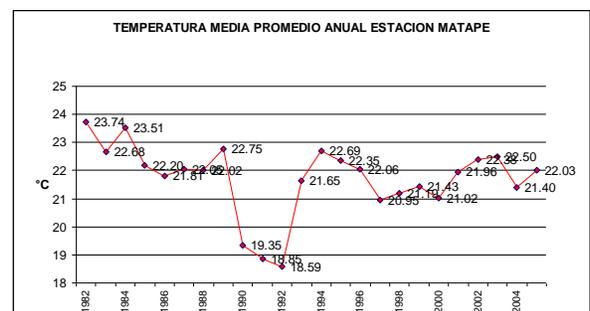
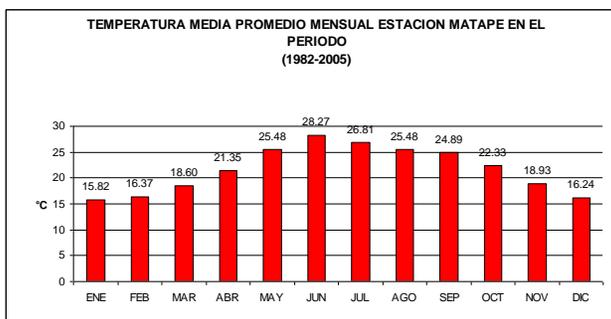
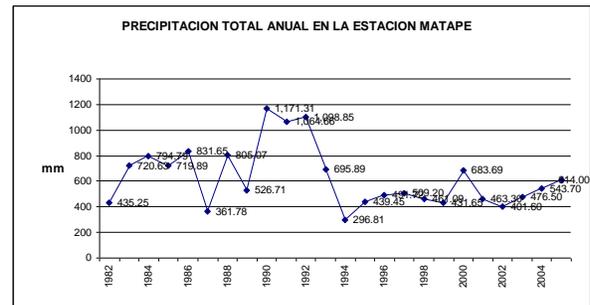
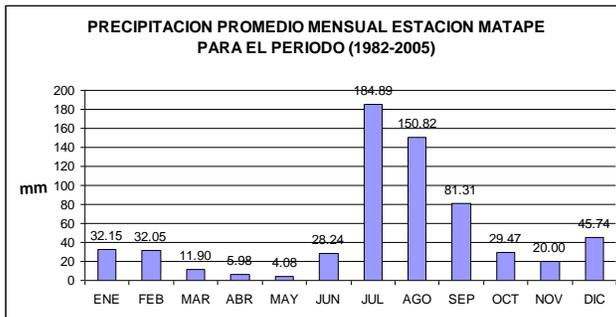
## 12.- ANÁLISIS DE LA ESTACIÓN “MÁTAPE”

Esta estación se encuentra al norte de la Cuenca del Río Mátape, 22 km al noreste de Mazatán. Se analizó un registro de 24 años, período de 1982-2005, faltando datos en varios años, los cuales se restituyeron por el método de la Relación Normalizada.

Esta estación está ubicada en el Municipio de Villa Pesqueira, sobre el área de influencia del acuífero Mátape, a una altitud de 745 m.s.n.m.

En esta estación se presenta una precipitación media anual de 626.63 mm. La mayor precipitación promedio mensual ocurre en el mes de Julio con 184.89 mm y las mínimas corresponden a Abril y Mayo, con alrededor de 5.00 mm. La máxima precipitación total anual se presentó en el año de 1992 con 1,098.85 mm, teniendo una temperatura media ese año de 18.59 °C, que está muy por debajo de la media anual de 21.71 °C, la cual es de las menores de toda la cuenca (Figuras 69, 70, 71 y 72).

**Figuras 69, 70, 71 y 72.- Precipitación y temperatura de la Estación Mátape**



### 3.2. PRECIPITACIÓN MEDIA

Debido a que en una cuenca hidrológica pueden existir varias estaciones climatológicas, las cuales registran diferentes precipitaciones en diferentes tiempos (diaria, mensual, anual, etc), se utiliza algún método que obtenga la **precipitación media**, que será un valor que represente las condiciones generales de la cuenca. Los métodos más comúnmente usados para calcular este parámetro son: el Promedio Aritmético, el Método de las Isoyetas y los Polígonos de Thiessen, los cuales se describen y aplican a continuación.

#### 3.2.1. PROMEDIO ARITMÉTICO

La precipitación media ( $P_m$ ) se obtiene de sumar la altura de las lluvias ( $P_1, P_2, \dots, P_n$ ) registradas en un cierto tiempo en cada una de las estaciones consideradas y se divide entre el número total de estaciones ( $n$ ) de la cuenca:

$$P_m = (P_1 + P_2 + \dots + P_n) / n$$

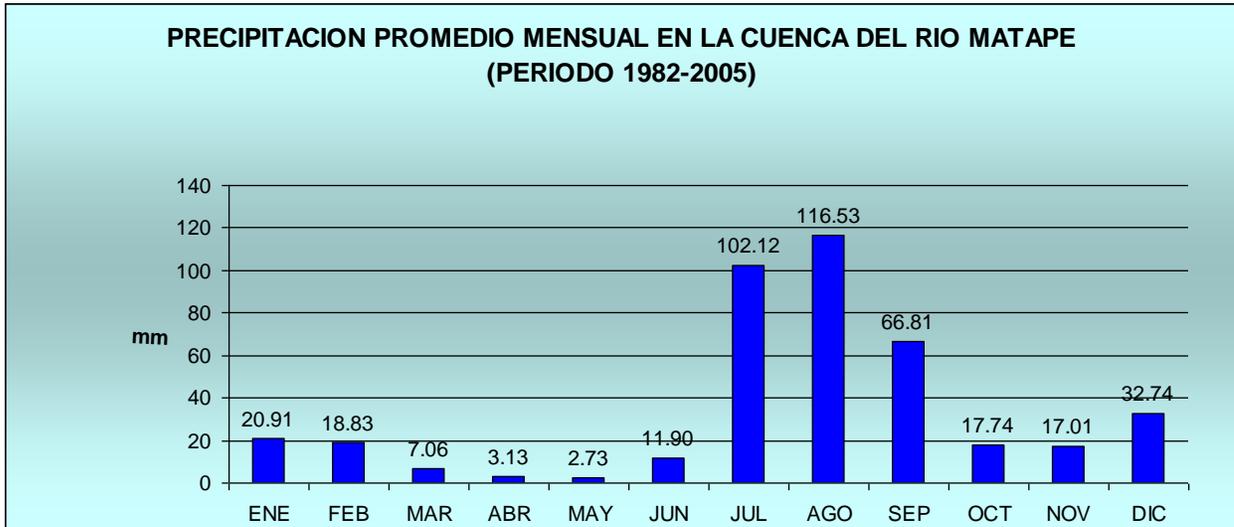
Para la Cuenca del Río Mátape se consideraron 12 estaciones cuyos datos de precipitación media mensual y anual se consignan en la Tabla 10 y en las Figuras 73 y 74. El promedio aritmético consistió en obtener la precipitación media anual, como la suma de la altura de lluvia de todos los meses entre los 12 meses del año; posteriormente se obtuvo la precipitación total anual, como la suma de todos los años entre las 12 estaciones consideradas.

La precipitación media de la cuenca por el método del Promedio Aritmético fue de **417.50 mm/año** (Tabla 10).

**Tabla 10.- Precipitación media anual por estación (mm) en la Cuenca del Río Mátape**

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
GUAYMAS	18.74	9.36	5.33	2.22	2.22	3.17	52.37	75.98	30.03	17.17	10.36	20.19	247.13
EMPALME (OBSERV.)	15.12	13.97	5.86	1.55	0.33	2.97	44.86	75.53	58.44	20.20	17.13	28.03	283.98
VICAM	15.65	16.23	4.61	0.98	1.13	2.30	70.78	100.19	75.66	14.89	16.40	27.45	346.27
FRANCISCO MARQUEZ	18.70	15.06	5.41	2.08	1.22	4.48	69.62	110.20	68.82	16.10	22.35	29.03	363.06
ESTACION TORRES	11.92	17.80	6.38	2.00	1.07	9.09	84.06	111.49	54.54	14.98	15.00	37.61	365.94
LA MISA	30.36	22.37	6.16	3.03	2.17	10.46	66.75	112.39	64.86	13.37	19.25	26.12	377.29
SUAQUI GRANDE	12.73	17.45	4.88	4.76	4.98	13.53	115.13	127.04	52.28	15.31	12.94	26.02	407.04
PUNTA DE AGUA	18.98	19.57	6.85	2.65	2.55	10.98	109.56	139.16	67.81	17.32	17.03	37.35	449.82
SAN JOSE DE PIMAS	28.04	20.08	8.26	3.39	4.14	14.30	117.47	135.00	77.29	12.15	12.27	32.74	465.12
MAZATAN	22.94	23.84	10.53	2.57	2.58	14.93	149.91	121.53	77.68	14.12	17.43	44.64	502.70
TECORIPA	25.59	18.14	8.52	6.36	6.32	28.41	160.02	139.00	93.00	27.80	23.93	37.98	575.07
MATAPE	32.15	32.05	11.90	5.98	4.08	28.24	184.89	150.82	81.31	29.47	20.00	45.74	626.63
PROMEDIO	20.91	18.83	7.06	3.13	2.73	11.90	102.12	116.53	66.81	17.74	17.01	32.74	417.50

**Figura 73.- Precipitación promedio mensual en la Cuenca del Río Mátape**



**Figura 74.- Precipitación media anual por estación**



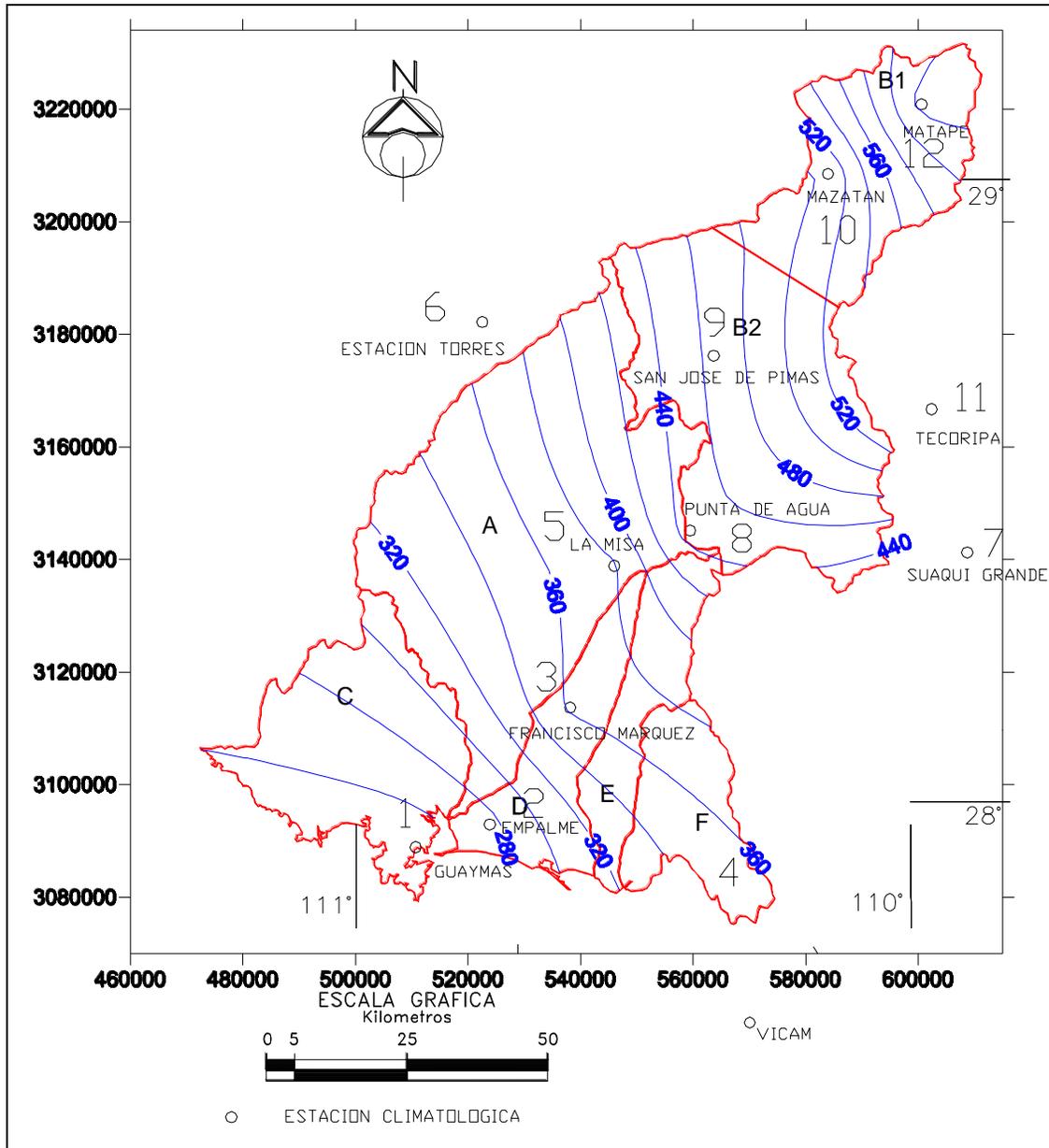
**3.2.2. MÉTODO DE LAS ISOYETAS**

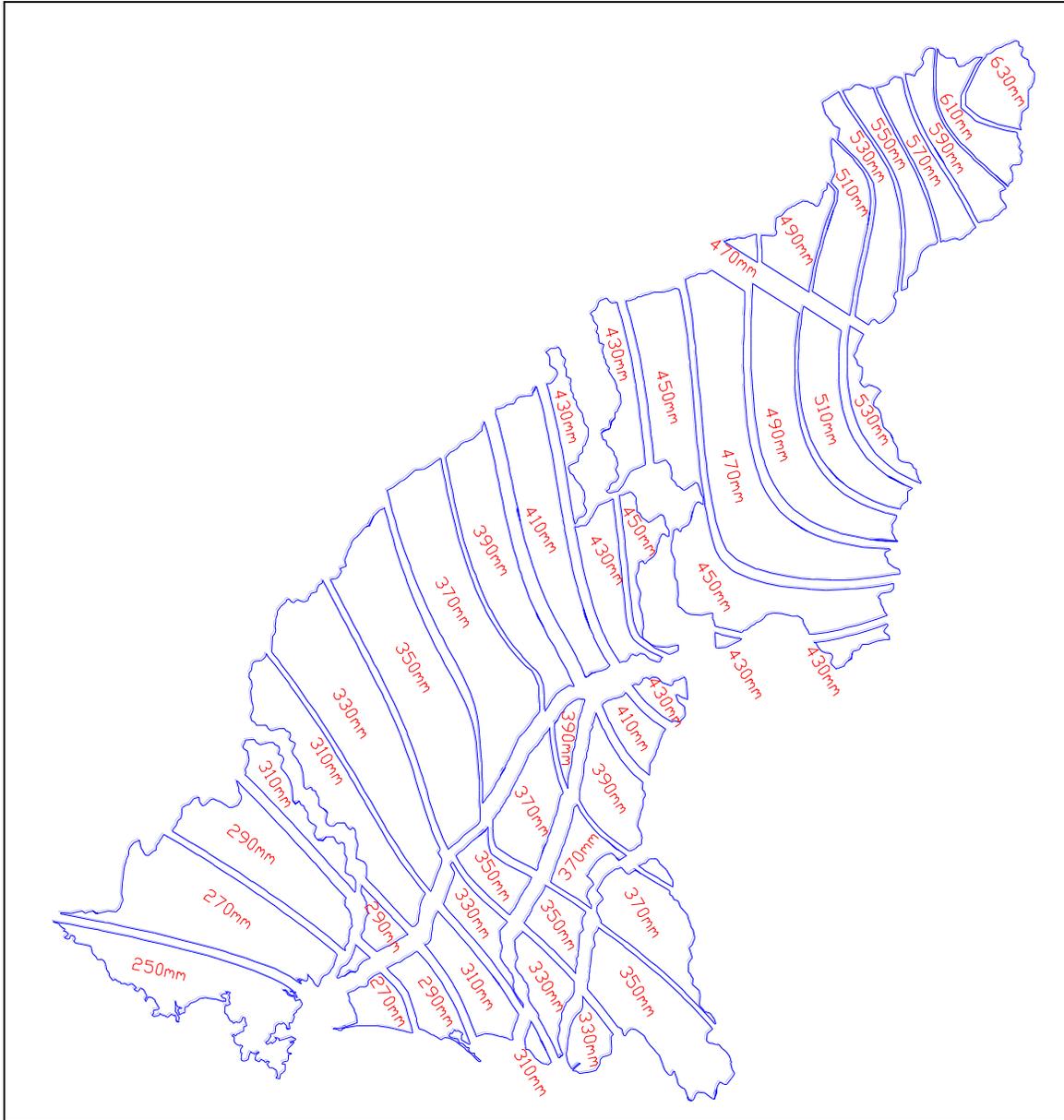
Con la información registrada en las estaciones, se trazan isólineas llamadas “isoyetas” que unen puntos de igual altura de precipitación, de modo semejante a como se trazan las curvas de nivel en topografía (Figura 75). La precipitación media (Pm) se obtiene multiplicando la precipitación media entre isoyetas (P<sub>1</sub>+ P<sub>2</sub>)/2 por el área entre isoyetas (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>,.....A<sub>n-1</sub>), dividido entre el área total de la cuenca (A<sub>1</sub>+A<sub>2</sub>+.....+A<sub>n-1</sub>):

$$Pm = ((P_1+P_2)A_1/2+(P_2+P_3)A_2/2+.....+(P_{n-1}+P_n)A_{n-1})/(A_1+A_2+.....A_{n-1})$$

Este método es el más preciso de todos, ya que las isoyetas se dibujan de modo que tomen en cuenta los efectos topográficos en la distribución de la lluvia.

**Figura 75.- Isoyetas de precipitación en la Cuenca del Río Mátape (mm)**



**Figura 76.- Isoyetas de precipitación por subcuencas**

Una vez trazadas las isoyetas, se seccionó la cuenca en subcuencas (Figura 76) y se obtuvieron las áreas entre isoyetas para cada subcuenca, así como la precipitación media entre ellas. Aplicando la metodología, se calcularon las precipitaciones medias para cada una de las subcuencas de la Cuenca del Río Mátape, como se muestra en la Tabla 11.

La precipitación media de la cuenca por el Método de las Isoyetas fue de **389.02 mm/año**, obtenida como el promedio aritmético de las 7 subcuencas (Tabla 11).

**Tabla 11.- Precipitación media anual en las subcuencas del Río Mátape por el Método de las Isoyetas**

**PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (B1) RIO MATAPE**

ISOYETA	Hp=MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
460-480	470.00	13.55	6,370.28
480-500	490.00	115.92	56,802.01
500-520	510.00	164.04	83,658.75
520-540	530.00	189.88	100,634.24
540-560	550.00	136.35	74,991.55
560-580	570.00	122.94	70,075.17
580-600	590.00	134.63	79,430.52
600-620	610.00	127.91	78,025.22
620-640	630.00	118.95	74,936.57
<b>TOTALES</b>		1,124.16	624,924.31
<b>Hp=624,924.31/1,124.16</b>			<b>555.90</b>

**PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (D) GUAYMAS**

ISOYETA	Hp=MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
260-280	270.00	69.09	18,654.45
280-300	290.00	95.70	27,754.34
300-320	310.00	139.45	43,230.13
320-340	330.00	83.12	27,429.00
340-360	350.00	79.77	27,921.06
360-380	370.00	155.75	57,629.24
380-400	390.00	37.79	14,739.55
<b>TOTALES</b>		660.69	217,357.78
<b>Hp=217,357.78/660.69</b>			<b>328.99</b>

**PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA**

ISOYETA	Hp=MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
420-440	430.00	178.87	76,913.54
440-460	450.00	572.39	257,573.96
460-480	470.00	562.97	264,597.29
480-500	490.00	360.45	176,622.88
500-520	510.00	235.63	120,171.34
520-540	530.00	84.95	45,025.60
<b>TOTALES</b>		1,995.27	940,904.62
<b>Hp=940,904.62/1,995.27</b>			<b>471.57</b>

**PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (E) ARROYO CHICUROS**

ISOYETA	Hp=MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
300-320	310.00	15.22	4,719.13
320-340	330.00	98.34	32,453.20
340-360	350.00	80.97	28,340.69
360-380	370.00	86.94	32,168.01
380-400	390.00	147.76	57,624.63
400-420	410.00	72.18	29,595.40
420-440	430.00	43.79	18,828.50
<b>TOTALES</b>		545.21	203,729.56
<b>Hp=203,729.56/545.21</b>			<b>373.67</b>

**PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (A) RIO MATAPE EMPALME**

ISOYETA	Hp=MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
260-280	270.00	11.13	3,006.25
280-300	290.00	41.56	12,052.06
300-320	310.00	308.45	95,619.71
320-340	330.00	514.47	169,774.76
340-360	350.00	562.38	196,831.68
360-380	370.00	497.83	184,195.49
380-400	390.00	321.11	125,232.35
400-420	410.00	313.43	128,504.61
420-440	430.00	236.47	101,681.95
440-460	450.00	79.42	35,737.91
<b>TOTALES</b>		2,886.24	1,052,636.78
<b>Hp=1,052,636.78/2,886.24</b>			<b>364.71</b>

**PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (F) ARROYO TETABIATE**

ISOYETA	Hp=MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
320-340	330.00	64.87	21,406.06
340-360	350.00	304.15	106,453.89
360-380	370.00	203.79	75,404.12
380-400	390.00	11.48	4,479.01
<b>TOTALES</b>		584.30	207,743.08
<b>Hp=207,743.08/584.30</b>			<b>355.54</b>

**PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (C) SAN JOSE DE GUAYMAS**

ISOYETA	Hp=MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
240-260	250.00	354.70	88,675.21
260-280	270.00	460.32	124,286.81
280-300	290.00	312.66	90,670.80
300-320	310.00	106.84	33,121.41
<b>TOTALES</b>		1,234.52	336,754.24
<b>Hp=336,754.24/1,234.52</b>			<b>272.78</b>

**3.2.3. POLÍGONOS DE THIESSEN**

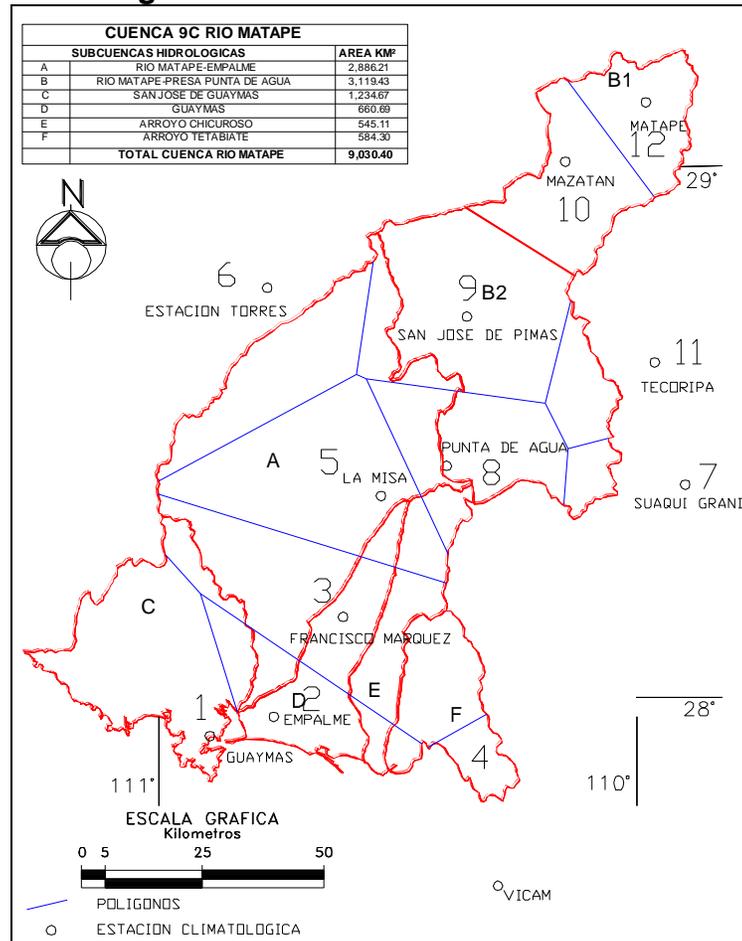
Este método debido a Thiessen (1911) trata de tomar en cuenta la distribución no uniforme de los pluviómetros en el área, mediante una ponderación de cada uno de ellos. El método consiste en colocar en un mapa las estaciones pluviométricas y el área o cuenca para la que se realiza el análisis, en seguida se forman triángulos con las estaciones más próximas entre sí y posteriormente se trazan las mediatrices o bisectrices perpendiculares a cada lado de los triángulos formados, definiéndose polígonos alrededor de cada estación pluviométrica.

La precipitación media ( $P_m$ ) se obtiene de sumar el producto de la precipitación de cada estación ( $P_1, P_2, \dots, P_n$ ) por el área de cada polígono ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ ), dividido entre el área total de la cuenca ( $A_1 + A_2 + \dots + A_n$ ):

$$P_m = (P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n)$$

Se delimitaron 12 polígonos en la cuenca, cuyo trazado se observa en la Figura 77; los cálculos para obtener la precipitación media para las 7 subcuencas se muestra en la Tabla 12.

**Figura 77.- Polígonos de Thiessen en la Cuenca del Río Mátape**



La precipitación media para la cuenca por el método de los Polígonos de Thiessen fue de **388.75 mm/año**, obtenida como el promedio aritmético de las 7 subcuencas (Tabla 12).

**Tabla 12.- Precipitación media anual (mm) por subcuenca con los Polígonos de Thiessen**

PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (B1) RIO MATAPE			
ESTACION	Hp=PRECIPITACION ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
MAZATAN	502.70	671.03	337,324.92
MATAPE	626.63	453.13	283,947.76
<b>TOTALES</b>		1,124.16	621,272.68
<b>Hp=621,272.68/1,124.16</b>			<b>552.65</b>

PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (D) GUAYMAS			
ESTACION	Hp=PRECIPITACION ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
LA MISA	377.29	64.93	24,496.22
FRANCISCO MARQUEZ	363.06	279.59	101,508.73
EMPALME	283.98	316.17	89,785.90
<b>TOTALES</b>		660.69	215,790.85
<b>Hp=215,790.85/660.69</b>			<b>326.62</b>

PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA			
ESTACION	Hp=PRECIPITACION ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
SAN JOSE DE PIMAS	465.12	1,138.36	529,472.54
TECORIPA	575.07	264.15	151,907.41
SUAQUI GRANDE	407.04	129.77	52,823.61
PUNTA DE AGUA	449.82	462.97	208,253.42
<b>TOTALES</b>		1,995.26	942,456.99
<b>Hp=942,456.99/1,995.26</b>			<b>472.35</b>

PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (E) ARROYO CHICUROSSO			
ESTACION	Hp=PRECIPITACION ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
PUNTA DE AGUA	449.82	83.06	37,362.85
LA MISA	377.29	121.32	45,772.51
FRANCISCO MARQUEZ	363.06	277.09	100,601.82
EMPALME	283.98	63.50	18,031.69
<b>TOTALES</b>		544.97	201,768.87
<b>Hp=201,768.87/544.97</b>			<b>370.24</b>

PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (A) RIO MATAPE EMPALME			
ESTACION	Hp=PRECIPITACION ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
SAN JOSE DE PIMAS	465.12	226.01	105,121.84
PUNTA DE AGUA	449.82	238.33	107,206.84
ESTACION TORRES	365.94	656.60	240,275.13
LA MISA	377.29	1,072.32	404,573.80
FRANCISCO MARQUEZ	363.06	601.92	218,534.19
EMPALME	283.98	91.71	26,043.54
<b>TOTALES</b>		2,886.89	1,101,755.34
<b>Hp=1,101,755.34/2,886.89</b>			<b>381.64</b>

PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (F) ARROYO TETABIATE			
ESTACION	Hp=PRECIPITACION ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
FRANCISCO MARQUEZ	363.06	375.81	136,440.65
EMPALME	283.98	52.65	14,950.97
VICAM	346.27	155.87	53,974.38
<b>TOTALES</b>		584.33	205,366.00
<b>Hp=205,366.00/584.33</b>			<b>351.46</b>

PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (C) SAN JOSE DE GUAYMAS			
ESTACION	Hp=PRECIPITACION ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Hp*A
FRANCISCO MARQUEZ	363.06	162.52	59,002.82
EMPALME	283.98	129.62	36,810.82
GUAYMAS	247.13	942.32	232,876.76
<b>TOTALES</b>		1,234.46	328,690.40
<b>Hp=328,690.40/1,234.46</b>			<b>266.26</b>

Comparando los resultados del Método de las Isoyetas y el de los Polígonos de Thiessen, se comprueba que los resultados son cercanos entre sí, asimismo, se revisaron los resultados obtenidos en otros estudios siendo éstos similares a los obtenidos con Thiessen, de esta manera se opta por utilizar en el análisis la media de los dos métodos (Tabla 13).

**Tabla 13.- Comparativo de resultados por diversos métodos**

ACUIFERO	SUBCUENCA	AREA (km <sup>2</sup> )	PP MEDIA (mm/año)		
			THIESSEN	ISOYETAS	PROMEDIO
RIO MATAPE	(B1) RIO MATAPE	1,124.16	552.65	555.90	<b>554.28</b>
VALLE DE GUAYMAS	(B2) RIO MATAPE- P. PUNTA AGUA	1,995.26	472.35	471.57	<b>471.96</b>
	(A) RIO MATAPE- EMPALME	2,886.89	381.64	364.71	<b>373.18</b>
	(D) GUAYMAS	660.69	326.62	328.99	<b>327.81</b>
	(E) ARROYO CHICUROSO	544.97	370.24	373.67	<b>371.96</b>
	(F) ARROYO TETABIATE	584.33	351.46	355.54	<b>353.50</b>
SAN JOSE DE GUAYMAS	( C ) SAN JOSE DE GUAYMAS	1,234.46	266.26	272.78	<b>269.52</b>
<b>TOTAL CUENCA</b>		<b>9,030.76</b>			

### 3.3. TEMPERATURA MEDIA

Mediante la temperatura se expresa numéricamente el efecto que en los cuerpos produce el calor originado por el balance entre la radiación recibida y la emitida. Interesa, especialmente, la temperatura del aire en las inmediaciones de la superficie terrestre. El aire se calienta o se enfría a partir del suelo por distintos métodos de transmisión y por los cambios de estado físico del agua atmosférica.

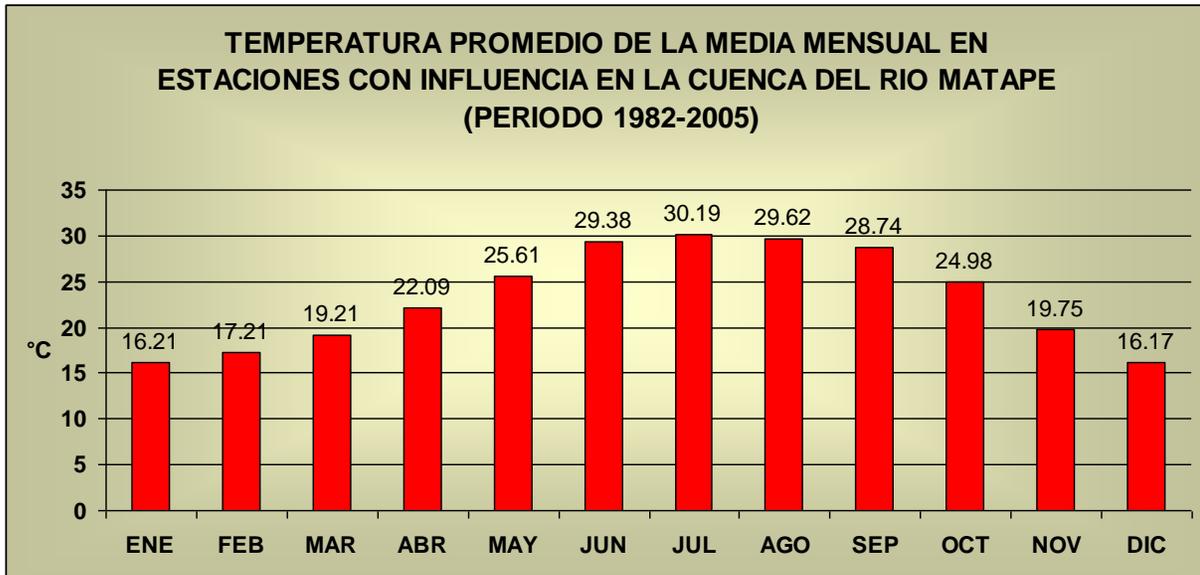
La variación de temperatura sigue dos ciclos principales: el ciclo diario que presenta una forma sinusoidal con un máximo y un mínimo muy acusados, y el ciclo anual que es referido a temperaturas medias diarias. Las temperaturas promedio mensuales y anuales de la Cuenca del Río Mátape se consignan en la Tabla 14 y en las Figuras 77 y 78.

**Tabla 14.- Temperatura media mensual y anual (°C) por estación en la Cuenca del Río Mátape**

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TECORIPA	13.80	14.59	17.20	20.59	24.46	28.95	29.06	28.76	27.14	22.95	17.78	13.88	<b>21.60</b>
MAZATAN	14.55	15.40	16.90	19.60	23.68	28.55	29.19	28.26	27.47	23.31	18.16	14.61	<b>21.64</b>
MATAPE	15.82	16.37	18.60	21.35	25.48	28.27	26.81	25.48	24.89	22.33	18.93	16.24	<b>21.71</b>
SUAQUI GRANDE	18.23	18.86	20.19	22.00	25.33	28.08	27.34	26.51	26.55	23.81	20.01	18.10	<b>22.92</b>
SAN JOSE DE PIMAS	15.19	15.89	18.56	21.99	25.67	29.95	30.76	29.47	28.56	24.90	19.55	15.16	<b>22.97</b>
FRANCISCO MARQUEZ	16.67	17.53	19.26	21.78	25.23	28.87	31.41	30.90	29.87	25.12	20.09	15.76	<b>23.54</b>
ESTACION TORRES	15.35	17.01	19.27	22.66	26.22	30.59	31.65	30.86	29.77	25.12	19.06	14.95	<b>23.54</b>
VICAM	15.66	16.84	19.08	21.90	25.61	30.28	31.90	31.38	30.44	25.97	19.75	15.52	<b>23.69</b>
PUNTA DE AGUA	16.89	17.97	20.29	23.05	26.54	30.56	31.46	30.80	30.20	26.33	20.68	16.73	<b>23.81</b>
LA MISA	16.74	17.74	19.67	23.36	26.72	29.94	30.46	30.61	29.78	26.33	19.74	16.53	<b>23.97</b>
EMPALME (OBSERV.)	17.61	18.65	20.47	23.73	26.44	29.63	31.33	31.23	30.45	26.53	21.26	17.68	<b>24.58</b>
GUAYMAS	17.98	19.70	21.03	23.07	25.92	28.89	30.94	31.14	29.73	27.09	21.97	18.87	<b>24.69</b>
PROMEDIO	<b>16.21</b>	<b>17.21</b>	<b>19.21</b>	<b>22.09</b>	<b>25.61</b>	<b>29.38</b>	<b>30.19</b>	<b>29.62</b>	<b>28.74</b>	<b>24.98</b>	<b>19.75</b>	<b>16.17</b>	<b>23.26</b>

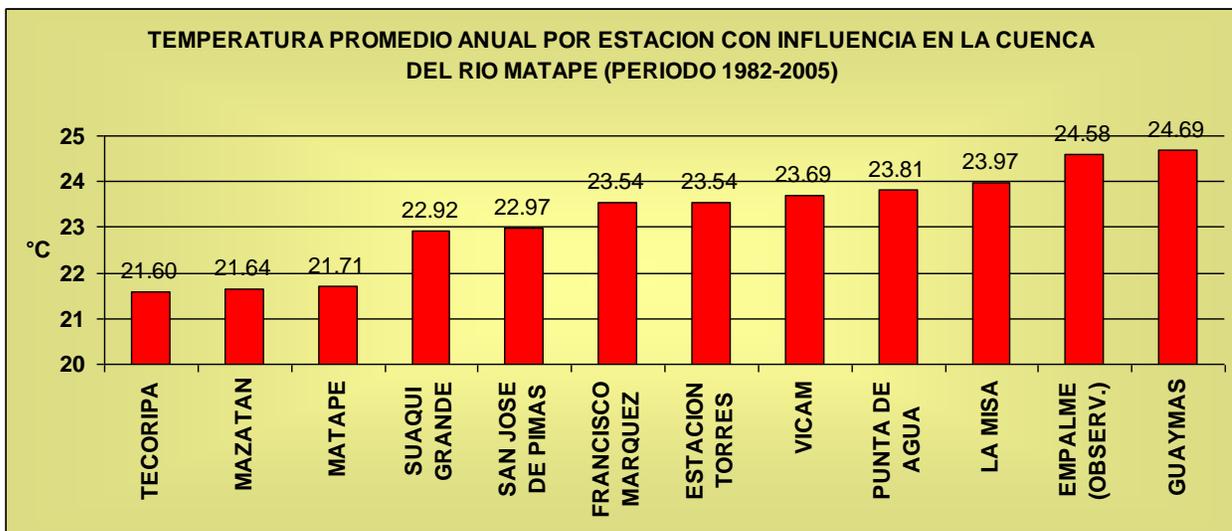
Analizando estos datos, se observa que en el mes de Julio se presenta la temperatura media mensual más alta de 30.19 °C y la más baja de 16.17 °C en el mes de Diciembre (Figura 78).

**Figura 78.- Temperatura promedio por mes en la Cuenca del Río Mátape**



La temperatura máxima se registró en la Estación Guaymas, en la parte baja de la Cuenca del Río Mátape, sobre la costa, y la mínima en la Estación Tecoripa en la porción centro-norte de la cuenca (Figura 79).

**Figura 79.- Temperatura por estación en el área de estudio**



A continuación, se aplicó el método de los Polígonos de Thiessen, usando los

polígonos de la Figura 77 para calcular la temperatura media de cada subcuenca (Tabla 15).

**Tabla 15.- Determinación de la temperatura media por el método de los Polígonos de Thiessen en la Cuenca del Río Mátape**

TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (B1) RIO MATAPE

ESTACION	T=TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	AREA (Km <sup>2</sup> )	T*A
MAZATAN	21.64	671.03	14,521.01
MATAPE	21.71	453.13	9,837.55
<b>TOTALES</b>		1,124.16	24,358.56
<b>T=24,358.56/1,124.16</b>			<b>21.67</b>

TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (D) GUAYMAS

ESTACION	T=TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	AREA (Km <sup>2</sup> )	T*A
LA MISA	23.97	64.93	1,556.29
FRANCISCO MARQUEZ	23.54	279.59	6,581.60
EMPALME	24.58	316.17	7,771.45
<b>TOTALES</b>		660.69	15,909.35
<b>T=15,909.35/660.69</b>			<b>24.08</b>

TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA

ESTACION	T=TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	AREA (Km <sup>2</sup> )	T*A
SAN JOSE DE PIMAS	22.97	1,138.36	26,148.06
TECORIPA	21.60	264.15	5,705.74
SUAQUI GRANDE	22.92	129.77	2,974.44
PUNTA DE AGUA	23.81	462.97	11,023.33
<b>TOTALES</b>		1,995.26	45,851.57
<b>T=45,851.57/1,995.26</b>			<b>22.98</b>

TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (E) ARROYO CHICUROSO

ESTACION	T=TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	AREA (Km <sup>2</sup> )	T*A
PUNTA DE AGUA	23.81	83.06	1,977.70
LA MISA	23.97	121.32	2,908.02
FRANCISCO MARQUEZ	23.54	277.09	6,522.80
EMPALME	24.58	63.50	1,560.74
<b>TOTALES</b>		544.97	12,969.26
<b>T=12,969.26/544.97</b>			<b>23.80</b>

TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (A) RIO MATAPE EMPALME

ESTACION	T=TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	AREA (Km <sup>2</sup> )	T*A
SAN JOSE DE PIMAS	22.97	226.01	5,191.45
PUNTA DE AGUA	23.81	238.33	5,674.70
ESTACION TORRES	23.54	656.60	15,456.29
LA MISA	23.97	1,072.32	25,703.40
FRANCISCO MARQUEZ	23.54	601.92	14,169.27
EMPALME	24.58	91.71	2,254.21
<b>TOTALES</b>		2,886.89	68,449.32
<b>T=68,449.32/2,886.89</b>			<b>23.71</b>

TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (F) ARROYO TETABIATE

ESTACION	T=TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	AREA (Km <sup>2</sup> )	T*A
FRANCISCO MARQUEZ	23.54	375.81	8,846.51
EMPALME	24.58	52.65	1,294.09
VICAM	23.69	155.87	3,692.65
<b>TOTALES</b>		584.33	13,833.24
<b>T=13,833.24/584.33</b>			<b>23.67</b>

TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (C) SAN JOSE DE GUAYMAS

ESTACION	T=TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	AREA (Km <sup>2</sup> )	T*A
FRANCISCO MARQUEZ	23.54	162.52	3,825.61
EMPALME	24.58	129.62	3,186.17
GUAYMAS	24.69	942.32	23,266.00
<b>TOTALES</b>		1,234.46	30,277.79
<b>T=30,277.79/1,234.46</b>			<b>24.53</b>

### 3.4. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL Y REAL

Thornthwaite (1948) llamó **Evapotranspiración Potencial (ETP)** a la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas.

Por el contrario, la **Evapotranspiración Real (ETR)** es la que se produce realmente en las condiciones existentes. Es obvio que la ET real  $\leq$  ET potencial. Por ejemplo, en un lugar desértico la ETP puede ser de 6 mm/día y la ETR de 0, debido a

que no hay agua para evapotranspirar (<http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/T040.pdf>).

Los métodos para evaluar la ETP son el de Thornthwaite, Jensen-Heise, Hargreaves, Blanney-Criddle, Turc y Penman. Normalmente con estas fórmulas, se calcula la ETP mensualmente, para datos medios de una serie de años.

Para calcular la ETR anual cuando sólo se tienen datos de precipitación y temperatura, se usan las fórmulas de Turc y la de Coutagne, que fueron obtenidas correlacionando datos de numerosas cuencas en todo el mundo.

En el presente trabajo se utilizó el Método de Thornthwaite para calcular la ETP y los de Turc y Coutagne para evaluar la ETR.

### 3.4.1. METODO DE THORNTHWAITE (ETP)

Con objeto de valorar la capacidad máxima de evaporación y transpiración de un suelo, con determinadas condiciones atmosféricas y de radiación, se define el concepto de evapotranspiración potencial como: “la cantidad de agua transpirada por unidad de tiempo, teniendo el suelo un cultivo herbáceo uniforme de 30-50 cm de altura y siempre con suficiente agua”. En esas condiciones se produce el máximo de transpiración y coincide con las óptimas condiciones de crecimiento de las plantas.

Los pasos que se siguen para aplicar este método son:

1º) Se calcula un “índice de calor mensual” ( $i$ ) a partir de la temperatura media mensual ( $t$ ):

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

2º) Se calcula el “índice de calor anual ( $I$ ) sumando los 12 valores de  $i$ :

$$I = \sum i$$

3º) Se calcula la ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{sin\ corr.} = 16 \left( \frac{10.t}{I} \right)^a$$

Donde:

$ETP_{sin\ corr.}$  = ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas)

$t$  = temperatura media mensual, °C

$I$  = índice de calor anual, obtenido en el punto 2º

$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$

4º) Corrección para el nº de días del mes y el nº de horas de sol:

$$ETP = ETP_{sin\ corr.} \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30}$$

Donde:  $N$  = número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud (Tabla)

$d$  = número de días del mes

Para utilizar este método en la cuenca, se calcularon los índices de calor de las estaciones consideradas, con base en la temperatura media de cada estación (Tabla 16).

**Tabla 16.- Cálculo de índices de calor mensual y anual**

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	I	a
TECORIPA	4.65	5.06	6.49	8.52	11.06	14.28	14.36	14.14	12.95	10.04	6.83	4.69	113.07	2.51
MAZATAN	5.04	5.49	6.32	7.91	10.53	13.98	14.46	13.77	13.19	10.29	7.05	5.07	113.08	2.51
MATAPE	5.72	6.02	7.31	9.01	11.77	13.77	12.71	11.77	11.36	9.64	7.51	5.95	112.54	2.49
SUAQUI GRANDE	7.09	7.46	8.28	9.42	11.66	13.64	13.09	12.50	12.53	10.62	8.16	7.01	121.47	2.74
SAN JOSE DE PIMAS	5.38	5.76	7.28	9.42	11.90	15.03	15.65	14.67	13.99	11.37	7.88	5.36	123.69	2.81
FRANCISCO MARQUEZ	6.19	6.68	7.71	9.28	11.59	14.22	16.15	15.76	14.97	11.52	8.21	5.69	127.97	2.94
ESTACION TORRES	5.46	6.38	7.71	9.85	12.29	15.52	16.35	15.73	14.90	11.52	7.59	5.25	128.56	2.96
VICAM	5.63	6.29	7.60	9.36	11.86	15.29	16.54	16.13	15.41	12.12	8.00	5.56	129.77	2.99
PUNTA DE AGUA	6.31	6.93	8.34	10.11	12.52	15.49	16.19	15.68	15.22	12.37	8.58	6.23	133.99	3.13
LA MISA	6.23	6.80	7.95	10.32	12.65	15.02	15.42	15.54	14.90	12.37	8.00	6.11	131.32	3.04
EMPALME (OBSERV.)	6.73	7.34	8.45	10.57	12.45	14.79	16.09	16.01	15.42	12.51	8.95	6.77	136.06	3.20
GUAYMAS	6.94	7.97	8.80	10.13	12.08	14.23	15.79	15.95	14.87	12.91	9.40	7.47	136.54	3.22

Posteriormente, se calculó la evapotranspiración potencial mensual “sin corregir” (Tabla 17), mediante la fórmula consignada en el 3er punto de la metodología anterior.

**Tabla 17.- Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual y anual (mm) por el Método de Thornthwaite (sin corregir)**

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TECORIPA	26.35	30.31	45.83	71.98	110.88	169.16	170.78	166.41	143.96	94.45	49.82	26.77	1106.68
MAZATAN	30.09	34.74	43.83	63.60	102.18	163.35	172.70	159.24	148.37	98.25	52.50	30.40	1099.26
MATAPE	37.42	40.74	56.06	79.06	122.93	159.23	139.55	122.83	115.89	88.39	58.57	39.95	1060.63
SUAQUI GRANDE	48.71	53.42	64.45	81.55	119.94	159.16	147.87	135.97	136.49	101.25	62.85	47.77	1159.42
SAN JOSE DE PIMAS	28.47	32.30	49.99	80.48	124.15	191.41	206.38	182.91	167.57	114.08	57.84	28.34	1263.91
FRANCISCO MARQUEZ	34.78	40.34	53.21	76.32	117.52	174.59	223.67	213.16	192.95	116.04	60.16	29.50	1332.23
ESTACION TORRES	27.02	36.62	52.91	85.45	131.63	207.54	229.59	212.96	191.57	115.92	51.28	25.02	1367.51
VICAM	28.10	34.91	50.75	76.67	122.58	202.40	236.59	225.06	205.56	127.80	56.27	27.35	1394.03
PUNTA DE AGUA	33.02	40.11	58.72	87.55	136.15	211.74	232.01	217.04	204.12	132.89	62.36	32.10	1447.81
LA MISA	33.50	39.97	54.75	92.35	139.15	196.73	207.30	210.51	193.54	133.10	55.35	32.25	1388.51
EMPALME (OBSERV.)	36.58	43.97	59.18	95.04	134.43	193.49	231.36	229.10	211.38	135.80	66.83	37.02	1474.17
GUAYMAS	38.84	52.11	64.32	86.64	125.98	178.71	222.86	227.66	196.09	145.22	73.97	45.32	1457.72
PROM	33.572	39.962	54.501	81.391	123.96	183.96	201.72	191.9	175.62	116.93	58.984	33.48	1295.993

**Tabla 18.- Número máximo de horas de sol (Doorenbos y Pruitt, 1977)**

Lat. Norte	E	F	Mr	A	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Lat Sur	D	N	O	S	A	Jl	Jn	My	A	Mr	F	E
50	8,5	10,0	11,8	13,7	15,3	16,3	15,9	14,4	12,6	10,7	9,0	8,1
48	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1
40	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
30	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
25	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
20	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
15	11,3	11,6	12,0	12,5	12,8	13	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2
10	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5
5	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,0	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8
0° Ecuador	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

Se determinaron los valores intermedios de horas de sol entre 25 y 30 grados, coordenadas donde se encuentran las estaciones utilizadas (Tabla 19).

**Tabla 19.- Valores intermedios de número máximo de horas**

30.0	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
29.0	10.5	11.1	12.0	12.9	13.5	13.9	13.8	13.2	12.4	11.5	10.7	10.3
28.0	10.5	11.2	12.0	12.8	13.5	13.9	13.7	13.1	12.4	11.5	10.7	10.4
27.0	10.6	11.2	12.0	12.8	13.4	13.8	13.7	13.1	12.3	11.6	10.8	10.4
26.0	10.6	11.3	12.0	12.7	13.4	13.8	13.6	13.0	12.3	11.6	10.8	10.5
25.0	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6

A continuación se corrigió la evapotranspiración potencial por el número de días del mes y número de horas de sol (Tablas 18 y 19). Finalmente, se corrigió la evapotranspiración potencial mensual y anual (Tabla 20).

**Tabla 20.- Evapotranspiración potencial mensual y anual (mm) por el Método de Thornthwaite (corregido)**

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TECORIPA	23.87	26.35	47.36	76.90	128.70	195.66	202.06	188.00	148.28	93.86	44.50	23.88	1199.43
MAZATAN	27.10	30.10	45.29	68.16	119.14	189.76	205.53	180.45	153.07	97.46	46.64	26.91	1189.62
MATAPE	33.70	35.30	57.93	84.73	143.33	184.97	166.08	139.20	119.56	87.69	52.03	35.36	1139.88
SUAQUI GRANDE	44.12	46.45	66.60	87.12	139.23	184.10	174.95	153.62	140.58	100.61	56.14	42.62	1236.14
SAN JOSE DE PIMAS	25.79	28.09	51.65	85.97	144.11	221.40	244.18	206.65	172.59	113.36	51.67	25.28	1370.76
FRANCISCO MARQUEZ	31.51	35.08	54.98	81.54	136.41	201.95	264.64	240.82	198.74	115.31	53.75	26.31	1441.02
ESTACION TORRES	24.48	31.84	54.68	91.28	152.80	240.05	271.64	240.60	197.32	115.20	45.81	22.32	1488.01
VICAM	25.60	30.46	52.45	81.66	141.65	233.09	278.29	253.50	211.39	127.22	50.55	24.59	1510.43
PUNTA DE AGUA	29.92	34.88	60.68	93.53	158.04	244.91	274.51	245.20	210.25	132.05	55.71	28.63	1568.31
LA MISA	30.34	34.76	56.58	98.66	161.53	227.55	245.27	237.83	199.35	132.27	49.45	28.77	1502.35
EMPALME (OBSERV.)	33.32	38.37	61.15	101.22	155.35	222.84	272.14	258.04	217.37	135.18	60.03	33.28	1588.30
GUAYMAS	35.38	45.48	66.46	92.27	145.59	205.82	262.14	256.42	201.64	144.55	66.45	40.74	1562.96
PROM	30.428	34.763	56.317	86.921	143.82	212.67	238.45	216.69	180.84	116.23	52.728	29.89	1399.768

### 3.4.2. MÉTODO DE TURC (ETR)

Turc desarrolló esta fórmula en Europa, basada en estudios estadísticos de 254 cuencas alrededor del mundo, relacionando evaporación, precipitación y temperatura.

La fórmula considera la precipitación y la temperatura medias anuales de una zona. Este método es muy usado debido a su fácil aplicación y a que utiliza sólo dos parámetros, con los que generalmente se cuenta, para calcular la evapotranspiración anual real:

$$E_{Treal} = P / (0.9 + (P/I_T)^2)^{1/2}$$

$$I_T = 300 + 25T + 0.05T^2$$

Donde:

$E_{Treal}$  = Evapotranspiración Anual Real (mm)

P = Precipitación

T = Temperatura

$I_T$  = Índice de Temperatura

Para la cuenca en estudio, se conocían la precipitación y la temperatura medias anuales, con ellas se calculó la evapotranspiración anual real de cada estación con el Método de Turc. Restando la evapotranspiración de la precipitación se obtuvo la precipitación efectiva (Tabla 21).

Una vez calculada la **evapotranspiración anual real de cada estación**, se usaron los Polígonos de Thiessen que ya se habían trazado para calcular la precipitación media anual de la cuenca (Figura 77), y se obtuvo la **evapotranspiración media anual por subcuencas** (Tabla 22).

**Tabla 21.- Evapotranspiración anua real por estaciones**

N°	ESTACION	P=PRECIPITACION ANUAL MEDIA (mm)	T=TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE (°C)	$I_T=300+25T+0.05T^2$	$E_{Treal}$ (mm)	PRECIPITACION EFECTIVA (mm)
1	GUAYMAS	247.13	24.69	947.73	251.18	-4.05
2	EMPALME (OBSERVATORIO)	283.98	24.58	944.71	285.36	-1.38
3	FRANCISCO MÁRQUEZ	363.06	23.54	916.21	353.13	9.93
4	VICAM	346.27	23.69	920.31	339.29	6.98
5	LA MISA	377.29	23.97	927.98	365.54	11.75
6	ESTACION TORRES	365.94	23.54	916.21	355.51	10.43
7	SUAQUI GRANDE	407.04	22.92	899.27	387.24	19.80
8	PUNTA DE AGUA	449.82	23.81	923.60	421.81	28.01
9	SAN JOSÉ DE PIMAS	465.12	22.97	900.63	430.61	34.51
10	MAZATÁN OFICINA	502.70	21.64	864.41	451.77	50.93
11	TECORIPA	575.07	21.60	863.33	496.10	78.97
12	MÁTAPE	626.63	21.71	866.32	525.26	101.37
	<b>TOTAL</b>	<b>5,010.05</b>			<b>4,662.81</b>	<b>347.24</b>

Tabla 22.- Evapotranspiración real media anual por subcuenca

EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (B1) RIO MATAPE			
ESTACION	Et=EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Et*A
MAZATAN	451.77	671.03	303,146.82
MATAPE	525.26	453.13	238,015.45
<b>TOTALES</b>		1,124.16	541,162.28
<b>Et=541,162.28/1,124.16</b>			<b>481.39</b>

EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (D) GUAYMAS			
ESTACION	Et=EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Et*A
LA MISA	365.54	64.93	23,733.57
FRANCISCO	353.13	279.59	98,732.62
MARQUEZ			
EMPALME	285.36	316.17	90,222.22
<b>TOTALES</b>		660.69	212,688.40
<b>Et=212,688.40/660.69</b>			<b>321.92</b>

EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA			
ESTACION	Et=EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Et*A
SAN JOSE DE PIMAS	430.61	1,138.36	490,187.62
TECORIPA	496.10	264.15	131,047.20
SUAQUI GRANDE	387.24	129.77	50,254.01
PUNTA DE AGUA	421.81	462.97	195,287.22
<b>TOTALES</b>		1,995.26	866,776.05
<b>Et=866,776.05/1,995.26</b>			<b>434.42</b>

EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (E) ARROYO CHICUROSO			
ESTACION	Et=EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Et*A
PUNTA DE AGUA	421.81	83.06	35,036.58
LA MISA	365.54	121.32	44,347.44
FRANCISCO	353.13	277.09	97,850.52
MARQUEZ			
EMPALME	285.36	63.50	18,119.32
<b>TOTALES</b>		544.97	195,353.85
<b>Et=195,353.85/544.97</b>			<b>358.47</b>

EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (A) RIO MATAPE EMPALME			
ESTACION	Et=EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Et*A
SAN JOSE DE PIMAS	430.61	226.01	97,322.19
PUNTA DE AGUA	421.81	238.33	100,531.97
ESTACION TORRES	355.51	656.60	233,427.97
LA MISA	365.54	1,072.32	391,977.93
FRANCISCO MARQUEZ	353.13	601.92	212,557.61
EMPALME	285.36	91.71	26,170.09
<b>TOTALES</b>		2,886.89	1,061,987.76
<b>Et=1,061,987.76/2,886.89</b>			<b>367.87</b>

EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (F) ARROYO TETABIATE			
ESTACION	Et=EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Et*A
FRANCISCO	353.13	375.81	132,709.21
MARQUEZ			
EMPALME	285.36	52.65	15,023.63
VICAM	339.29	155.87	52,886.42
<b>TOTALES</b>		584.33	200,619.25
<b>Et=200,619.25/584.33</b>			<b>343.33</b>

EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (C) SAN JOSE DE GUAYMAS			
ESTACION	Et=EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Et*A
FRANCISCO	353.13	162.52	57,389.18
MARQUEZ			
EMPALME	285.36	129.62	36,989.70
GUAYMAS	251.18	942.32	236,695.19
<b>TOTALES</b>		1,234.46	331,074.07
<b>Et=331,074.07/1,234.46</b>			<b>268.19</b>

De esta forma la mayor lamina evapotranspirada se da en las subcuencas de mayor altitud, menor temperatura y por lo tanto mayor precipitación, las subcuencas de las zonas bajas tienen mayor potencial evaporante, pero no tienen la materia prima que es el agua, es por esto que su lamina de evaporación es menor. (Tabla 22).

### 3.4.3. MÉTODO DE COUTAGNE (ETR)

A semejanza del método propuesto por Turc, este autor utiliza también la precipitación y la temperatura medias anuales de una zona, para obtener la evapotranspiración real. Se debe tener el cuidado de transformar la precipitación en metros/año y que dicho parámetro, se halle entre  $1/8X$  y  $1/2X$ .

**Fórmula de COUTAGNE:**

$$ETR = P - \chi P^2$$

Donde:

ETR = evapotranspiración real en metros/año

P = Precipitación en metros/año (Atención: **unidades : metros/año!**)

$$\chi = \frac{1}{0,8 + 0,14 t}$$

t = temperatura media anual en °C

La fórmula solo es válida para valores de P (en metros/año) comprendidos entre  $1/8\chi$  y  $1/2\chi$

La aplicación del Método de Coutagne al área de estudio se muestra en la Tabla 23, donde se pueden ver los valores de la evapotranspiración real por subcuencas.

En la Tabla 23 se observa que no todos los valores de precipitación anual media (en metros/año) son válidos para aplicar la fórmula de Coutagne, ya que no se hallan comprendidos entre  $1/8 X$  y  $1/2 X$ , por lo que se decidió no utilizar este método en el presente estudio.

**Tabla 23.- Cálculo de la evapotranspiración real por medio de Coutagne**

N°	ESTACION	P=PRECIPITACION ANUAL MEDIA (mm)	P=PRECIPITACION ANUAL MEDIA (m)	T=TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE (°C)	X=1/(0.8+0.14T)	E <sub>treal</sub> (mm)	1/8X	1/2X
1	GUAYMAS	247,13	0,2471	24,69	0,2349	232,78	0,53	2,13
2	EMPALME (OBSERVATORIO)	273,93	0,2739	24,44	0,2369	256,16	0,53	2,11
3	FRANCISCO MÁRQUEZ	363,06	0,3631	23,54	0,2442	330,88	0,51	2,05
4	VICAM	346,27	0,3463	23,69	0,2429	317,14	0,51	2,06
5	LA MISA	377,29	0,3773	23,97	0,2406	343,04	0,52	2,08
6	ESTACION TORRES	365,94	0,3659	23,54	0,2442	333,24	0,51	2,05
7	SUAQUI GRANDE	407,04	0,4070	22,92	0,2495	365,71	0,50	2,00
8	PUNTA DE AGUA	449,82	0,4498	23,81	0,2419	400,87	0,52	2,07
9	SAN JOSÉ DE PIMAS	465,12	0,4651	22,97	0,2490	411,25	0,50	2,01
10	MAZATÁN OFICINA	502,70	0,5027	21,64	0,2611	436,71	0,48	1,91
11	TECORIPA	575,07	0,5751	21,60	0,2615	488,59	0,48	1,91
12	MÁTAPE	626,63	0,6266	21,71	0,2605	524,36	0,48	1,92

### 3.5. PRECIPITACION EFECTIVA

Una vez obtenidas las láminas de precipitación y evapotranspiración medias anuales, se procedió a calcular la lámina de precipitación efectiva, restando la lámina evapotranspirada a la lámina precipitada.

Multiplicando los valores de longitud por el área de cada subcuenca, se obtuvieron los volúmenes de cada parámetro hidrológico superficial (Tabla 24).

**Tabla 24.- Volúmenes de precipitación, evapotranspiración y precipitación efectiva de las subcuencas del Río Mátape**

ACUÍFERO	SUBCUENCA	AREA (KM <sup>2</sup> )	P=PRECIP. MEDIA ANUAL (mm)	T=TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	E <sub>etreal</sub> Turc (mm)	(P) <sub>efectiva</sub> =P-E <sub>etreal</sub> (mm)	VOLUMEN LLUVIA (HM <sup>3</sup> )	VOL. EVAPORADO (HM <sup>3</sup> )	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM <sup>3</sup> )
RIO MATAPE	(B1) RIO MATAPE	1,124.16	554.28	21.67	481.39	72.89	623.10	541.16	81.94
VALLE DE GUAYMAS	(B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA	1,995.26	471.96	22.98	434.42	37.54	941.68	866.78	74.90
	(A) RIO MATAPE EMPALME	2,886.89	373.18	23.71	367.87	5.31	1,077.31	1,061.99	15.33
	(D) GUAYMAS	660.69	327.80	24.08	321.92	5.88	216.57	212.69	3.89
	(E) ARROYO CHICUROSO	544.97	371.96	23.80	358.47	13.49	202.71	195.35	7.35
	(F) ARROYO TETABIATE	584.33	353.50	23.67	343.33	10.17	206.56	200.62	5.94
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	(C) SAN JOSE DE GUAYMAS	1,234.46	269.52	24.53	268.19	1.33	332.71	331.07	1.64
<b>TOTALES CUENCA</b>		<b>9,030.76</b>					<b>3,600.65</b>	<b>3,409.66</b>	<b>190.98</b>

Como se observa en la Tabla 24, se calcularon en total 3,600.65 Mm<sup>3</sup>/año de volumen precipitado, 3,409.66 Mm<sup>3</sup>/año de volumen evaporado, quedando 190.98 Mm<sup>3</sup>/año de volumen de precipitación efectiva.

### 3.6. ESCURRIMIENTO MEDIO

El escurrimiento es la parte de la precipitación drenada por las corrientes de las cuencas hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes proviene de diversas fuentes y, en base a ella se considera el escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo.

El superficial es el que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo y una red drenada hasta salir de la cuenca. El escurrimiento total es directo y sólo existirá durante una tormenta e inmediatamente después de que ésta cese. El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo, que se mueve lateralmente sobre el horizonte superior del mismo.

El escurrimiento subterráneo es recargado por el agua de la precipitación que se infiltra a través del suelo una vez que se ha saturado. La contribución del escurrimiento subterráneo al total varía muy lentamente con respecto al superficial.

Para analizar el escurrimiento total, se deben considerar los escurrimientos directo y base.

Los factores que influyen en el escurrimiento superficial pueden ser de naturaleza climática (relacionados con la precipitación, temperatura, etc.), fisiográfica (ligados a las características físicas de la cuenca) y humana (relacionados con la intervención humana).

- Factores climáticos

1. Intensidad de la precipitación.- Entre mayor sea la intensidad de la precipitación, más rápido el suelo colma su capacidad de infiltración y se provoca un exceso de precipitación que escurrirá superficialmente
2. Duración de la precipitación.- Es directamente proporcional al escurrimiento superficial: para lluvias de intensidad constante habrá mayor oportunidad de escurrimiento superficial cuanto mayor haya sido su duración
3. Precipitación antecedente.- Una precipitación que ocurre cuando el suelo está húmedo debido a una lluvia anterior, tendrá más facilidad de convertirse en escurrimiento superficial.

- Factores fisiográficos

1. Área.- La extensión del área está directamente relacionada con la mayor o menor cantidad de agua de escurrimiento superficial que la cuenca pueda generar
2. Permeabilidad.- Influye directamente en la capacidad de infiltración. Cuanto más permeable sea el suelo, mayor será la cantidad de agua que pueda absorber, disminuyendo así la ocurrencia de exceso de precipitación.

- Factores humanos

1. Obras hidráulicas construidas en la cuenca.- Es el caso de presas, que al acumular el agua en un embalse reduce los caudales máximos del escurrimiento superficial y retarda su propagación (Monsalve, 1999).

Para el cálculo de los escurrimientos superficiales en la zona de estudio, se utilizaron los coeficientes de escurrimiento publicados en las Cartas de Hidrología Superficial Escala 1:250,000 del INEGI, específicamente la carta H1211 (Guaymas).

Se digitalizó el mapa de coeficientes de escurrimiento de la Cuenca del Río Mátape y se dividió en sus subcuencas respectivas (Figura 79), para medir sus áreas de acuerdo a los rangos de escurrimiento presentes.

Posteriormente se calculó el volumen medio anual de escurrimiento natural, según el Apéndice Normativo "A" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000.

La Norma incluye métodos directos (aforo de corrientes en estaciones hidrométricas o directamente en el cauce), y métodos indirectos (metodología de INEGI). En el presente trabajo se utilizó un método indirecto.

### **Métodos Indirectos**

En caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información de registros hidrométricos o ésta sea escasa, para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural se aplica el método indirecto denominado: **Precipitación-escurrimiento** usando la expresión:

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA} = \frac{\text{PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA CUENCA}}{\text{ÁREA DE LA CUENCA}} * \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO}$$

#### **Precipitación anual en la cuenca**

Si en la cuenca en estudio se cuenta con suficiente información pluviométrica de cuando menos 20 años, la precipitación anual se determina a partir del análisis de los registros de las estaciones ubicadas dentro y vecinas a la cuenca, mediante el método de Polígonos de Thiessen o Isoyetas.

#### **Coefficiente de escurrimiento**

El coeficiente de escurrimiento se determina a partir del tipo y uso de suelo y del volumen de precipitación anual, de la cuenca en estudio.

A falta de información específica, con apoyo en los servicios del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, en tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), al tomar en cuenta el uso actual del suelo, se obtiene el valor del parámetro K (Tabla 25).

**Tabla 25.- VALORES DE K, EN FUNCIÓN DEL TIPO Y USO DE SUELO**

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

USO DEL SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
Cultivos:			
En Hileras	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,27	0,30
Granos pequeños	0,24	0,27	0,30
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% - Poco -			
Del 50 al 75% - Regular -	0,14	0,20	0,28
Menos del 50% - Excesivo -	0,20	0,24	0,30
	0,24	0,28	0,30
Bosque:			
Cubierto más del 75%			
Cubierto del 50 al 75%	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 25 al 50%	0,12	0,22	0,26
Cubierto menos del 25%	0,17	0,26	0,28
	0,22	0,28	0,30
Zonas urbanas			
	0,26	0,29	0,32
Caminos			
	0,27	0,30	0,33
Pradera permanente			
	0,18	0,24	0,30

Si en la cuenca en estudio, existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas.

Una vez obtenido el valor de K, el coeficiente de escurrimiento anual ( $C_e$ ), se calcula mediante las fórmulas siguientes:

K: PARÁMETRO QUE DEPENDE DEL TIPO Y USO DE SUELO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ANUAL ( $C_e$ )
Si K resulta menor o igual que 0,15	$C_e = K (P-250) / 2000$
Si K es mayor que 0,15	$C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0,15) / 1,5$

P= Precipitación anual, en mm.

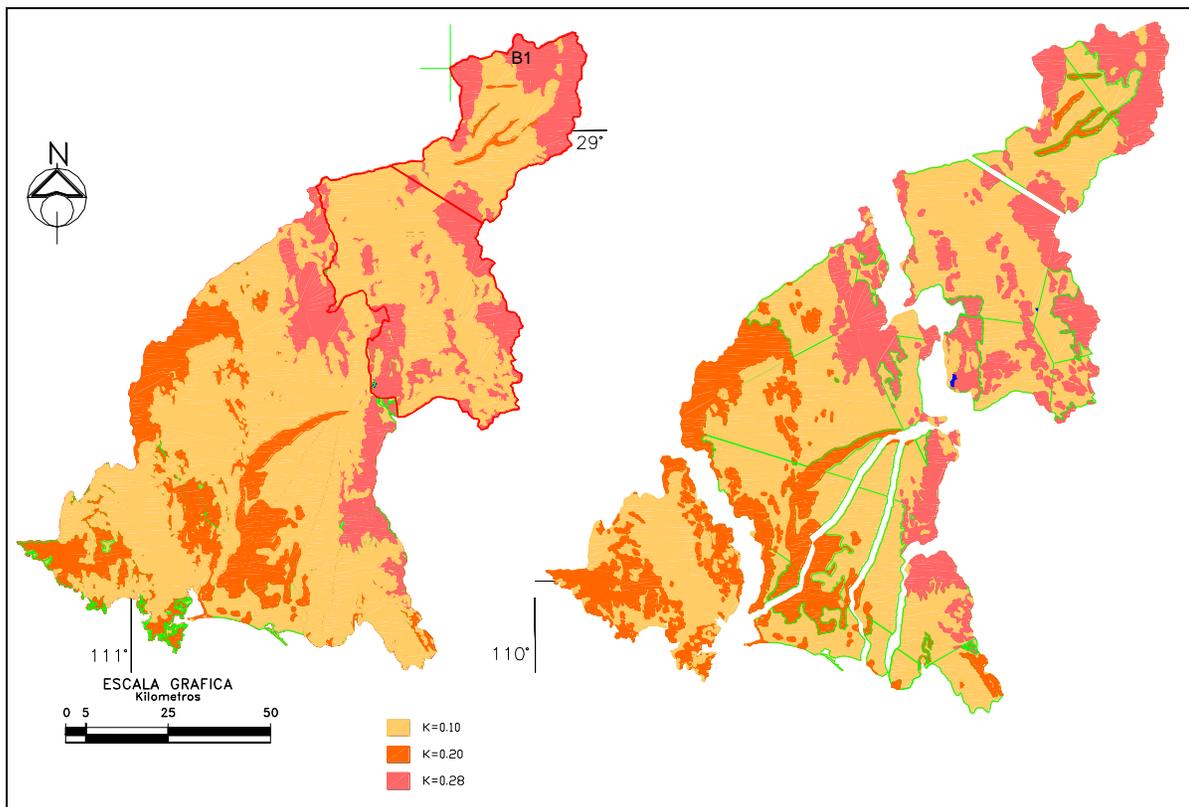
Rango de validez.- Las fórmulas se considerarán válidas para valores de precipitación anual entre 350 y 2150 mm.

La evapotranspiración está incluida en el coeficiente de escurrimiento.

Se identificaron 3 rangos de K (Figura 80) para la cuenca en estudio: considerando más del 75% de pastizal, se obtuvo  $K_1=0.14$  para los valles,  $K_2=0.20$  en la zona de cerros pequeños y  $K_3=0.28$  en las pendientes montañosas y suelos casi impermeables (Tabla 25).

El promedio ponderado es el cociente entre la sumatoria de multiplicar cada valor de K por su área de influencia, y el área total de la cuenca. Esto se hizo para cada subcuenca (Figura 80).

**Figura 80.- Subcuencas y áreas de escurrimiento del Río Mátape**



Para calcular el coeficiente de escurrimiento de cada subcuenca, se necesita conocer la precipitación media en cada una de ellas. Para esto, se consultaron las precipitaciones totales anuales por estación de la Cuenca del Río Mátape (Tabla 26).

Posteriormente, se calculó la precipitación media anual de 1982 a 2005 para la Subcuenca (B1) Río Mátape (Tabla 27), la cual coincide con la calculada por el método de los polígonos.

**Tabla 26.- Precipitaciones totales anuales por estación en la Cuenca del Río Mátape (mm)**

AÑO	MATAPE	MAZATAN	S.J. PIMAS	SUAQUI GDE	PTA. AGUA	TECORIPA	F. MARQUEZ	LA MISA	EST. TORRES	GUAYMAS	EMPALME	VICAM
1982	435.25	422.20	515.00	402.60	382.90	647.50	565.00	356.40	427.50	132.00	410.50	295.90
1983	720.63	524.00	600.50	512.40	452.00	599.60	542.90	433.50	443.20	224.50	329.70	366.50
1984	794.79	644.60	421.00	593.20	556.40	719.50	550.00	541.60	436.10	69.00	424.70	488.30
1985	719.89	527.80	493.10	478.10	451.10	579.40	294.60	381.60	417.20	291.30	178.40	202.30
1986	831.65	540.00	403.00	463.10	407.60	631.00	466.50	412.00	406.50	124.00	183.70	351.80
1987	361.78	526.80	165.90	440.30	240.00	262.10	138.20	347.40	154.50	150.20	88.80	142.20
1988	805.07	542.10	621.60	395.00	408.00	820.60	248.40	372.60	400.80	214.30	137.40	361.50
1989	526.71	600.20	406.10	589.00	375.85	366.10	105.20	325.70	391.50	267.31	98.50	364.10
1990	1,171.31	791.50	483.00	478.50	585.20	566.90	611.50	348.30	587.00	163.60	478.80	578.20
1991	1,064.66	409.30	582.40	467.00	544.61	564.00	455.50	483.00	483.00	229.80	281.60	250.70
1992	1,098.85	524.90	722.90	494.00	631.90	558.70	510.50	451.90	489.00	107.80	482.50	419.30
1993	695.89	525.40	419.20	336.00	428.70	513.10	416.50	438.50	330.50	138.50	336.30	410.10
1994	296.81	634.00	455.00	428.00	472.10	539.40	414.50	472.00	498.00	297.00	380.40	469.30
1995	439.45	516.70	373.30	380.00	447.80	512.70	335.40	328.00	386.50	414.50	382.10	226.80
1996	491.72	446.90	352.00	123.50	390.40	692.50	186.20	323.70	238.00	515.20	191.90	332.30
1997	509.20	427.80	480.30	81.00	451.50	593.10	357.50	357.00	212.00	516.10	200.40	461.60
1998	461.09	400.80	425.00	334.90	348.40	566.10	158.50	369.00	193.30	194.30	356.30	248.80
1999	431.65	410.00	424.50	353.00	404.70	575.60	288.00	379.00	300.00	399.00	174.50	304.10
2000	683.69	625.20	433.00	432.20	470.40	607.10	345.00	351.30	317.20		155.60	310.20
2001	463.30	227.05	648.90	456.60	604.60	592.90	474.00	407.20	397.40		283.20	381.90
2002	401.60	423.50	244.40	339.90	474.60	502.50	182.40	261.50	250.80		243.00	236.60
2003	476.50	397.50	391.50	408.40	472.10	453.60	303.50	291.80	361.20		411.80	397.40
2004	543.70	447.50	794.90	385.10	524.40	760.70	470.60	346.70	348.04		486.80	501.30
2005	614.00	529.00	306.40	397.20	270.30	576.90	293.00	246.00	313.30		118.60	209.30

**Tabla 27.- Cálculo de precipitación media anual para la Subcuenca (B1) Río Mátape (mm)**

AREA	453.13	671.03											1,124.16
% AREA	40.31%	59.69%											100.00%
AÑO	MATAPE	MAZATAN	S.J. PIMAS	JAQUI GD	PTA. AGUA	TECORIPA	F. MARQUEZ	LA MISA	EST. TORRES	GUAYMAS	EMPALME	VICAM	PRECIP ANUAL SUBCUENCA
1982	175.44	252.02											427.46
1983	290.47	312.78											603.26
1984	320.37	384.77											705.14
1985	290.18	315.05											605.23
1986	335.22	322.34											657.56
1987	145.83	314.46											460.28
1988	324.51	323.59											648.10
1989	212.31	358.27											570.58
1990	472.14	472.46											944.60
1991	429.15	244.32											673.46
1992	442.93	313.32											756.25
1993	280.50	313.62											594.12
1994	119.64	378.45											498.08
1995	177.13	308.43											485.56
1996	198.20	266.76											464.97
1997	205.25	255.36											460.61
1998	185.86	239.24											425.10
1999	173.99	244.74											418.73
2000	275.58	373.19											648.78
2001	186.75	135.53											322.28
2002	161.88	252.79											414.67
2003	192.07	237.27											429.34
2004	219.16	267.12											486.28
2005	247.49	315.77											563.26
PROM	252.59	300.07											552.65

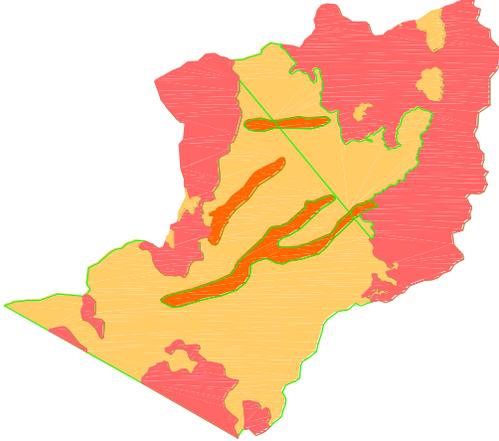
Utilizando el porcentaje de área de influencia, de acuerdo a los Polígonos de Thiessen, y multiplicándola por la precipitación de cada año, se obtiene la proporción de lluvia para cada estación, sumándolas da la precipitación total anual para la Subcuenca (B1) Río Mátape, sumándolas y dividiéndolas entre el numero de años obtenemos la lámina de escurrimiento para dicha subcuenca, que fue de **552.65 mm/año** (Tabla 28).

**Tabla 28.- Cálculo de coeficientes de escurrimiento y escurrimiento medio anual para la subcuenca (B1) Río Mátape (mm)**

K=	0.18		A1=	586.41
			A2=	62.29
			A3=	475.46
			At=	<b>1,124.16</b>
$Ce = K (P-250) / 2000 + (K - 0,15) / 1,5$			K1=	0.10
			K2=	0.20
			K3=	0.28
			Kp=	$(K1A1+K2A2+K3A3)/At$
			Kp=	0.18

AÑO	P(mm)	Ce (anual)	VOL. ESC
1982	427.46	0.04	17.89
1983	603.26	0.05	36.08
1984	705.14	0.06	49.51
1985	605.23	0.05	36.32
1986	657.56	0.06	42.97
1987	460.28	0.04	20.81
1988	648.10	0.06	41.73
1989	570.58	0.05	32.22
1990	944.60	0.08	89.42
1991	673.46	0.06	45.11
1992	756.25	0.07	57.05
1993	594.12	0.05	34.98
1994	498.08	0.04	24.44
1995	485.56	0.04	23.21
1996	464.97	0.04	21.24
1997	460.61	0.04	20.84
1998	425.10	0.04	17.69
1999	418.73	0.04	17.15
2000	648.78	0.06	41.82
2001	322.28	0.03	10.03
2002	414.67	0.04	16.82
2003	429.34	0.04	18.05
2004	486.28	0.04	23.27
2005	563.26	0.05	31.39
PROM	552.65	0.05	32.08

Si sabemos que las entradas medias a la Presa Punta de Agua son del orden de 41.35 Mm<sup>3</sup>/año (Tabla 37) y estimamos una retención superficial de 5 Mm<sup>3</sup>/año en la subcuenca (B1) Río Mátape por la Presa la Haciendita y repesos. Tomando en cuenta también 4 Mm<sup>3</sup>/año en la subcuenca (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua, varios repesos contabilizados aguas arriba de la Presa Punta de Agua (Figura 81), sumado da el escurrimiento medio natural para la subcuenca (B)=(B1+B2), resultando en 50.35 Mm<sup>3</sup>/año.

La restricción es  $Ev=Ep+Rs$ ;  $Ev=41.35+9=50.35$  Mm<sup>3</sup>/año

Donde:

$Ev$ =Esgurrimento Virgen hasta la Presa Punta de Agua

$Ep$ =Entradas a la Presa Punta de Agua

$Rs$ =Retención Superficial Aguas Arriba

Por este motivo se ajustó la K1 a 0.10 con lo que nos da un resultado de 32.08 Mm<sup>3</sup>/año para subcuenca (B1) Río Mátape y 18.09 Mm<sup>3</sup>/año para la subcuenca (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua (Tabla 29), para un total de 50.17 Mm<sup>3</sup>/año que son aproximadamente igual a los 50.35 Mm<sup>3</sup>/año calculados.

**Tabla 29.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Mm<sup>3</sup>) para la subcuenca (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua**

AREA			1,138.36	129.77	462.97	264.15								1,995.25
% AREA			57.05%	6.50%	23.20%	13.24%								100.00%
AÑO	MATAPE	MAZATAN	S.J. PIMAS	SUAQUI GDE	PTA. AGUA	TECORIPA	F. MARQUEZ	LA MISA	EST. TORRES	GUAYMAS	EMPALME	VICAM		PRECIP ANUAL SUBCUENCA
1982			293.83	26.18	88.85	85.72								494.58
1983			342.61	33.33	104.88	79.38								560.19
1984			240.20	38.58	129.10	95.25								503.14
1985			281.33	31.10	104.67	76.71								493.80
1986			229.93	30.12	94.58	83.54								438.16
1987			94.65	28.64	55.69	34.70								213.68
1988			354.64	25.69	94.67	108.64								583.64
1989			231.69	38.31	87.21	48.47								405.68
1990			275.57	31.12	135.79	75.05								517.53
1991			332.28	30.37	126.37	74.67								563.69
1992			412.44	32.13	146.62	73.97								665.16
1993			239.17	21.85	99.47	67.93								428.42
1994			259.59	27.84	109.54	71.41								468.39
1995			212.98	24.71	103.91	67.88								409.48
1996			200.83	8.03	90.59	91.68								391.13
1997			274.03	5.27	104.76	78.52								462.58
1998			242.48	21.78	80.84	74.95								420.05
1999			242.19	22.96	93.91	76.20								435.26
2000			247.04	28.11	109.15	80.37								464.68
2001			370.22	29.70	140.29	78.49								618.70
2002			139.44	22.11	110.12	66.53								338.20
2003			223.36	26.56	109.54	60.05								419.52
2004			453.52	25.05	121.68	100.71								700.95
2005			174.81	25.83	62.72	76.38								339.74
PROM			265.37	26.47	104.37	76.13								472.35

K= 0.16

$$C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$$



A1= 1,380.09  
 A2= 0.00  
 A3= 615.17  
**At= 1,995.26**



K1= 0.10  
 K2= 0.20  
 K3= 0.28  
 Kp= (K1A1+K2A2+K3A3)/At  
 Kp= 0.16

AÑO	P(mm)	Ce (anual)	VOL. ESC
1982	494.58	0.02	18.76
1983	560.19	0.02	26.96
1984	503.14	0.02	19.76
1985	493.80	0.02	18.68
1986	438.16	0.01	12.79
1987	213.68	0.00	0.00
1988	583.64	0.03	30.21
1989	405.68	0.01	9.80
1990	517.53	0.02	21.48
1991	563.69	0.02	27.43
1992	665.16	0.03	42.84
1993	428.42	0.01	11.86
1994	468.39	0.02	15.87
1995	409.48	0.01	10.13
1996	391.13	0.01	8.56
1997	462.58	0.02	15.25
1998	420.05	0.01	11.08
1999	435.26	0.01	12.51
2000	464.68	0.02	15.47
2001	618.70	0.03	35.39
2002	338.20	0.01	4.63
2003	419.52	0.01	11.03
2004	700.95	0.04	49.04
2005	339.74	0.01	4.73
PROM	472.35	0.02	18.09

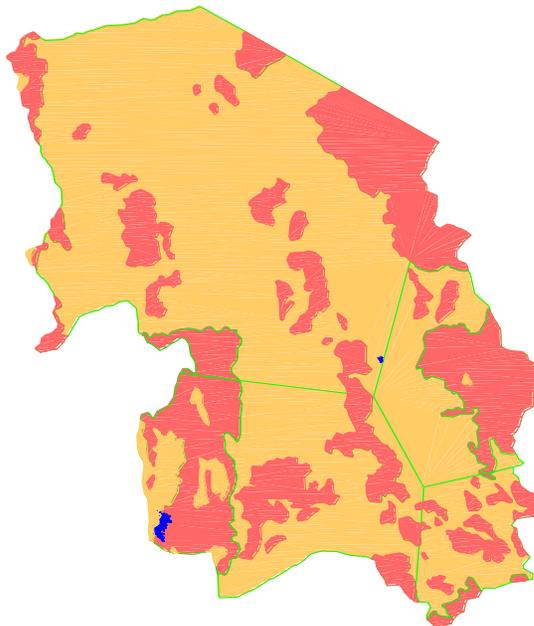


Tabla 30.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Mm³) para la subcuenca (A) Río Mátape-Empalme

AREA	226.01			238.33			601.92		1,072.32		656.60		91.71		2,886.89
% AREA	7.83%			8.26%			20.85%		37.14%		22.74%		3.18%		100.00%
AÑO	MATAPE	MAZATAN	S.J. PIMAS	SUAQUI GDE	PTA. AGUA	TECORIPA	F. MARQUEZ	LA MISA	EST. TORRES	GUAYMAS	EMPALME	VICAM	PRECIP ANUAL SUBCUENCA		
1982			40.32		31.61		117.80	132.38	97.23		13.04		432.39		
1983			47.01		37.32		113.20	161.02	100.80		10.47		469.82		
1984			32.96		45.93		114.68	201.17	99.19		13.49		507.42		
1985			38.60		37.24		61.42	141.74	94.89		5.67		379.57		
1986			31.55		33.65		97.27	153.03	92.45		5.84		413.79		
1987			12.99		19.81		28.82	129.04	35.14		2.82		228.62		
1988			48.66		33.68		51.79	138.40	91.16		4.36		368.06		
1989			31.79		31.03		21.93	120.98	89.04		3.13		297.91		
1990			37.81		48.31		127.50	129.37	133.51		15.21		491.72		
1991			45.60		44.96		94.97	179.41	109.85		8.95		483.74		
1992			56.59		52.17		106.44	167.86	111.22		15.33		509.60		
1993			32.82		35.39		86.84	162.88	75.17		10.68		403.78		
1994			35.62		38.98		86.42	175.32	113.27		12.08		461.69		
1995			29.23		36.97		69.93	121.83	87.91		12.14		358.00		
1996			27.56		32.23		38.82	120.24	54.13		6.10		279.07		
1997			37.60		37.27		74.54	132.61	48.22		6.37		336.61		
1998			33.27		28.76		33.05	137.06	43.96		11.32		287.43		
1999			33.23		33.41		60.05	140.78	68.23		5.54		341.25		
2000			33.90		38.83		71.93	130.49	72.14		4.94		352.24		
2001			50.80		49.91		98.83	151.25	90.39		9.00		450.18		
2002			19.13		39.18		38.03	97.13	57.04		7.72		258.24		
2003			30.65		38.98		63.28	108.39	82.15		13.08		336.53		
2004			62.23		43.29		98.12	128.78	79.16		15.46		427.05		
2005			23.99		22.32		61.09	91.38	71.26		3.77		273.79		
PROM			36.41		37.14		75.70	139.69	83.23		9.02		381.19		

K= 0.15

Ce = K (P-250) / 2000



A1= 1,764.05  
 A2= 729.89  
 A3= 392.95  
**At= 2,886.89**

AÑO	P(mm)	Ce (anual)	VOL. ESC
1982	432.39	0.01	17.05
1983	469.82	0.02	22.33
1984	507.42	0.02	28.24
1985	379.57	0.01	10.63
1986	413.79	0.01	14.65
1987	228.62	0.00	0.00
1988	368.06	0.01	9.40
1989	297.91	0.00	3.09
1990	491.72	0.02	25.70
1991	483.74	0.02	24.45
1992	509.60	0.02	28.60
1993	403.78	0.01	13.43
1994	461.69	0.02	21.13
1995	358.00	0.01	8.36
1996	279.07	0.00	1.75
1997	336.61	0.01	6.30
1998	287.43	0.00	2.33
1999	341.25	0.01	6.73
2000	352.24	0.01	7.79
2001	450.18	0.01	19.48
2002	258.24	0.00	0.46
2003	336.53	0.01	6.30
2004	427.05	0.01	16.35
2005	273.79	0.00	1.41
PROM	381.19	0.01	12.33



K1= 0.10  
 K2= 0.20  
 K3= 0.28  
 Kp= (K1A1+K2A2+K3A3)/At  
 Kp= 0.15

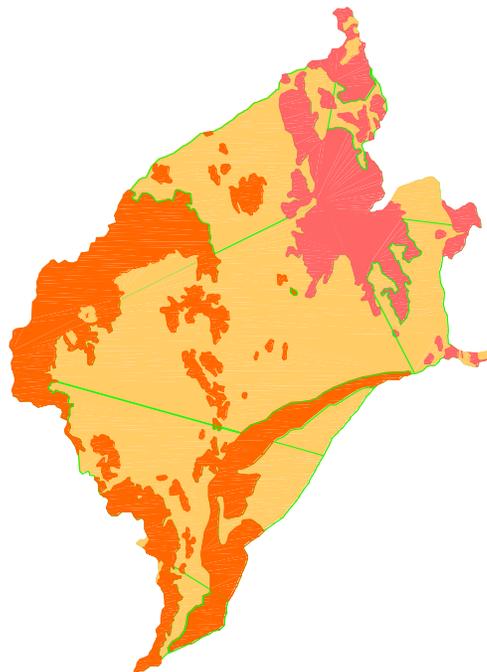


Tabla 31.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Mm³) para la subcuenca (D) Guaymas

AREA							279.59	64.93			316.17		
% AREA							42.32%	9.83%			47.85%		
AÑO	MATAPE	MAZATAN	S.J. PIMAS	SUAQUI GDE	PTA. AGUA	TECORIPA	F. MARQUEZ	LA MISA	EST. TORRES	GUAYMAS	EMPALME	VICAM	PRECIP ANUAL SUBCUENCA
1982							239.10	35.03			196.44		470.56
1983							229.74	42.60			157.78		430.12
1984							232.75	53.23			203.24		489.21
1985							124.67	37.50			85.37		247.54
1986							197.41	40.49			87.91		325.81
1987							58.48	34.14			42.49		135.12
1988							105.12	36.62			65.75		207.49
1989							44.52	32.01			47.14		123.66
1990							258.78	34.23			229.13		522.13
1991							192.76	47.47			134.76		374.98
1992							216.03	44.41			230.90		491.34
1993							176.25	43.09			160.93		380.28
1994							175.41	46.39			182.04		403.83
1995							141.93	32.23			182.85		357.02
1996							78.80	31.81			91.83		202.44
1997							151.29	35.08			95.90		282.27
1998							67.07	36.26			170.51		273.84
1999							121.88	37.25			83.51		242.63
2000							146.00	34.52			74.46		254.98
2001							200.59	40.02			135.52		376.13
2002							77.19	25.70			116.29		219.17
2003							128.44	28.68			197.06		354.18
2004							199.15	34.07			232.95		466.18
2005							123.99	24.18			56.76		204.92
PROM							153.64	36.96			135.90		326.49

K= 0.13

Ce = K (P-250) / 2000

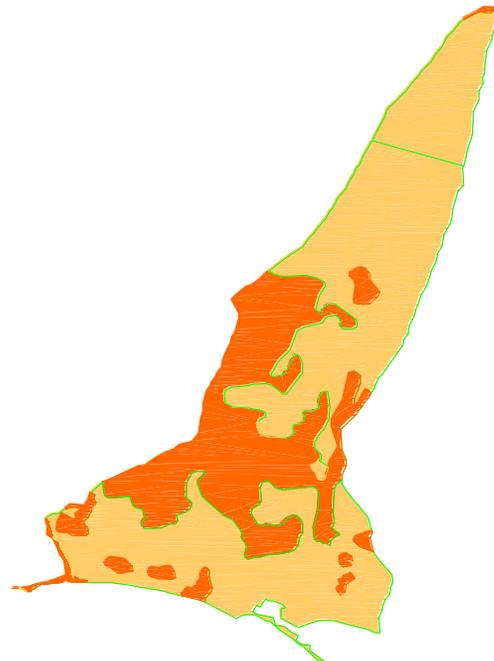


A1= 450.14  
 A2= 210.55  
 A3= 0.00  
**At= 660.69**

ANO	P(mm)	Ce (anual)	VOL. ESC
1982	470.56	0.01	4.52
1983	430.12	0.01	3.37
1984	489.21	0.02	5.10
1985	247.54	0.00	0.00
1986	325.81	0.00	1.08
1987	135.12	-0.01	0.00
1988	207.49	0.00	0.00
1989	123.66	-0.01	0.00
1990	522.13	0.02	6.19
1991	374.98	0.01	2.04
1992	491.34	0.02	5.17
1993	380.28	0.01	2.16
1994	403.83	0.01	2.71
1995	357.02	0.01	1.66
1996	202.44	0.00	0.00
1997	282.27	0.00	0.40
1998	273.84	0.00	0.28
1999	242.63	0.00	0.00
2000	254.98	0.00	0.06
2001	376.13	0.01	2.07
2002	219.17	0.00	0.00
2003	354.18	0.01	1.61
2004	466.18	0.01	4.39
2005	204.92	0.00	0.00
PROM	326.49	0.01	1.78



K1= 0.10  
 K2= 0.20  
 K3= 0.28  
 Kp= (K1A1+K2A2+K3A3)/At  
 Kp= 0.13



**Tabla 32.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Mm³) para la subcuenca (E) Arroyo Chicuroso**

AREA					83.06		277.09	121.32			63.50		544.97
% AREA					15.24%		50.85%	22.26%			11.65%		100.00%
AÑO	MATAPE	MAZATAN	S.J. PIMAS	SUAQUI GDE	PTA. AGUA	TECORIPA	F. MARQUEZ	LA MISA	EST. TORRES	GUAYMAS	EMPALME	VICAM	PRECIP ANUAL SUBCUENCA
1982					58.36		287.28	79.34			47.83		472.81
1983					68.89		276.04	96.50			38.41		479.85
1984					84.80		279.65	120.57			49.48		534.51
1985					68.75		149.79	84.95			20.79		324.28
1986					62.12		237.19	91.72			21.40		412.44
1987					36.58		70.27	77.34			10.35		194.53
1988					62.19		126.30	82.95			16.01		287.44
1989					57.29		53.49	72.51			11.48		194.76
1990					89.19		310.92	77.54			55.79		533.44
1991					83.01		231.60	107.52			32.81		454.94
1992					96.31		259.57	100.60			56.22		512.70
1993					65.34		211.77	97.62			39.18		413.91
1994					71.96		210.76	105.07			44.32		432.11
1995					68.25		170.54	73.02			44.52		356.33
1996					59.50		94.67	72.06			22.36		248.60
1997					68.82		181.77	79.47			23.35		353.41
1998					53.10		80.59	82.15			41.51		257.35
1999					61.68		146.44	84.37			20.33		312.82
2000					71.70		175.42	78.20			18.13		343.45
2001					92.15		241.01	90.65			33.00		456.80
2002					72.34		92.74	58.21			28.31		251.61
2003					71.96		154.32	64.96			47.98		339.21
2004					79.93		239.28	77.18			56.72		453.11
2005					41.20		148.98	54.76			13.82		258.76
PROM					68.56		184.60	83.72			33.09		369.96

K= 0.16



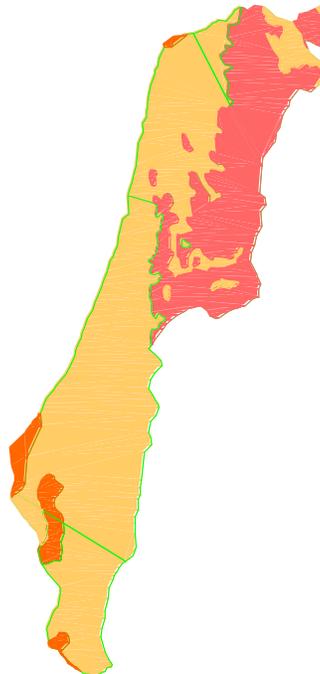
A1= 367.04  
 A2= 20.93  
 A3= 157.00  
**At= 544.97**

$Ce = K (P-250) / 2000 + (K - 0,15) / 1,5$

AÑO	P(mm)	Ce (anual)	VOL. ESC
1982	472.81	0.02	4.47
1983	479.85	0.02	4.68
1984	534.51	0.02	6.45
1985	324.28	0.01	1.02
1986	412.44	0.01	2.84
1987	194.53	0.00	0.00
1988	287.44	0.00	0.46
1989	194.76	0.00	0.00
1990	533.44	0.02	6.41
1991	454.94	0.02	3.96
1992	512.70	0.02	5.71
1993	413.91	0.01	2.88
1994	432.11	0.01	3.34
1995	356.33	0.01	1.61
1996	248.60	0.00	0.00
1997	353.41	0.01	1.55
1998	257.35	0.00	0.08
1999	312.82	0.00	0.83
2000	343.45	0.01	1.36
2001	456.80	0.02	4.01
2002	251.61	0.00	0.02
2003	339.21	0.01	1.28
2004	453.11	0.02	3.90
2005	258.76	0.00	0.10
PROM	369.96	0.01	2.37



K1= 0.10  
 K2= 0.20  
 K3= 0.28  
 $Kp = (K1A1 + K2A2 + K3A3) / At$   
 Kp= 0.16



**Tabla 33.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Mm³) para la subcuenca (F) Arroyo Tetabiate**

AREA								375.81				52.65	155.87	584.33
% AREA								64.31%				9.01%	26.68%	100.00%
AÑO	MATAPE	MAZATAN	S.J. PIMAS	SUAQUI GDE	PTA. AGUA	TECORIPA	F. MARQUEZ	LA MISA	EST. TORRES	GUAYMAS	EMPALME	VICAM	PRECIP ANUAL SUBCUENCA	
1982							363.38				36.99	78.93	479.30	
1983							349.16				29.71	97.77	476.63	
1984							353.73				38.27	130.26	522.25	
1985							189.47				16.07	53.96	259.51	
1986							300.03				16.55	93.85	410.42	
1987							88.88				8.00	37.93	134.82	
1988							159.76				12.38	96.43	268.57	
1989							67.66				8.87	97.13	173.66	
1990							393.28				43.14	154.24	590.66	
1991							292.95				25.37	66.88	385.20	
1992							328.32				43.47	111.85	483.65	
1993							267.87				30.30	109.40	407.57	
1994							266.58				34.27	125.19	426.05	
1995							215.71				34.43	60.50	310.64	
1996							119.75				17.29	88.64	225.69	
1997							229.92				18.06	123.13	371.11	
1998							101.94				32.10	66.37	200.41	
1999							185.23				15.72	81.12	282.07	
2000							221.88				14.02	82.75	318.65	
2001							304.85				25.52	101.87	432.24	
2002							117.31				21.89	63.11	202.32	
2003							195.19				37.10	106.01	338.31	
2004							302.66				43.86	133.73	480.25	
2005							188.44				10.69	55.83	254.96	
PROM							233.50				25.59	92.37	351.46	

$K = 0.15$

$Ce = K (P-250) / 2000$

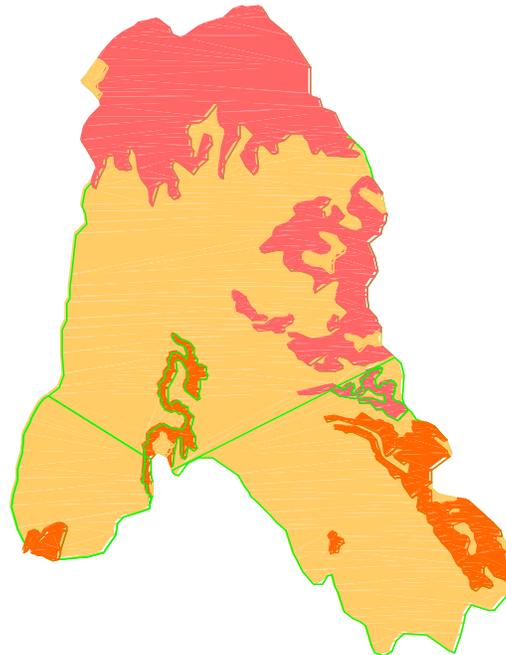


- A1= 405.90
- A2= 38.67
- A3= 139.75
- At= 584.33**

AÑO	P(mm)	Ce (anual)	VOL. ESC
1982	479.30	0.02	4.81
1983	476.63	0.02	4.72
1984	522.25	0.02	6.22
1985	259.51	0.00	0.11
1986	410.42	0.01	2.88
1987	134.82	-0.01	0.00
1988	268.57	0.00	0.22
1989	173.66	-0.01	0.00
1990	590.66	0.03	8.80
1991	385.20	0.01	2.28
1992	483.65	0.02	4.94
1993	407.57	0.01	2.81
1994	426.05	0.01	3.28
1995	310.64	0.00	0.82
1996	225.69	0.00	0.00
1997	371.11	0.01	1.97
1998	200.41	0.00	0.00
1999	282.07	0.00	0.40
2000	318.65	0.01	0.96
2001	432.24	0.01	3.44
2002	202.32	0.00	0.00
2003	338.31	0.01	1.31
2004	480.25	0.02	4.84
2005	254.96	0.00	0.06
PROM	351.46	0.01	2.28



- K1= 0.10
- K2= 0.20
- K3= 0.28
- Kp=  $(K1A1+K2A2+K3A3)/At$
- Kp= 0.15



**Tabla 34.- Cálculo de precipitación (mm) y escurrimiento medio anual (Mm³) para la subcuenca (C) San José de Guaymas**

AREA							162.52			942.32	129.62		1,234.46
% AREA							13.16%			76.33%	10.50%		100.00%
AÑO	MATAPE	MAZATAN	S.J. PIMAS	SUAQUI GDE	PTA. AGUA	TECORIPA	F. MARQUEZ	LA MISA	EST. TORRES	GUAYMAS	EMPALME	VICAM	PRECIP ANUAL SUBCUENCA
1982							74.38			100.76	43.10		218.25
1983							71.47			171.37	34.62		277.46
1984							72.41			52.67	44.60		169.67
1985							38.78			222.36	18.73		279.88
1986							61.41			94.66	19.29		175.36
1987							18.19			114.65	9.32		142.17
1988							32.70			163.59	14.43		210.71
1989							13.85			204.05	10.34		228.24
1990							80.50			124.88	50.28		255.66
1991							59.97			175.42	29.57		264.95
1992							67.21			82.29	50.66		200.16
1993							54.83			105.72	35.31		195.87
1994							54.57			226.71	39.94		321.23
1995							44.15			316.41	40.12		400.68
1996							24.51			393.28	20.15		437.94
1997							47.06			393.96	21.04		462.07
1998							20.87			148.32	37.41		206.60
1999							37.91			304.58	18.32		360.81
2000							45.42			188.65	16.34		250.41
2001							62.40			188.65	29.74		280.79
2002							24.01			188.65	25.52		238.18
2003							39.96			188.65	43.24		271.85
2004							61.95			188.65	51.12		301.72
2005							38.57			188.65	12.45		239.68
PROM							47.80			188.65	29.82		266.26

$K = 0.14$   
 $Ce = K (P-250) / 2000$

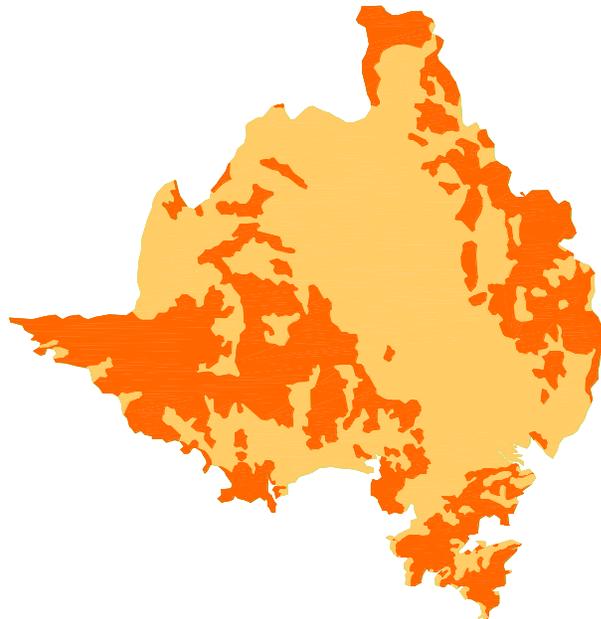


- A1= 747.67
- A2= 486.79
- A3= 0.00
- At= 1,234.46

AÑO	P(mm)	Ce (anual)	VOL. ESC
1982	218.25	0.00	0.00
1983	277.46	0.00	0.66
1984	169.67	-0.01	0.00
1985	279.88	0.00	0.72
1986	175.36	-0.01	0.00
1987	142.17	-0.01	0.00
1988	210.71	0.00	0.00
1989	228.24	0.00	0.00
1990	255.66	0.00	0.12
1991	264.95	0.00	0.34
1992	200.16	0.00	0.00
1993	195.87	0.00	0.00
1994	321.23	0.00	1.97
1995	400.68	0.01	5.20
1996	437.94	0.01	7.08
1997	462.07	0.01	8.43
1998	206.60	0.00	0.00
1999	360.81	0.01	3.44
2000	250.41	0.00	0.01
2001	280.79	0.00	0.74
2002	238.18	0.00	0.00
2003	271.85	0.00	0.51
2004	301.72	0.00	1.34
2005	239.68	0.00	0.00
PROM	266.26	0.00	1.27



- K1= 0.10
- K2= 0.20
- K3= 0.28
- Kp= (K1A1+K2A2+K3A3)/At
- Kp= 0.14



Una vez obtenidos dichos coeficientes se multiplicaron por la precipitación media y por su área total obteniéndose el volumen de escurrimiento natural para cada subcuenca (Tabla 35).

Para calcular el escurrimiento real, se cuantifico el agua que retienen los embalses superficiales, aguas arriba de la Presa Punta de Agua (Figura 81, Tabla 35). Este volumen se le resta al volumen de escurrimiento para obtener el volumen de **escurrimiento real** que es el que realmente llega a la salida de las subcuencas.

El escurrimiento medio natural calculado fue de **70.22 Mm<sup>3</sup>/año** para toda la Cuenca del Río Mátape y de **64.29 Mm<sup>3</sup>/año** solo para el Río Mátape, excluyendo las subcuencas San José, Chicuroso y Tetabiate. Del mismo modo al escurrimiento natural se le resta lo retenido superficialmente con lo que se obtiene el escurrimiento Real que es el que realmente llega al final de las subcuencas (Tabla 35).

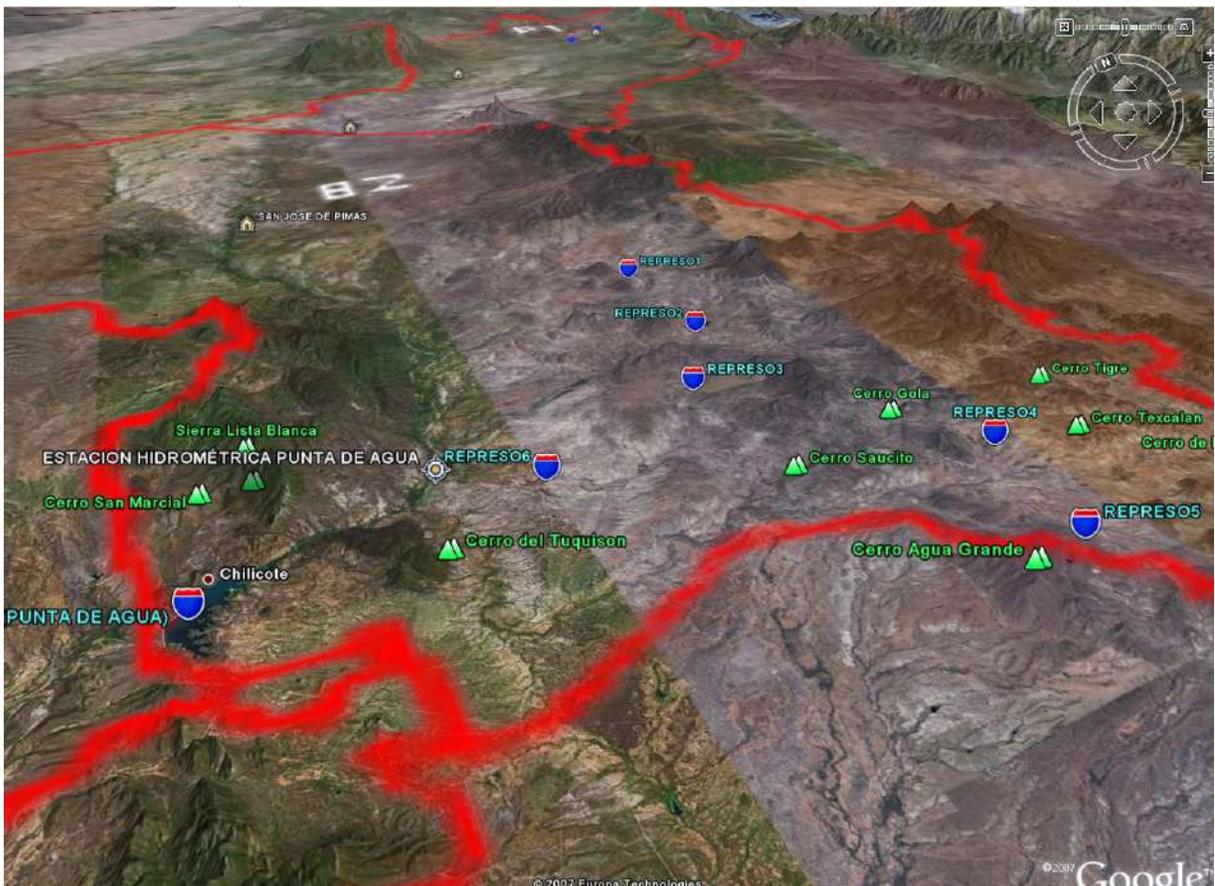
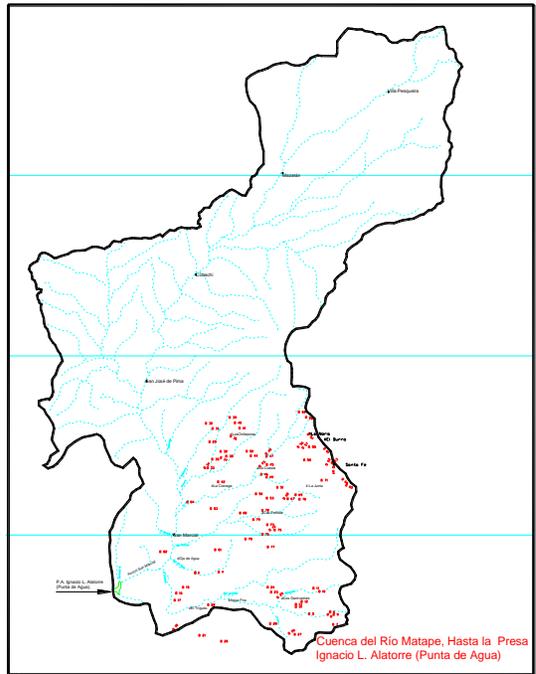
**Tabla 35.- Cálculo del volumen de escurrimiento de las diferentes áreas de la Cuenca del Río Mátape**

ACUÍFERO	SUBCUENCA	AREA (KM <sup>2</sup> )	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM <sup>3</sup> )	AREAS COEFICIENTE ESCURRIMIENTO (Km <sup>2</sup> )			ESCURRIMIENTO NATURAL MEDIO ANUAL (HM <sup>3</sup> )	RETENCION SUPERFICIAL (HM <sup>3</sup> )	ESCURRIMIENTO REAL (HM <sup>3</sup> )
				0.10	0.20	0.28			
RIO MATAPE	(B1) RIO MATAPE	1,124.16	81.94	586.41	62.29	475.46	32.08	5.00	27.08
VALLE DE GUAYMAS	(B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA	1,995.26	74.90	1,380.09	0.00	615.17	18.09	4.00	14.09
	(A) RIO MATAPE EMPALME	2,886.89	15.33	1,764.05	729.89	392.95	12.33	2.00	10.33
	(D) GUAYMAS	660.69	3.89	450.14	210.55	0.00	1.78	0.00	1.78
	(E) ARROYO CHICUROSO	544.97	7.35	367.04	20.93	157.00	2.37	0.00	2.37
	(F) ARROYO TETABIATE	584.33	5.94	405.90	38.67	139.75	2.28	0.00	2.28
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	(C) SAN JOSE DE GUAYMAS	1,234.46	1.64	747.67	486.79	0.00	1.27	0.00	1.27
TOTALES CUENCA		9,030.76	190.98				70.22	11.00	59.22

De esta manera a el volumen de escurrimiento medio natural de cada subcuenca se le resta el volumen estimado retenido por embalses superficiales, a los **32.08 Mm<sup>3</sup>** que escurren en la subcuenca (B1) Río Mátape se le restan **5.00 Mm<sup>3</sup>** retenidos en la Presa La Haciendita y varios repesos más, quedando un escurrimiento real que sale de la subcuenca de **27.08 Mm<sup>3</sup>**. Para la subcuenca (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua, el escurrimiento natural por cuenca propia es de **18.09 Mm<sup>3</sup>**, al cual se le restan **4.00 Mm<sup>3</sup>** de varios repesos aguas arriba de la Presa Punta de Agua, quedando un escurrimiento real de **14.09 Mm<sup>3</sup>**.

Sumando los escurrimientos reales de estas dos subcuencas nos da un total de **41.17 Mm<sup>3</sup>** que coincide con las entradas medias anuales de la Presa Punta de Agua de **41.35 Mm<sup>3</sup>** (Tabla 27).

Figura 81.- Retención superficial por represas aguas arriba de la Presa Punta de Agua



En toda la cuenca, únicamente en el Río Mátape se han efectuado mediciones de los escurrimientos, por medio de la Estación Hidrométrica Punta de Agua, localizada aproximadamente a 9 km aguas arriba del poblado Punta de Agua. La estación inició operaciones en Julio de 1957. El área de la cuenca hasta este punto es de 3,074 km<sup>2</sup>.

El motivo de su construcción fue el de conocer el régimen del Río Mátape para el proyecto de la Presa Punta de Agua, por la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos. Al iniciar en 1970 la construcción de la presa, la estación hidrométrica fue suspendida, reanudando mediciones en septiembre de **1976**, ahora con el nombre de Punta de Agua II, ubicándose inmediatamente aguas arriba de la anterior; a la fecha se cuenta con un registro hasta el año 2003, salvo los meses comprendidos de Enero a Julio de 1979 y 1980.

Para complementar los valores de escurrimiento faltantes, se utilizó una técnica de regresión lineal apoyada en los registros hidrométricos de estaciones ubicadas en las cuencas adyacentes a la de estudio, como son La Junta (sobre el Río Moctezuma, Cuenca del Río Yaqui) y El Orégano (sobre el Río Sonora, porción occidental de la cuenca en estudio).

Los volúmenes anuales escurridos en el intervalo de 1957 a 2002 se muestran en la Tabla 26. El año que registra el mayor escurrimiento fue el de 1966 con 75.709 Mm<sup>3</sup>; el menor escurrimiento de 5.285 Mm<sup>3</sup> ocurrió en 1997 (Tabla 36, Figura 82).

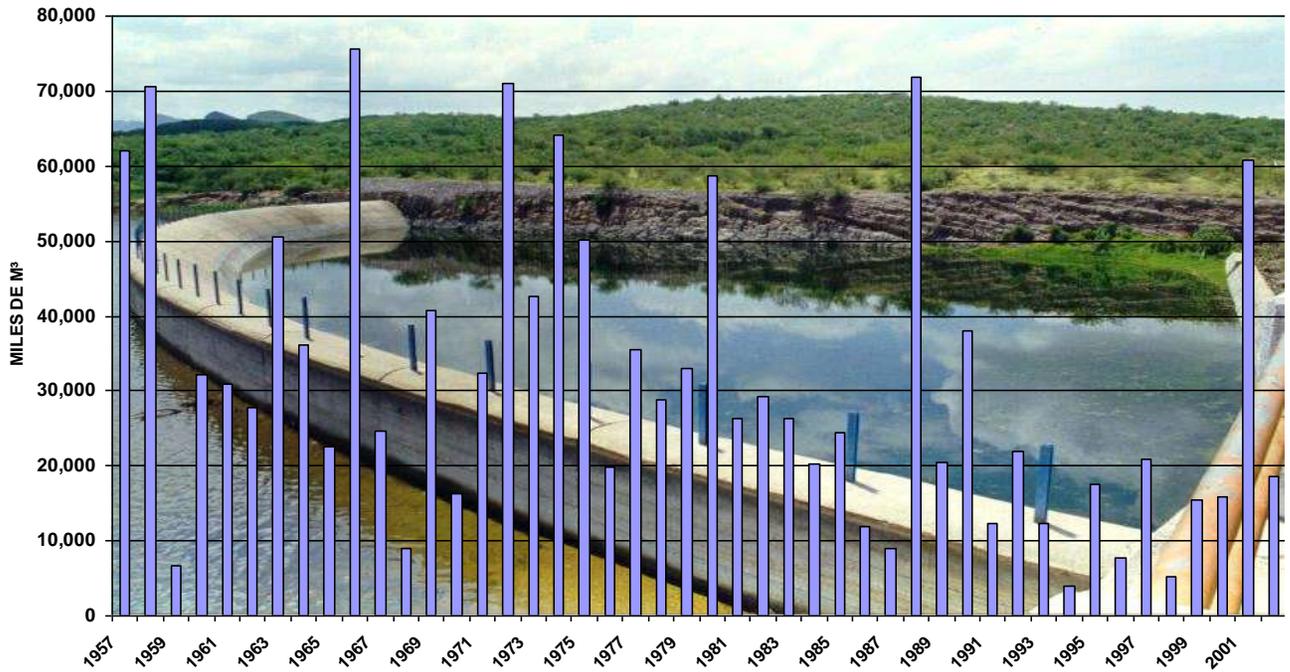
El volumen promedio anual escurrido en el período de observaciones fue de **31.14 Mm<sup>3</sup>** para la Estación Hidrométrica Punta de Agua (Tabla 36), valor menor al calculado con los coeficientes de escurrimiento de la Norma y a las entradas a la Presa Punta de Agua, esto debido a que aguas debajo de dicha estación y antes de entrar a la presa se le une por margen izquierda el arroyo Agua Caliente no siendo contabilizado por dicha estación.

**Tabla 36.- Información mensual de escurrimiento (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>) en la Estación Hidrométrica “Punta de Agua”**

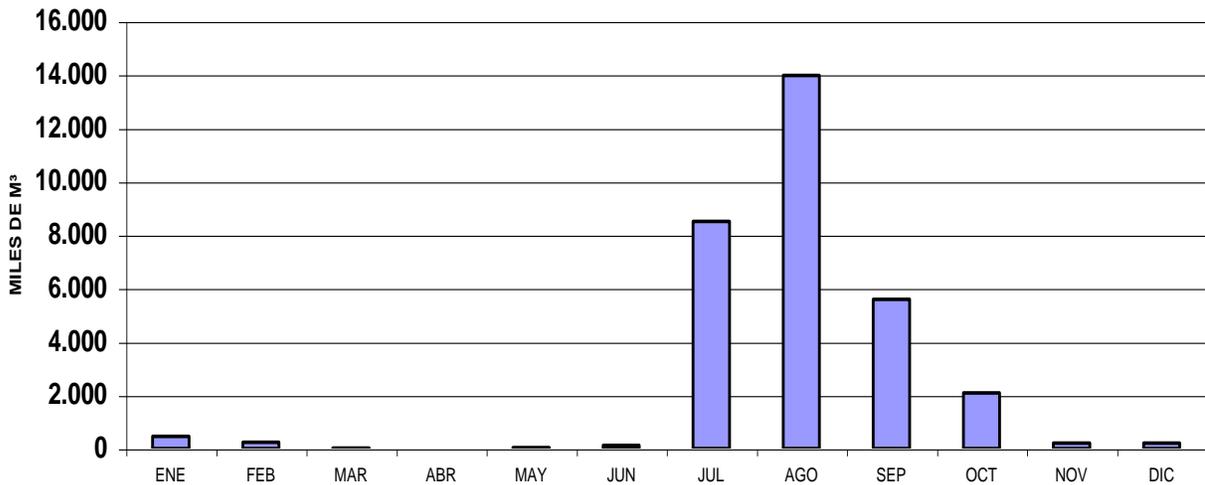
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1957	0	0	0	10	1	0	15,606	26,509	2,395	15,975	1,476	17	61,989
1958	990	64	113	22	1	0	4,754	55,553	4,555	4,167	239	120	70,578
1959	57	30	5	208	0	9	1,445	4,934	78	0	0	0	6,766
1960	52	1	0	0	0	0	5,716	21,352	2,933	2,189	7	0	32,250
1961	3,044	35	0	0	0	2,332	12,747	11,347	932	451	13	0	30,901
1962	243	56	0	0	0	0	7,190	7,817	11,558	0	0	969	27,833
1963	0	0	0	0	0	0	17,480	25,841	7,282	7	0	0	50,610
1964	0	0	0	0	0	0	8,816	15,373	11,309	554	4	0	36,056
1965	0	0	0	0	0	0	624	17,310	4,589	0	0	0	22,523
1966	0	0	0	0	0	0	25,079	49,447	1,013	170	0	0	75,709
1967	0	0	0	0	0	0	9,041	13,237	1,668	716	0	0	24,662
1968	883	317	145	0	0	0	592	5,417	1,499	198	0	0	9,051
1969	0	0	0	0	0	0	20,165	14,706	3,636	2,265	30	0	40,802
1970	95	0	9	1	1	0	6,195	2,729	5,918	1,269	1	3	16,221
1971	17	0	3	1	0	44	8,754	18,785	1,674	2,729	401	4	32,412
1972	44	0	4	1	1	314	14,964	27,246	25,960	1,850	529	11	70,924
1973	1,698	2,759	28	1	1	7	7,961	26,190	3,138	876	0	2	42,661
1974	59	0	3	1	1	0	13,125	23,730	23,108	2,105	1,915	6	64,053
1975	187	167	5	1	1	1	13,642	17,368	17,576	1,198	2	2	50,150
1976	0	0	0	1	1	0	5,878	7,597	6,324	8	0	0	19,809
1977	0	0	0	0	0	0	10,257	23,961	1,159	80	0	0	35,457
1978	0	0	0	0	0	0	6,697	12,348	8,249	817	614	7	28,732
1979	3,809	551	2	1	1	0	3,470	2,866	15,289	6,980	0	0	32,969
1980	54	0	2	1	0	0	20,984	33,905	1,630	2,179	17	0	58,772
1981	285	0	78	0	0	945	10,983	1,983	11,981	10	1	0	26,266
1982	0	0	0	0	0	0	11,327	11,411	5,804	0	121	673	29,336
1983	493	2,409	138	0	0	0	3,902	7,324	10,913	906	0	266	26,351
1984	70	0	0	0	3	482	7,997	10,210	301	1,205	0	7	20,275
1985	1,200	69	9	4	0	65	5,353	11,890	4,495	1,334	9	7	24,435
1986	4	206	3	7	1	0	7,072	4,491	36	8	7	14	11,849
1987	0	0	0	0	1,309	0	6,220	1,514	0	0	0	0	9,043
1988	0	0	0	0	0	0	23,358	20,818	26,878	445	4	444	71,947
1989	0	0	0	0	0	0	8,533	9,592	2,243	4	2	1	20,375
1990	0	0	0	0	0	0	13,096	21,413	1,445	1,938	15	23	37,930
1991	27	19	16	10	6	1	246	8,772	1,331	11	106	1,691	12,236
1992	253	345	344	45	11	10	758	7,204	2,883	1,406	3,714	4,930	21,903
1993	5,781	203	8	0	0	0	317	4,588	1,273	143	0	0	12,313
1994	0	0	0	0	0	112	0	3,907	0	0	0	0	4,019
1995	1,290	3,375	32	0	0	0	820	10,297	1,824	3	8	0	17,649
1996	0	0	0	0	0	0	2,492	2,307	2,961	0	0	0	7,760
1997	0	0	0	0	23	0	11,806	8,181	880	0	100	0	20,990
1998	0	0	0	0	0	981	1,897	2,279	128	0	0	0	5,285
1999	0	0	0	0	0	0	10,999	1,764	2,742	0	0	0	15,505
2000	0	0	0	0	0	234	8,273	5,342	980	1,141	0	0	15,970
2001	0	0	0	0	0	54	6,101	7,525	8,490	38,588	46	0	60,804
2002	0	0	0	0	0	0	3,999	11,370	3,140	0	0	0	18,509
<b>PROMEDIO</b>	<b>449</b>	<b>231</b>	<b>21</b>	<b>7</b>	<b>30</b>	<b>122</b>	<b>8,407</b>	<b>13,908</b>	<b>5,526</b>	<b>2,042</b>	<b>204</b>	<b>200</b>	<b>31,144</b>

De acuerdo a la gráfica de entradas medias mensuales, la mayor entrada de agua a la estación hidrométrica ocurre en el mes de Agosto y es de 13.90 Mm<sup>3</sup>, en el período de 1957-2002 (Figura 83).

**Figura 82.- Entradas anuales de la Estación Hidrométrica Punta de Agua**



**Figura 83.- Entradas medias mensuales a la Estación Hidrométrica Punta de Agua (1957-2002)**



La Presa Punta de Agua se localiza 9 km aguas abajo de la estación hidrométrica del mismo nombre, y tiene como finalidad la regulación de los escurrimientos del río para utilizarse en entarquinamientos para siembras de humedad, en una zona que se extiende hasta unos 6 km aguas abajo de la presa y hacia ambos lados del cauce.

Esta presa tenía originalmente una capacidad de 28 Mm<sup>3</sup>, misma que se redujo a 17 Mm<sup>3</sup> por la grande cantidad de azolves que inundaron la mayor parte del vaso, es decir, se ha perdido un volumen de 11 Mm<sup>3</sup> por azolvamiento.

Tabla 37.- Entradas anuales a la Presa Punta de Agua (1982-2005)

COMISION NACIONAL DEL AGUA

SUBGERENCIA TECNICA

REGISTRO DE REGIMEN DE ALMACENAMIENT

corriente: Arroyo Mátape o Río San Marcial

DEPARTAMENTO DE AGUAS SUPERFICIALES

cuenca: Río Sonora

coeficiente de evaporación: 0.7 nombre del vaso: IGNACIO L. ALATORRE, estado: SONORA, mpio.: GUAYMAS

AÑO	V A S O		E N T R A D A S			S A L I D A S					ENTRADAS	ENTRADAS	
	ALMACE- NAMIENTO INICIAL	VARIACION ALMACE- NAMIENTO	LLUVIA	RIOS VOLUMEN AFORADO	TOTAL	OBRA DE TOMA	DESFOGUES	FILTRACIONES	DERRAMES	EVAPORACION	TOTAL	MENOS SALIDAS NO CONTROLADAS	DV+S
	Mm3		Mm3			Mm3							
1982	21.82	5.11	1.39		1.39	13.25		0.76	8.08	5.52	27.61	31.32	32.72
1983	26.92	-1.89	1.58		1.58	19.41		1.14	5.86	6.19	32.60	29.13	30.71
1984	25.03	-0.40	1.85		1.85	20.98		0.88	6.59	4.88	33.33	31.07	32.92
1985	24.63	-1.36	1.41		1.41	23.26		0.67	4.90	4.62	33.45	30.69	32.10
1986	23.27	-6.09	0.91		0.91	18.93		0.62	0.00	4.24	23.79	16.78	17.69
1987	17.18	-9.68	0.44		0.44	13.48		0.18	0.00	2.46	16.13	6.01	6.45
1988	7.50	19.06	1.38		1.38	8.45		0.46	73.84	3.21	85.96	103.64	105.02
1989	26.56	-6.32	1.59		1.59	14.98		0.30	90.29	5.53	111.11	103.20	104.78
1990	20.24	4.07	1.95		1.95	11.08		0.00	203.58	3.38	218.05	220.17	222.12
1991	24.30	0.48	1.58		1.58	14.21		0.00	0.00	3.96	18.17	17.08	18.65
1992	24.79	1.37	1.99		1.99	3.15		0.00	0.20	6.02	9.38	8.76	10.75
1993	26.16	-9.12	1.25		1.25	15.47		0.00	1.81	5.41	22.69	12.31	13.57
1994	17.04	10.93	1.82		1.82	7.75		0.00	4.81	4.04	16.60	25.71	27.54
1995	27.97	-4.77	1.59		1.59	12.00		2.70	11.80	7.75	34.25	27.89	29.48
1996	23.20	-8.46	0.76		0.76	15.54		0.71	0.00	4.90	21.14	11.92	12.69
1997	14.74	8.67	1.34		1.34	9.11		0.97	86.84	4.03	100.95	108.28	109.62
1998	23.41	-10.56	0.81		0.81	12.85		1.02	0.00	4.94	18.81	7.43	8.25
1999	12.85	8.54	1.01		1.01	7.08		0.89	0.00	4.40	12.37	19.90	20.91
2000	21.39	-0.04	1.82		1.82	15.94		0.00	0.00	4.23	20.16	18.31	20.13
2001	21.36	2.79	1.08		1.08	12.82		0.00	63.79	3.96	80.57	82.28	83.36
2002	24.14	-6.14	0.70		0.70	14.05		0.00	0.00	0.15	14.20	7.36	8.06
2003	18.00	-6.70	1.13		1.13	12.58		0.00	0.00	3.66	16.24	8.41	9.54
2004	11.30	3.70	1.42		1.42	12.02		0.00	0.00	4.71	16.73	19.01	20.43
2005	15.00	13.51	0.12		0.12	1.00		0.00	0.00	0.39	1.39	14.79	14.90
2006	28.51												
suma	498.78	6.69	30.93		30.93	309.39		11.30	562.40	102.60	985.70	961.46	992.39
media	20.78	0.28	1.29		1.29	12.89		0.47	23.43	4.28	41.07	40.06	41.35

FUENTE: CONAGUA (2006)

Para el calculo de la variación de almacenamiento (DV) en una presa se utiliza la formula  $DV = E - S$  que son las entradas menos las salidas, despejando las entradas resulta  $E = DV + S$ . El funcionamiento de vaso para la Presa Punta de Agua para el período 1982-2005 nos arroja una entrada media anual de **41.35 Mm<sup>3</sup>** y salidas controladas por obra de toma de **12.89 Mm<sup>3</sup>**.

De 1982 a 2005 se tuvo la mayor entrada de agua a la presa Punta de Agua en 1990, consistente en 222.12 Mm<sup>3</sup>. Para este período corresponde un escurrimiento medio de **41.35 Mm<sup>3</sup>/año** (Tabla 37).

### 3.7. INFILTRACIÓN MEDIA

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo.

El agua de infiltración que se deduce de la resolución del balance hídrico es aquella que supera la retención superficial y alcanza horizontes más profundos, conectando con el sistema acuífero general; es decir el agua de recarga.

Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la **superficie del suelo** y su **cubierta vegetal**, las **propiedades del suelo**, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el **contenido de humedad** presente en el

suelo. Estratos de suelos con propiedades físicas diferentes pueden superponerse unos sobre otros formando horizontes; por ejemplo, un suelo limoso con una conductividad hidráulica relativamente alta puede estar superpuesto sobre una zona de arcilla de baja conductividad. Los suelos también presentan una gran variabilidad especial aún dentro de pequeñas áreas, como en un sembrado. Como resultado de estas grandes variaciones espaciales y de las variaciones temporales de las propiedades del suelo, que ocurren a medida que cambia el contenido de humedad de éste, la infiltración es un proceso muy complejo que puede describirse mediante ecuaciones matemáticas solamente en forma aproximada.

La capacidad de infiltración, es la máxima cantidad de agua de lluvia que puede absorber el suelo en una unidad de tiempo dada, en condiciones definidas previamente (Horton, 1933).

Infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. El agua primero satisface la deficiencia de humedad del suelo y después cualquier proceso pasa a ser parte del agua subterránea. La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones se llama capacidad de infiltración. Durante una tormenta sólo se satisface la capacidad de infiltración mientras ocurre la lluvia en exceso.

De acuerdo a Chow *et al.* (1994) y Aparicio (1999), los factores que afectan la capacidad de infiltración son:

1. Entrada en la superficie
2. Transmisión a través del suelo
3. Agotamiento de la capacidad de almacenaje del suelo
4. Características del medio permeable
5. Características del flujo

La infiltración se obtuvo por diferencias. Al volumen de precipitación efectiva, se le restó el volumen de escurrimiento real y lo que quedó, fue el volumen infiltrado (Tabla 28). En otras palabras, a lo que llueve, se le quita lo que se evapora, quedando la precipitación efectiva. A ésta se le aplica un coeficiente de escurrimiento para obtenerle escurrimiento, al cual se le resta la retención superficial, quedando el escurrimiento real. Restando a la lluvia el escurrimiento real, obtenemos la infiltración (Tabla 28).

Todos los cálculos anteriores se hicieron por subcuenca, cuya suma resulta en un volumen infiltrado total para toda la cuenca de **120.76 Mm<sup>3</sup>/año**.

**Tabla 38.- Cálculo del volumen de infiltración por subcuenca del Río Mátape**

ACUÍFERO	SUBCUENCA	AREA (KM²)	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM³)	AREAS COEFICIENTE ESCURRIMIENTO (Km²)			ESCURRIMIENTO NATURAL MEDIO ANUAL (HM³)	RETENCION SUPERFICIAL (HM³)	ESCURRIMIENTO REAL (HM³)	INFILTRA (HM³)
				0.10	0.20	0.28				
RIO MATAPE	(B1) RIO MATAPE	1,124.16	81.94	586.41	62.29	475.46	32.08	5.00	27.08	49.85
VALLE DE GUAYMAS	(B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA	1,995.26	74.90	1,380.09	0.00	615.17	18.09	4.00	14.09	56.81
	(A) RIO MATAPE EMPALME	2,886.89	15.33	1,764.05	729.89	392.95	12.33	2.00	10.33	3.00
	(D) GUAYMAS	660.69	3.89	450.14	210.55	0.00	1.78	0.00	1.78	2.10
	(E) ARROYO CHICUROS	544.97	7.35	367.04	20.93	157.00	2.37	0.00	2.37	4.98
	(F) ARROYO TETABIATE	584.33	5.94	405.90	38.67	139.75	2.28	0.00	2.28	3.66
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	(C) SAN JOSE DE GUAYMAS	1,234.46	1.64	747.67	486.79	0.00	1.27	0.00	1.27	0.37
<b>TOTALES CUENCA</b>		<b>9,030.76</b>	<b>190.98</b>				<b>70.22</b>	<b>11.00</b>	<b>59.22</b>	<b>120.76</b>

### 3.8. EVAPOTRANSPIRACION DE NIVELES SOMEROS

Para este parámetro la Norma Oficial señala la pérdida por evaporación directa de agua freática y la pérdida por evapotranspiración. Para estimarla se multiplica el área donde tiene lugar el fenómeno por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial calculada con los datos tomados en las estaciones climatológicas en el punto 3.4 de este mismo capítulo.

El valor de esa fracción varía de 1, cuando el nivel freático aflora, a 0 cuando éste se halla a profundidades mayores que la altura de la faja capilar de los materiales predominantes entre la superficie del terreno y el nivel freático.

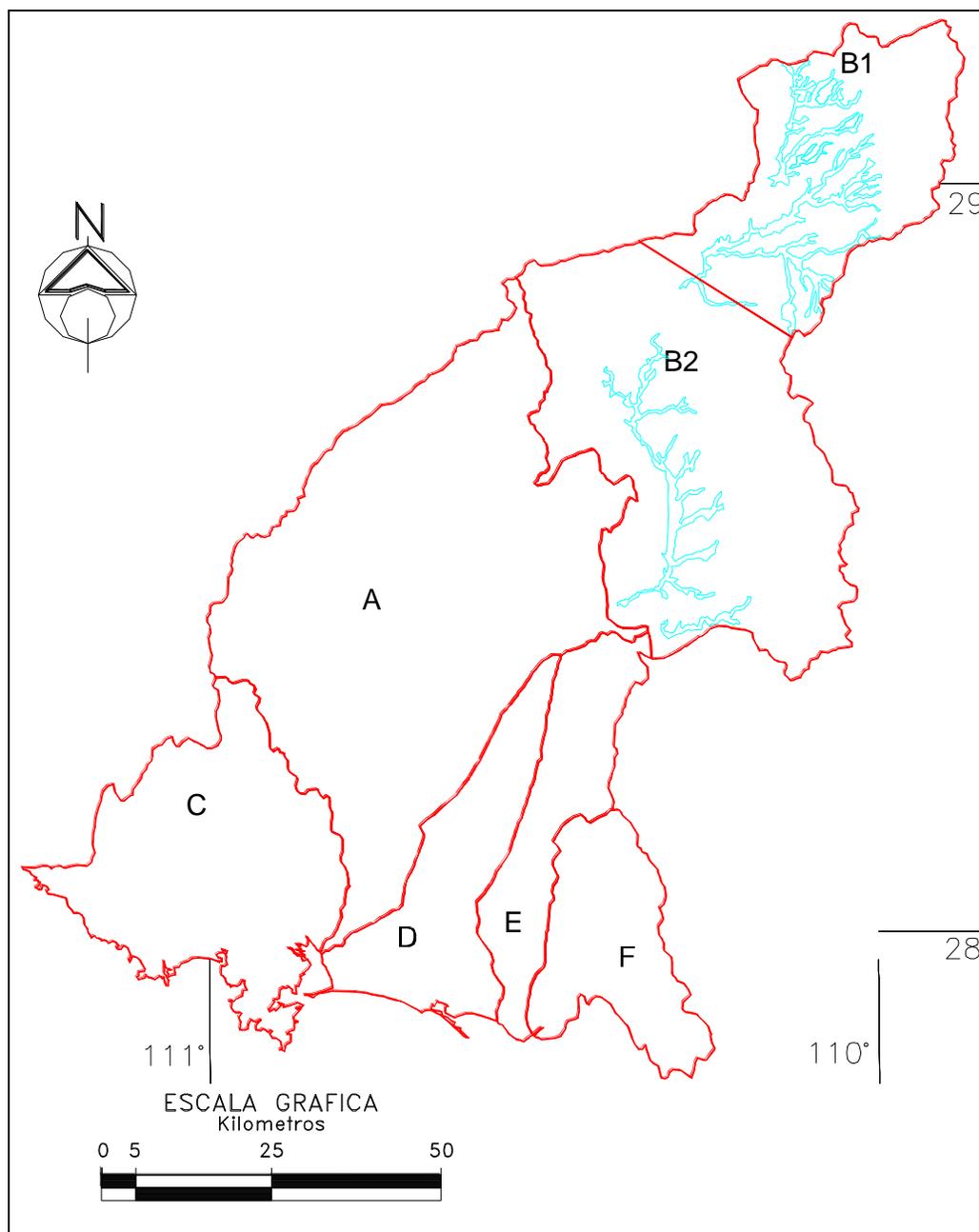
A falta de información, se supondrá que el valor de la fracción varía entre valores extremos linealmente según la profundidad de dicho nivel. Normalmente, por información de CONAGUA (2007) se utiliza una profundidad máxima de 10 m. Este parámetro es considerable en zonas con niveles estáticos muy someros a lo largo de los acuíferos. La evapotranspiración estará implícita en el resultado del balance.

Cabe destacar que aquí la evapotranspiración se refiere a la pérdida de un volumen de agua que está almacenada en el acuífero. Existe una pérdida a través de las plantas con raíces profundas o cuando el nivel estático es somero, y éste es precisamente el valor que se pretende evaluar en este apartado.

Tratar de aislar este valor resulta muy difícil, es por eso que la norma no propone ningún método.

Mediante el plano geológico de la Cuenca del Río Mátape se delimitaron las áreas de conglomerado del Cenozoico y aluvión del Cuaternario, ubicando en ellas mediante un filtro del sistema REPDA, la posición de norias con menos de 10 m de profundidad o zonas con niveles someros (Figura 83), para de esta manera efectuar el cálculo del volumen de evaporación anual en los acuíferos Mátape y Valle de Guaymas.

**Figura 84.- Áreas con niveles freáticos someros en la Cuenca del Río Mátape**



Se aprecia claramente donde están los niveles someros, siguiendo los cauces, los cuales coinciden claramente con la demarcación de las norias en el REPDA.

Las áreas son de 145 km<sup>2</sup> para la Subcuenca (B1) Río Mátape y 94.78 km<sup>2</sup> para la (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua. Multiplicando estas áreas por la lámina de evapotranspiración potencial, se obtiene el volumen de evapotranspiración potencial al año (Tabla 39).

Como resultado se tiene que para la **Subcuenca (B1) Río Mátape** la lámina de evapotranspiración potencial anual es de **1,169.57 mm** y para la **Subcuenca (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua** es de **1,385.16 mm** (Tabla 39).

**Tabla 39.- Evapotranspiración potencial media para las subcuencas B1 y B2**

ESTACION	Et POTENCIAL ANUAL (mm)
TECORIPA	1,199.43
MAZATAN	1,189.62
MATAPE	1,139.88
SUAQUI GRANDE	1,236.14
SAN JOSE DE PIMAS	1,370.76
FRANCISCO MARQUEZ	1,441.02
ESTACION TORRES	1,488.01
VICAM	1,510.43
PUNATA DE AGUA	1,568.31
LA MISA	1,502.35
EMPALME (OBSERV.)	1,588.30
GUAYMAS	1,562.96

EVAPORACION POTENCIAL MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (B1) RIO MATAPE

ESTACION	Et POTENCIAL ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Et*A
MAZATAN	1,189.62	671.03	798,265.99
MATAPE	1,139.88	453.13	516,518.20
		1,124.16	1,314,784.18
Et=1,314,784.18/1,124.16			<b>1,169.57</b>

EVAPORACION POTENCIAL MEDIA ANUAL EN LA SUBCUENCA (B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA

ESTACION	Et POTENCIAL ANUAL (mm)	AREA (Km <sup>2</sup> )	Et*A
SAN JOSE DE PIMAS	1,370.76	1,138.36	1,560,408.55
TECORIPA	1,199.43	264.15	316,833.87
SUAQUI GRANDE	1,236.14	129.77	160,420.17
PUNTA DE AGUA	1,568.31	462.97	726,082.63
		1,995.26	2,763,745.22
Et=2,763,745.22/1,995.26			<b>1,385.16</b>

La Tabla 40 muestra el cálculo de la pérdida por evaporación de agua en los niveles someros del área de estudio. Según el plano de ubicación de niveles estáticos someros, se calcularon las áreas en donde el nivel se encuentra a profundidades de 1 a 10 m. La evaporación potencial media está dada en metros.

La evaporación total será el producto de la lámina de evaporación, el coeficiente de evaporación con respecto a la profundidad del nivel estático y el área que ocupa.

De la suma de la evaporación a cada profundidad, obtenemos una evaporación total anual en niveles menores a 10 m de **28.19 Mm<sup>3</sup> para el acuífero Río Mátape y de 27.31 Mm<sup>3</sup> para el acuífero del Valle de Guaymas** en la Subcuenca (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua, aguas arriba de la presa del mismo nombre (Tabla 41).

**Tabla 40.- Evaporación total anual en los acuíferos Río Mátape y Guaymas**

ACUIFERO	SUBCUENCA	AREA (m <sup>2</sup> )	PROF. MEDIA DEL N.E. (m)	COEFICIENTE DE EVAPORACION (%)	EVAPORACION POTENCIAL MEDIA ANUAL (m)	EVAPORACION (m)	EVAPORACION TOTAL ANUAL (Hm <sup>3</sup> )
RÍO MATAPE	(B1) RIO MATAPE	1,200,000.00	1.00	90.00	1.16957	1.053	1.26
		1,600,000.00	2.00	80.00	1.16957	0.936	1.50
		2,400,000.00	3.00	70.00	1.16957	0.819	1.96
		2,900,000.00	4.00	60.00	1.16957	0.702	2.04
		3,800,000.00	5.00	50.00	1.16957	0.585	2.22
		4,700,000.00	6.00	40.00	1.16957	0.468	2.20
		5,000,000.00	7.00	30.00	1.16957	0.351	1.75
		7,000,000.00	8.00	20.00	1.16957	0.234	1.64
		116,400,000.00	9.00	10.00	1.16957	0.117	13.61
<b>TOTAL</b>		<b>145,000,000.00</b>				<b>5.26</b>	<b>28.19</b>
VALLE DE GUAYMAS	(B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA	1,400,000.00	1.00	90.00	1.38516	1.247	1.75
		1,800,000.00	2.00	80.00	1.38516	1.108	1.99
		2,400,000.00	3.00	70.00	1.38516	0.970	2.33
		2,900,000.00	4.00	60.00	1.38516	0.831	2.41
		3,800,000.00	5.00	50.00	1.38516	0.693	2.63
		4,900,000.00	6.00	40.00	1.38516	0.554	2.71
		6,200,000.00	7.00	30.00	1.38516	0.416	2.58
		7,400,000.00	8.00	20.00	1.38516	0.277	2.05
		63,983,490.33	9.00	10.00	1.38516	0.139	8.86
<b>TOTAL</b>		<b>94,783,490.33</b>				<b>6.23</b>	<b>27.31</b>

**Tabla 41.- Cálculo del volumen de evapotranspiración anual por subcuenca (zonas con niveles someros)**

ACUIFERO	SUBCUENCA	AREA (KM <sup>2</sup> )	VOLUMEN LLUVIA (HM <sup>3</sup> )	VOL. EVAPORADO (HM <sup>3</sup> )	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM <sup>3</sup> )	ESCURRIMIENTO (HM <sup>3</sup> )	INFILTRA (HM <sup>3</sup> )	Et DEL ACUIFERO (niveles someros) (HM <sup>3</sup> )
RIO MATAPE	(B1) RIO MATAPE	1,124.16	623.10	541.16	81.94	32.08	49.85	28.19
VALLE DE GUAYMAS	(B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA	1,995.26	941.68	866.78	74.90	18.09	56.81	27.31
	(A) RIO MATAPE EMPALME	2,886.89	1,077.31	1,061.99	15.33	12.33	3.00	0.00
	(D) GUAYMAS	660.69	216.57	212.69	3.89	1.78	2.10	0.00
	(E) ARROYO CHICUROSO	544.97	202.71	195.35	7.35	2.37	4.98	0.00
	(F) ARROYO TETABIATE	584.33	206.56	200.62	5.94	2.28	3.66	0.00
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	(C) SAN JOSE DE GUAYMAS	1,234.46	332.71	331.07	1.64	1.27	0.37	0.00
<b>TOTALES CUENCA</b>		<b>9,030.76</b>	<b>3,600.65</b>	<b>3,409.66</b>	<b>190.98</b>	<b>70.22</b>	<b>120.76</b>	<b>55.50</b>

Podemos ver como el gran problema de la cuenca es su índice de evaporación el cual va del 91.37% a 94.95% aguas arriba de la presa Punta de Agua y de 96.37% a 99.51% aguas abajo.

## IV. HIDROGEOLOGÍA

### 4.1. CENSO DE APROVECHAMIENTOS

EL Registro Público de Derechos del Agua (REPD) de la Región II “Noroeste”, es un sistema de almacenamiento de datos de los títulos de concesión de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes. Para la captura de información tiene varias hojas con diferentes campos como los que se muestran en la Figura 85:

- N° TITULO
- EXPEDIENTE
- CUENCA HIDROLOGICA
- TITULAR
- REPRESENTANTE LEGAL
- DOMICILIO
- MUNICIPIO
- LOCALIDAD
- VOLUMEN ANUAL EN m<sup>3</sup>, EXTRACCION, CONCESION
- APROVECHAMIENTOS SUBTERRANEOS
- FECHA DE EMISION, DE VENCIMIENTO, DE ENTREGA
- ETC

Figura 85.- Datos de Concesión o Asignación de Aguas del REPD

**DIRECTORIO DE TRABAJO ?\REPD\**  
 Archivo Edición Aplicación Utilerías Impresión Movimientos Consulta Ayuda

**CONCESION O ASIGNACION DE AGUAS**

COMISION NACIONAL DEL AGUA  
 REGISTRO PUBLICO DE DERECHOS  
 DEL AGUA  
 REGIONAL: 02 NOROESTE

No. Titulo: 02SON121792/09AMGR00  
 Expediente: SUB-02-GE-SON/0252-23-05-00  
 Fecha de Dictamen: .....

Asig./Conc. (A/C):  Cuenca hidrol. 90 RIO YAQUI

Titular: JORGE OROZ IBARRA RFC: .....

Representante legal: EL MISMO

Domicilio: CALLE TEHUANTEPEC N° 446 NORTE, COL. CHAPULTEPEC Edo: 26 SONORA A C.P. 85100  
 Mpio. 18 CAJEME Loc: 252 CIUDAD OBREGON (CAJEME)

Nacionalidad: MEXICANA Plazo en años: 10 Uso del agua/suelo: AGRICOLA

Lugar en que se firma: HERMOSILLO, SONORA

Concedido por: GERENTE REGIONAL DEL NOROESTE F. Adhesion a decretos 1o. .... 2o. 1998.12.31 LB: 0 UB: 0

Vol. anual en m3 Ext. 600,000.00 Cons. 600,000.00 Clave de usuario: 00W5607160009 N

Aprovechamientos superficiales 0 M3 anuales 0.00 Clase de empresa: .....

Aprovechamientos subterranos 1 M3 anuales 600,000.00 Transmisión: ..... Boleta: .....

Descargas de aguas residuales 0 M3 anuales 0.00 Folio de per. descarga: .....

Ocupaciones de zonas federales 0 M2 totales 0.00 Permiso construcción de Obras: NO (SI/NO/TR)

Inic. vig. tit: 2000.05.31 de la fecha del presente título

Emisión: 2000.05.31 Vencimiento: 2010.05.31 Entrega: 2000.07.14

Observ.: .....

Folio de Registro: 02SON114481 Fecha de 1er. Asiento Reg.: 2000.06.27

Tomo: I-R02 Hoja: 6 Hora 09:36 Movimiento: 01 Folio: 374189

GUARDA  
 SUPERFICIALES  
 SUBTERRANEOS  
 DESCARGAS  
 ZONAS FEDERALES

Panel de Control  
 Inicio Previo Siguiente Ultimo Busca Agrega Termina

Otros datos que se incluyen en el REPDA son los que corresponden a aprovechamientos subterráneos como (Figura 86):

- REGION HIDROLOGICA
- CUENCA HIDROLOGICA
- SUBCUENCA
- ACUIFERO
- COORDENADAS (LATITUD, LONGITUD, IDENTIFICADOR)
- CARACTERISTICAS DEL POZO (PROFUNDIDAD, DIAM. ADEME, ETC)
- CARACTERISTICAS DEL EQUIPO (DIAM. COLUMNA SUCCION, TIPO BOMBA, ETC)
- CONDICIONES ESPECIFICAS DE EXPLOTACION
- DESCRIPCION DEL POZO Y PUNTO DE EXTRACCION
- ETC

Figura 86.- Captura de datos de Aprovechamientos Subterráneos del REPDA

Basándose en información proporcionada por la Subgerencia de Administración del Agua y el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA-2004), en la Cuenca del Río Mátape, se tienen un total de 1,517 aprovechamientos, de los cuales 1,509 cuentan con título de concesión inscritos en el REPDA, con un volumen

de extracción de 136.52 Mm<sup>3</sup> (Tabla 42), y 8 pozos de la captación Boca Abierta, cuyo volumen bombeado es de 4.70 Mm<sup>3</sup>, dando un volumen total de extracción de 141.22 Mm<sup>3</sup> para toda la cuenca.

**Tabla 42.- Registro de Aprovechamientos de Agua Subterránea en la Cuenca del Río Mátape**

<b>BOMBEO EN LA CUENCA DEL RIO MATAPE</b>			
<b>ACUIFERO</b>	<b>USO</b>	<b>N° DE APROVECHAMIENTOS</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>/año)</b>
<b>RIO MATAPE</b>	AGRICOLA	103	10,325,834.50
	DOMESTICO	4	1,426.00
	INDUSTRIAL	1	4,000.00
	PECUARIO	507	1,030,883.50
	PUBLICO URBANO	100	918,020.19
	<b>TOTALES</b>	<b>715</b>	<b>12,280,164.19</b>
<b>S. JOSE DE GUAYMAS</b>	AGRICOLA	108	11,460,810.00
	DOMESTICO	3	10,876.00
	PECUARIO	27	90,092.00
	PUBLICO URBANO	102	443,064.14
	<b>TOTALES</b>	<b>240</b>	<b>12,004,842.14</b>
<b>VALLE DE GUAYMAS</b>	AGRICOLA	184	104,983,798.10
	PECUARIO	109	719,481.35
	PUBLICO URBANO	259	6,528,823.91
	SERVICIOS	2	4,180.00
	<b>TOTALES</b>	<b>554</b>	<b>112,236,283.36</b>
<b>TOTALES DE LA CUENCA</b>	AGRICOLA	395	126,770,442.60
	DOMESTICO	7	12,302.00
	INDUSTRIAL	1	4,000.00
	PECUARIO	643	1,840,456.85
	PUBLICO URBANO	461	7,889,908.24
	SERVICIOS	2	4,180.00
	<b>TOTALES</b>	<b>1509</b>	<b>136,521,289.69</b>

Anexar 4.7 millones de m<sup>3</sup> de la captación Boca Abierta para el Valle de Guaymas

FUENTE: REPDA (Marzo, 2003)

Como puede verse en la Tabla 42, de los 554 pozos inscritos en el Acuífero del Valle de Guaymas, 184 corresponden a uso agrícola, amparados mediante Título de Concesión expedido por la Comisión Nacional del Agua en forma individual, con un volumen global de bombeo de 104.98 Mm<sup>3</sup> anuales; 109 aprovechamientos se destinan a uso pecuario con un volumen de 0.719 Mm<sup>3</sup>; 259 pozos se destinan al uso Público Urbano (para abastecer a las ciudades de Guaymas y Empalme), con un volumen extraído de 6.53 Mm<sup>3</sup> de las comunidades rurales, aunados a 4.7 Mm<sup>3</sup> de la

captación Boca Abierta; y 2 pozos son para servicios, con un volumen anual concesionado de 0.00418 Mm<sup>3</sup>.

En resumen, el volumen global comprometido de extracción para el **Acuífero del Valle de Guaymas** es de **116.93 Mm<sup>3</sup>/año**, considerando los pozos de Boca Abierta.

#### **4.2. UNIDADES GEOHIDROLOGICAS DEL VALLE DE GUAYMAS**

Materiales aluviales, fluviales, lacustres y basálticos del período Cuaternario constituyen los rellenos del Valle de Guaymas. Consisten en boleos, gravas, arenas, arcilla y caliche en capas o lenticulas interdigitadas y proporcionan las características apropiadas de permeabilidad y porosidad al acuífero. La distribución de estas capas es caótica, tanto horizontal como verticalmente y no presentan por lo tanto una continuidad lateral definida. Las capas de arcilla y de caliche, cambian de facies lateralmente a capas arenosas, acuñándose dentro de cuerpos de gravas y boleos.

Dentro de esta unidad, existe un estrato arcilloso, cuya continuidad puede seguirse lateralmente algunas centenas de metros, antes de ser interrumpida por cambios de facies, representados por arenas o caliche.

Debajo de esta capa, subyaciendo a los depósitos cuaternarios, se encuentra un estrato de origen marino, formado por arcillas azules y lentes de arenas y gravas. En la parte superior de este cuerpo, existe un depósito de microfósiles incluidos en la arcilla.

Este depósito se extiende en el subsuelo, cubriendo prácticamente la mitad sur del valle; su espesor en las proximidades de la línea de costa es de 160 m, decreciendo hacia aguas arriba del valle a unos 9 km aguas abajo del Bordo de Ortíz, donde se acuña con un espesor de 40 m.

En las exploraciones directas realizadas al norte del Bordo de Ortíz, no se cortó esta capa marina; lo cual parece sugerir, que los mares del Mioceno tuvieron su límite de transgresión aproximadamente en el frente de acuñamiento descrito. No se descarta, sin embargo, que este frente pudiera haber estado un poco más al norte, y que la erosión que prevaleció a fines del Mioceno haya, en su trabajo de modelado, labrado el pequeño espesor acumulado.

En la mitad sur del valle y por debajo de la unidad descrita anteriormente, se encuentra un depósito de materiales clásticos que probablemente corresponda al Conglomerado Báucarit. De los cortes litológicos de pozos de exploración, se sabe que esta unidad está compuesta hacia aguas arriba de arenas y gravas; en tanto que al sur de la carretera internacional, predomina un conglomerado, cuyo espesor total es de 200 m.

En el trabajo de Técnicas Modernas de Ingeniería (1975), se habla de 2 acuíferos: uno superior de tipo libre y uno inferior de tipo confinado, los cuales se describen brevemente a continuación.

En lo que respecta a la relación subterránea con otras cuencas, la configuración piezométrica muestra un parteaguas subterráneo bien definido entre los acuíferos La Colorada y Matape-Empalme, (Rangel, 1997).

#### 4.2.1. ACUÍFERO SUPERIOR DEL VALLE DE GUAYMAS

Las transmisividades deducidas de las pruebas de bombeo realizadas por la compañía Técnicas Modernas de Ingeniería (TMI, 1975), varían en el rango de 0.001 m<sup>2</sup>/s a 0.071 m<sup>2</sup>/s. Puesto que la mayoría de los pozos utilizados penetran totalmente al acuífero y están ademados con tubería ranurada en la mayor parte de su longitud, se estima que la transmisividad es aproximadamente representativa de la permeabilidad del acuífero. Puede notarse que, en términos generales, los valores decrecen de aguas arriba hacia aguas abajo y de la porción occidental del valle hacia la porción oriental; las transmisividades mayores se presentan en la parte alta de la zona de riego, y las menores, en las proximidades del litoral (Figura 87).

**Figura 87.- Transmisividades (m<sup>2</sup>/s) en el Valle de Guaymas**



FUENTE: TMI (1975)

La distribución señalada es compatible con la litología de los rellenos. En efecto, el tamaño medio de los sedimentos clásticos que constituyen el acuífero, decrece de aguas arriba hacia aguas abajo y del cauce principal hacia los bordes del valle; en las partes altas del mismo hay predominio de materiales gruesos, mientras que en las partes bajas es mayor la proporción de materiales finos.

Los caudales específicos varían entre 9 y 100 L/s/m, con una distribución en el área muy semejante a la de la transmisividad.

A juzgar por la geología subterránea de la parte alta del Valle de Guaymas, las condiciones de transmisividad son menos favorables que en la parte baja del valle o zona de riego: los rellenos aluviales son de grano grueso, pero de espesor poco potente y no se encuentran permanentemente saturados; los materiales subyacentes son gravas y arenas emplazadas en arcilla, formando un conglomerado poco permeable.

#### **4.2.2. ACUÍFERO INFERIOR DEL VALLE DE GUAYMAS**

Los registros de profundidad de los niveles del agua en el acuífero inferior del año 1968, variaban entre 10 y 60 m, apreciándose obviamente, que la profundidad aumentaba con la elevación topográfica.

Un aspecto muy importante es que los niveles del agua de este acuífero se encontraban a menores profundidades que los niveles del acuífero superior.

Otro hecho también significativo, es que algunos de los pozos que atravesaron los rellenos aluviales y penetraron algunos metros en el estrato de arcilla azul, tienen sus niveles de agua menos profundos que los pozos circunvecinos que sólo captan el relleno aluvial.

La distribución de transmisividades de este acuífero es prácticamente desconocida, ya que sólo se dispone de los resultados de una prueba de bombeo realizada en el pozo PGB-6, funcionando el pozo PGO-6 como de observación. El coeficiente de transmisividad deducido de esta prueba tiene un valor de  $2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  y el caudal específico fue de 112.4 L/s/m; el pozo atraviesa 180 m de arenas con intercalaciones arcillosas.

De acuerdo con la escasa información geológica disponible, este acuífero tiene un espesor medio de unos 200 m, y está constituido por materiales aluviales (arenas, gravas y arcillas), intercalados con areniscas y conglomerados, decreciendo el tamaño de los clásticos hacia la costa.

Por consiguiente, es lógico suponer que la transmisividad decrece también en ese sentido, y que el coeficiente de transmisividad deducido en el pozo PGB-6, ubicado en la porción alta de este acuífero, es representativo del orden de magnitud de las mayores transmisividades del mismo.

#### **4.2.3. VALLE DE CRUZ DE PIEDRA (BOCA ABIERTA)**

- Depósitos aluviales, fluviales y lacustres (Terciario y Cuaternario)

Estos depósitos ocupan toda la superficie de este valle con espesores que varían entre 80 y 100 m. Consisten de boleos, gravas y arenas, intercaladas con lentes de arcilla y de caliche.

Como en el caso del Valle de Guaymas, su distribución es también errática, encontrándose además, una interdigitación de "arcilla café" de facies continental y marina.

Como este valle dentro del esquema tectónico de la cuenca representa un graben de mayor elevación que el de Guaymas, por haber permanecido relativamente

estable en relación con aquél, los materiales de relleno acumulados alcanzan espesores máximos de sólo 100 m.

- Acuífero aluvial

Para el acuífero aluvial de este valle los cortes geológicos de algunos pozos y los sondeos geofísicos señalan que, en términos generales, la permeabilidad debe ser menor que la del acuífero superior del Valle de Guaymas. En efecto, el relleno está constituido principalmente por material piroclástico intercalado con sedimentos arcillosos de origen marino; y la cobertura aluvial, de poco espesor, está constituida por materiales predominantes finos, a causa de la baja capacidad de arrastre de las corrientes que drenan este valle, como es el Arroyo Chicuroso.

- Acuífero basáltico

En la porción noroccidental del valle, aledaño al poblado de La Misa, un pozo de exploración, puso de manifiesto la existencia de derrames basálticos a una profundidad de 318 m.

Por otra parte, en el extremo norte del Valle de Cruz de Piedra (Boca Abierta), otro pozo de exploración, también cortó una capa basáltica a la profundidad de 360 m.

Entre ambos pozos no existe punto de apoyo, que permita delinear una continuidad entre ambos derrames basálticos. Sin embargo, dada la génesis del valle, es posible suponer, que los derrames basálticos pudieron ser emitidos, entre otros focos, por fracturas mayores emplazadas en la cabecera de la cuenca y que los escurrimientos pudieron cubrir gran parte de la antigua topografía de la cuenca.

Puede seguirse el trazo del techo de una capa basáltica en una longitud de 13 km; es probable, sin embargo, que de existir dicha correspondencia de emisiones, la continuidad de la capa basáltica pueda estar interrumpida por fallas o fracturas transversales al valle.

**La transmisividad de los basaltos** no pueden inferirse mediante pruebas de bombeo; en primer lugar, porque la teoría de la Hidráulica de Pozos no es aplicable a este tipo de acuíferos, caracterizados por una marcada heterogeneidad y un régimen de flujo turbulento; y en segundo lugar, porque el diámetro reducido de varios de los pozos exploratorios, no permitió la instalación de equipos de bombeo.

No obstante lo anterior, los caudales específicos de los pozos profundos proporcionan una idea de la transmisividad del acuífero en cuestión. Destaca por su extraordinario rendimiento, el pozo PGB-12, que proporcionó un caudal de 190 L/s, con un abatimiento menor a los 0.80 m, siendo su caudal específico del orden de los 250 L/s/m. Los pozos "Bacatete 3" y Bacatete 5", ubicados en las estribaciones de la sierra, tienen también rendimientos altos, ya que proporcionaron caudales entre 140 y 150 L/s con abatimientos reducidos. Los datos anteriores reflejan una permeabilidad muy favorable, derivada del fracturamiento del basalto.

De todo lo anterior, se desprende que las condiciones favorables de permeabilidad se extienden por lo menos a un tercio del Valle de Cruz de Piedra (Boca

Abierta), área ocupada por los pozos y sondeos exploratorios.

Tales condiciones han hecho que se considere especialmente prometedora la explotación de este acuífero; sin embargo, hay otros factores que limitan seriamente sus posibilidades, como lo es su confinamiento con sedimentos finos de espesor considerable que reducen su capacidad de almacenamiento.

### **4.3. CARACTERÍSTICAS GEOHIDROLÓGICAS DEL VALLE DE SAN JOSE DE GUAYMAS**

Desde 1975, año de ejecución del estudio de Técnicas Modernas de Ingeniería (TMI), se ha avanzado poco en el conocimiento de las características hidráulicas de los materiales que limitan y forman los acuíferos de la zona, sin embargo las pruebas de bombeo efectuadas para los valles de Guaymas y San José de Guaymas, dan información adecuada para modelar el comportamiento del acuífero.

Con base en doce pruebas de bombeo se determinó que la transmisividad varía en rango de  $5 \times 10^{-3}$  a  $15 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , presentándose las mayores en el centro del valle y decreciendo hacia sus fronteras incluida la línea de costa. El coeficiente de almacenamiento debe corresponder al de un acuífero freático, esto es entre 0.1 y 0.2 dependiendo de la porosidad efectiva del acuífero y de la proporción de lentes arcillosos intercalados: a mayor porosidad del acuífero y mayor proporción de lentes se tiene más capacidad de almacenamiento. Al calibrar el modelo de flujo, se obtuvo para este valle un coeficiente de 0.14 (Martínez, 2000).

### **4.4. HIDRÁULICA DE POZOS**

#### **4.4.1. PRUEBAS DE BOMBEO**

La ejecución de las pruebas de bombeo nos permite determinar las propiedades hidráulicas de un acuífero, para predecir su comportamiento bajo diferentes situaciones y evaluar la disponibilidad de recursos de agua subterránea. En general, es necesario obtener información de varios puntos seleccionados del acuífero.

Como parte de los estudios geohidrológicos realizados durante 1967 y 1968, se llevaron a cabo 30 pruebas de bombeo en pozos distribuidos en los valles de Guaymas y Cruz de Piedra, también conocido como Boca Abierta. En el estudio de Técnicas Modernas de Ingeniería (TMI) realizado en 1975, se efectuaron 31 pruebas complementarias; asimismo, se revisaron las pruebas de bombeo efectuadas por otros autores con anterioridad. En la mayoría de los casos, las pruebas consistieron en una etapa de abatimiento y una de recuperación; su duración dependió del comportamiento del nivel del agua y de la disponibilidad de los pozos.

Debido a que la mayoría de los estudios se concentran en el Valle de Guaymas, ubicado en la parte baja de la Cuenca del Río Mátape, se carece de datos de transmisividades en la parte alta de la cuenca, por lo que se decidió buscar algunos

pozos apropiados para realizar pruebas de bombeo.

Para ello, en Julio del 2006 se hicieron recorridos por la parte alta de la cuenca, visitándose 3 pozos sobre el límite de los acuíferos Mátape y Valle de Guaymas, en los cuales se trató de realizar las pruebas. Sin embargo, sólo en 2 de ellos, se tuvo una respuesta palpable del acuífero al estímulo proporcionado a través del bombeo. Los datos se consignan en las Tablas 43, 44 y 45.

En la prueba de bombeo en Cobachi, se midió la profundidad del agua, que resultó ser de 4.15 m. Como no se tienen datos del espesor del acuífero, a la profundidad del pozo (tomada del REPDA) de 145.0 m, se le restó la profundidad del nivel estático de 4.15 m, resultando 140.85 m, longitud que se consideró como el espesor saturado del acuífero (Tabla 43).

En la prueba de bombeo en La Galera, se midió la profundidad del agua, que resultó ser de 1.50 m. Como no se tienen datos del espesor del acuífero, a la profundidad del pozo (tomada del REPDA) de 150.0 m, se le restó la profundidad del nivel estático de 1.50 m, resultando 148.50 m, longitud que se consideró como el espesor saturado del acuífero (Tabla 44).

**Tabla 43.- Prueba de bombeo en Cobachi, Mpio. La Colorada**

Tiempo (min)	Abatimiento (m)	Abat. Acum. (m)
0.5	0.015	0.015
1.0	0.000	0.015
1.5	0.000	0.015
2.0	0.006	0.021
2.5	0.000	0.021
3.0	0.000	0.021
3.5	0.000	0.021
4.0	0.000	0.021
4.5	0.000	0.021
5.0	0.003	0.024
6.0	0.000	0.024
7.0	0.000	0.024
8.0	0.000	0.024
9.0	0.000	0.024
10.0	0.000	0.024
15.0	0.000	0.024
20.0	0.011	0.035
25.0	0.000	0.035
30.0	0.006	0.041

Atendió = Sra. Eduwiges Figueroa  
 Pozo de bombeo = Agua Potable de Cobachi  
 Diámetro = 3" Q = 9 L/s  
 Distancia al pozo de observación r = 43.30 m  
 Pozo de observación = N° 420  
 Propietario = Alejo Escoboza González  
 Coordenadas: X = 573,016 Y = 3'196,517  
 Altura del brocal = 461.50 m  
 Profundidad del agua = 4.15 m  
 Elevación del nivel estático = 457.35 m  
 Profundidad del pozo = 145.0 m  
 Espesor saturado del acuífero = 140.85 m

Tabla 44.- Prueba de bombeo en La Galera, Mpio. La Colorada

Tiempo (min)	Abatimiento (m)	Abat. Acum. (m)
0.5	0.000	0.000
1.0	0.000	0.000
1.5	0.500	0.500
2.0	0.000	0.500
2.5	0.300	0.800
3.0	0.000	0.800
3.5	0.000	0.800
4.0	0.200	1.000
4.5	0.000	1.000
5.0	0.500	1.500
6.0	0.000	1.500
7.0	0.000	1.500
8.0	0.000	1.500
9.0	0.300	1.800
10.0	0.000	1.800
15.0	0.000	1.800
20.0	1.200	3.000
25.0	0.000	3.000
30.0	0.400	3.400

Atendió = Sr. Encargado pozo agua potable  
 Pozo de bombeo = Agua Potable de La Galera  
 Diámetro = 2" Q = 4 L/s  
 Distancia al pozo de observación r = 123.00 m  
 Pozo de observación = No. 554  
 Propietario = Jesús Rendón Coronado  
 Coordenadas: X = 573,026 Y = 3'194,724  
 Altura del brocal = 459.50 m  
 Profundidad del agua = 1.50 m  
 Elevación del nivel estático = 458.00 m  
 Profundidad del pozo = 150.0 m  
 Espesor saturado del acuífero = 148.50 m

En la tercer prueba de bombeo efectuada en el poblado de Mátape, se seleccionó cerca del río, un pozo agrícola con un pozo de observación a 65.00 m (Tabla 45). Durante el bombeo no se registraron abatimientos en el pozo de observación, por lo que se considera que la prueba falló. Posiblemente se deba a que el acuífero en ese momento tenía mucha agua, producto de recarga por lluvia, y el bombeo no significó cambios en la elevación del nivel estático.

Tabla 45.- Prueba de bombeo en Mátape, Mpio. Villa Pesqueira

Tiempo (min)	Abatimiento (m)	Abat. Acum. (m)
0.5	0.000	0.000
1.0	0.000	0.000
1.5	0.000	0.000
2.0	0.000	0.000
2.5	0.000	0.000
3.0	0.000	0.000
3.5	0.000	0.000
4.0	0.000	0.000
4.5	0.000	0.000
5.0	0.000	0.000
6.0	0.000	0.000
7.0	0.000	0.000
8.0	0.000	0.000
9.0	0.000	0.000
10.0	0.000	0.000
15.0	0.000	0.000
20.0	0.000	0.000
25.0	0.000	0.000
30.0	0.000	0.000

Atendió = Sr. Concepción Córdova  
 (Encargado pozo agua potable)  
 Pozo de bombeo = Agrícola Poblado Mátape  
 Diámetro = 3" Q = 9 L/s  
 Distancia al pozo de observación r = 65.00 m  
 Pozo de observación = Milpa La Misión  
 Propietario = No se tiene el dato  
 Coordenadas: X = 600,390 Y = 3'221,563  
 Altura del brocal = 730.00 m  
 Profundidad del agua = 8.90 m  
 Elevación del nivel estático = 721.10 m  
 Profundidad del pozo = No se tiene el dato  
 Espesor saturado del acuífero = Se desconoce

Una vez que se tuvieron todos los datos del pozo y de las pruebas de bombeo, se introdujeron al programa Aquifer Test, para obtener los parámetros geohidrológicos, que son la Transmisividad (T) y el Coeficiente de Almacenamiento (S), los cuales se calcularon eligiendo el Método de Theis (Tabla 46).

Se sabe que la Transmisividad es la capacidad de un acuífero para transmitir un fluido y se representa por el producto:

$$T = k * b$$

Donde:

T = Transmisividad (m<sup>2</sup>/s)

k = Conductividad hidráulica (m/s)

b = Espesor saturado del acuífero (m)

De la fórmula se despejó k y fue calculada a partir del espesor del acuífero estimado con las pruebas de bombeo y de la transmisividad obtenida con el Aquifer Test (Tabla 46).

**Tabla 46.- Parámetros geohidrológicos obtenidos de las pruebas de bombeo en la Cuenca del Río Mátape**

CUENCA RIO MATAPE	LUGAR	AQUIFER TEST	TMI (1975)
Parte alta	Pozo N° 420 Cobachi (Alejo Escoboza González)	T = 0.00071 m <sup>2</sup> /s S = 0.00286 b = 140.85 m k = 5.04 <sup>-6</sup> m/s	
Parte alta	Pozo N° 554 La Galera (Jesús Rendón Coronado)	T = 0.0338 m <sup>2</sup> /s S = 6.38 b = 148.50 m k = 2.27 <sup>-4</sup> m/s	
Parte baja	Valle de Guaymas		T = 0.001 a 0.071 m <sup>2</sup> /s S = 0.012

Los resultados de las pruebas de bombeo realizadas no son muy consistentes (Tabla 46), por lo que se decidió no utilizarlos en el presente trabajo. Para determinar más adelante, los flujos subterráneos de entrada y salida al acuífero, se usaron los valores consignados en el trabajo de TMI (1975).

#### 4.4.2. CALCULO DE PARÁMETROS GEOHIDROLOGICOS

**Transmisividad (T).** Debido a que las pruebas de bombeo son escasas en el área de estudio, las que existen se concentran en el Valle de Guaymas, y las realizadas en la parte alta no dieron resultados consistentes, la transmisividad se puede estimar en base a criterio geológico, es decir, según el tipo de roca existente o con los cortes litológicos de pozos, si se tienen. De acuerdo a esto, los valores que se pueden asignar en la cuenca, fluctúan entre 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s en las partes cercanas a las sierras, hasta 10<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>/s en el centro del valle, que corresponden a los paleocauces de los arroyos Mátape, Moscobampo y San Alejandro.

**Coefficiente de almacenamiento (S) ó del rendimiento específico (Sy).** Algunos autores citan la existencia de 2 acuíferos, uno confinado y otro libre en el Valle de Guaymas o parte baja de la cuenca. El coeficiente de almacenamiento de acuerdo a la bibliografía consultada, para acuíferos confinados se halla en el rango de 10<sup>-4</sup>, mientras que para los acuíferos libres se utiliza el rendimiento específico entre 8 y 10%.

**Permeabilidad ó conductividad hidráulica.** Existen pocas pruebas de bombeo y por lo mismo poca información sobre la transmisividad y el espesor del acuífero, que nos permitan despejar la conductividad hidráulica. Sin embargo, algunos autores la han calculado, como Tapia (2000), quién realizó una modelación matemática del acuífero de Guaymas usando el Modflow y estimó permeabilidades de 10<sup>-5</sup> a 10<sup>-4</sup> m/s.

#### **4.5. PIEZOMETRIA**

Del inventario de aprovechamientos hidráulicos subterráneos, registrados en el Padrón de Usuarios del Distrito de Riego 084, se tiene información de la profundidad de los niveles estáticos a partir del año de 1957 al 2006. En 1957, los niveles estáticos se encontraban entre 15 y 80 m de profundidad en el área de riego, aumentando gradualmente de la costa hacia aguas arriba. En ese tiempo ya se reflejaban los efectos del bombeo en la porción central del área de riego; no obstante, en términos generales, se obtuvo una idea aproximada de la profundidad a que se encontraban los niveles estáticos en condiciones naturales.

La información piezométrica de Octubre de 1975 en el área de riego, muestra que la profundidad de los niveles estaba entre 25 y 90 m, evidenciando la influencia de la explotación, principalmente en la porción central del área cubierta por los pozos. Claramente se manifestaba el descenso de los niveles en el acuífero, producto de la sobreexplotación del recurso.

En los últimos años se han mantenido los niveles estáticos entre - 30 y - 55 mbnm con una gran explotación en la zona centro-oeste del Valle de Guaymas, formándose un cono de abatimiento alrededor de los poblados de Maytorena y José Ma. Morelos y Pavón.

##### **4.5.1. EVOLUCION DE NIVELES ESTATICOS**

En 1975, la compañía Técnicas Modernas de Ingeniería, propone la primera configuración piezométrica de las condiciones naturales, antes de que se explotara intensamente el acuífero, y que tales condiciones se empezaran a alterar a principios de los años 50's. La dirección predominante del flujo subterráneo era NE-SW, las elevaciones del nivel estático aumentaban gradualmente de la costa hacia aguas arriba, desde unos 5 msnm a la altura de la carretera internacional, hasta unos 25 msnm en las proximidades del Bordo de Ortiz.

En la configuración del año 1957, se refleja una sobreexplotación incipiente, dado que se observan cotas abajo del nivel del mar, alcanzando hasta - 7 mbnm, cerca del poblado de Maytorena, la explotación había interceptado ya el gradiente hidráulico natural, invirtiendo la dirección del flujo de la costa hacia tierra adentro.

Para 1967, los efectos de la sobreexplotación habían avanzado notablemente, observándose que entre los poblados Maytorena y Mi Patria es Primero, los niveles fluctuaban alrededor de - 20 mbnm.

En el año de 2005 la elevación de los niveles estáticos variaba de - 6.67 a - 43.66 mbnm (CONAGUA, 2005). En la actualidad los niveles fluctúan alrededor de los - 50 mbnm, al sur de Maytorena. La curva cero se ha desplazado cerca de 40 km hacia el NE.

Los conos de abatimiento han progresado mayormente en la zona de Maytorena debido a las siguientes razones:

- a).- En esta zona se concentran los pozos agrícolas y de agua potable, cuyos caudales son muy grandes y el tiempo de bombeo muy prolongado.
- b).- La presencia de la Sierra Santa Ursula al oeste, actúa como una barrera

impermeable.

c).- La escasa recarga proveniente del norte, es captada por el gran número de pozos ubicados en esa porción.

Esta sobreexplotación se aceleró de los años 1965 a 1985, con volúmenes de extracción entre 150 y 200 Mm<sup>3</sup>/año. De 1985 a la fecha, estas extracciones se redujeron, pero se mantuvieron arriba de los 100 Mm<sup>3</sup>/año.

Según el censo de pozos en 1987, existían en el valle 276 captaciones de agua subterránea: 241 pozos y 35 norias, de los cuales 159 pozos eran para fines agrícolas, 105 para uso doméstico y abrevadero y 12 para agua potable. Según INEGI (1993), existen 159 pozos operando en el valle, con una extracción anual de 157 Mm<sup>3</sup>.

### **Pozos de COAPAES**

Más de una docena de pozos eran utilizados para surtir de agua a las poblaciones de Empalme, Guaymas y San Carlos por la Comisión de Agua Potable del Estado de Sonora (COAPAES).

Para tal fin se inició la perforación de pozos en la zona de San José de Guaymas, después se continuó en la zona de Maytorena, hasta que en 1980 debido al abatimiento de estas 2 zonas, se perforaron 4 pozos de emergencia en el Valle de Cruz de Piedra, también conocido como Boca Abierta. En 1987, se perforaron 3 pozos más en Boca Abierta.

Para aumentar los problemas, en 1990, 5 pozos de Maytorena y de San José de Guaymas se colapsaron y el resto se fueron abatiendo fuertemente. En 1993 se vio la necesidad de perforar 10 pozos a un costado del Río Yaqui, aguas abajo de la Presa Álvaro Obregón y se construyó un acueducto de 120 km de longitud, un tanque de rebombeo en Estación Corral, varias plantas de rebombeo en Vícam, Boca Abierta, Empalme, Batuecas y San José de Guaymas, resultando un total de 10 pozos en el Río Yaqui, con un caudal de 500 L/s, 7 pozos en Boca Abierta, con 300 L/s, 2 pozos en Maytorena con 100 L/s y 1 pozo en San José de Guaymas, con 70 L/s.

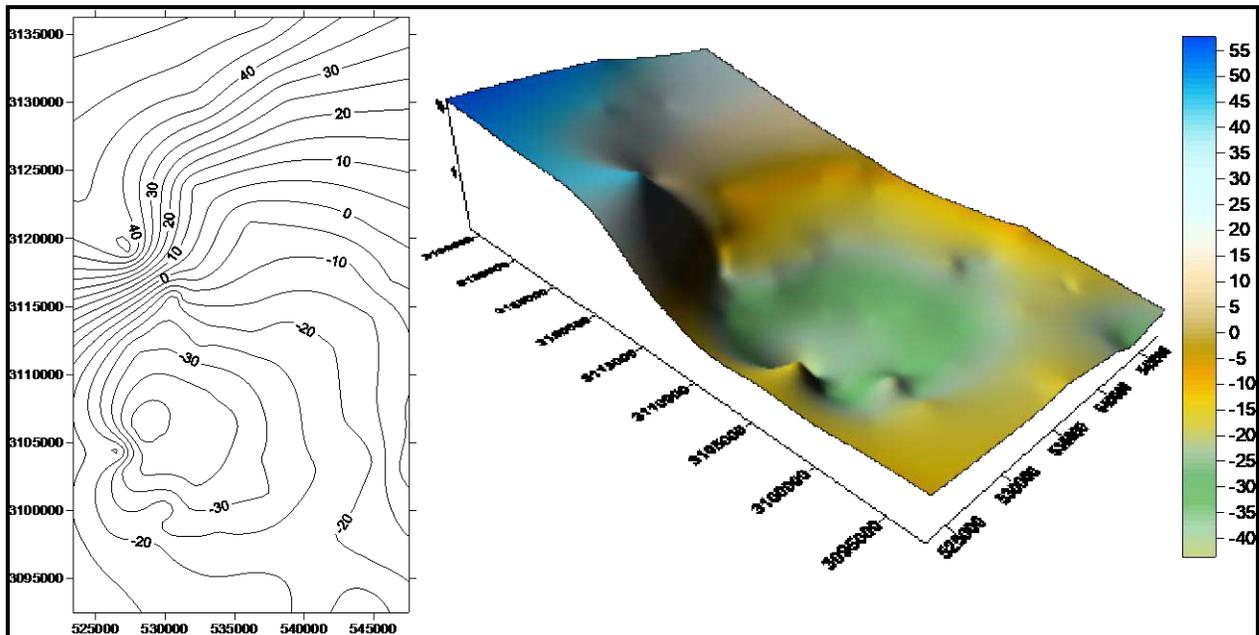
Un aspecto importante de estas captaciones es que en los últimos 10 años, el caudal de bombeo se ha reducido drásticamente. Aunado a ello, se presenta contaminación por manganeso en los pozos del Yaqui, de intrusión de agua de mar en los pozos de Boca Abierta y San José de Guaymas, y fuerte abatimiento de los niveles de agua en los pozos de Maytorena.

Con el fin de conocer la evolución de los niveles estáticos año con año, se realizan los paros de bombeo, en los cuales, personal de la Comisión Nacional del Agua mide con sonda eléctrica, la profundidad del nivel del agua en cada pozo y lo consigna en registros para saber si el acuífero ha sufrido recuperación o abatimiento. Para el presente trabajo se usaron los niveles estáticos medidos en el paro de bombeo del año 2005 (CONAGUA, 2005), y se elaboró en Surfer el mapa de igual elevación de nivel estático (Figura 88).

**Tabla 47.- Paro de bombeo en el Valle de Guaymas-Empalme (2005)**

POZO		Elevación	Elevación modelo digital		X	Y	2005
No. LOCAL							
101	Teresa de Jesús Lozano	47.607	47.607	529201,3106635	529201	3106635	-43.66
24-M	Ejido Maytoarena	47.103	47.103	528491,3106603	528491	3106603	-43.35
43-M	Ejido Maytoarena	44.235	44.235	528331,3105341	528331	3105341	-41.64
100	Francisco Javier Villaseñor Maytoarena	46.476	46.476	530047,3106453	530047	3106453	-40.18
99	Ricardo Arturo Villaseñor Lozano	44.382	44.382	529559,3105221	529559	3105221	-39.32
25-M	Ejido Maytoarena	42.994	42.994	527264,3106231	527264	3106231	-38.73
50-JMM	Ejido Santa María	50.619	50.619	531519,3107380	531519	3107380	-37.91
130 BIS	Colonia Narciso Bassols	56.134	51.92	534824,3106312	534824	3106312	-35.98
81	Alicia Elena Zaragoza Catalán	37.941	37.941	528610,3102788	528610	3102788	-35.84
12-JMM	Ejido Santa María		53.33	533537,3107847	533537	3107847	-35.45
17-SM	Ejido Santa María	55.896	56.43	533288,3109046	533288	3109046	-34.46
57	Elsa Gaxiola de Zaragoza	27.078	27.078	531890,3101042	531890	3101042	-34.33
12	S.P.R. de R.L. KOSA-WI	52	56.43	535366,3107452	535366	3107452	-34.05
78	Arturo Zaragoza Catalán	34.999	34.999	527217,3103031	527217	3103031	-33.30
15-SM	Ejido Santa María	60.526	59.53	534461,3108988	534461	3108988	-32.77
129	S.P.R. de R.L. KOSA-WI	60.243	57.45	536076,3107300	536076	3107300	-32.01
4-JMM	Ejido Santa María	58.921	68.14	530499,3111316	530499	3111316	-31.14
133	María del Carmen Parada Laborín	27.617	27.617	543388,3092678	543388	3092678	-30.11
92	Ejido Sonora	43.848	43.848	537433,3101120	537433	3101120	-30.09
94	Ejido Ursulo Galván	50.997	50.997	536933,3103826	536933	3103826	-29.90
105	Irma Salgado de Ibarra	61.412	73.7	527824,3111955	527824	3111955	-28.75
2-SM	Ejido Santa María	66.975	77.49	529758,3113191	529758	3113191	-28.07
3-SM	Ejido Santa María	61.685	74.17	529296,3112359	529296	3112359	-28.03
28	Barrios Zepeda Alejandro	30.477	30.477	530230,3098945	530230	3098945	-27.72
76	José y Eduardo Mudecí Estrella	31.197	31.197	527058,3100753	527058	3100753	-27.50
52-SM	Ejido Santa María		69.2	535464,3111206	535464	3111206	-27.04
84	Elsa María Juana Zaragoza Gaxiola	34.241	34.241	530635,3100793	530635	3100793	-27.04
5-JMM	Ejido Santa María	65.738	72.7	531314,3112487	531314	3112487	-26.75
24	Ejido Rubén Jaramillo	34.24	34.24	535447,3098744	535447	3098744	-25.86
26	Meducí Estrella José	32.695	32.695	533780,3098893	533780	3098893	-25.67
6-JMM	Ejido Santa María		70.05	532406,3112152	532406	3112152	-24.40
25	Ejido Sociedad Igualitaria	31.103	31.103	535013,3097728	535013	3097728	-24.19
8-JMM	Ejido Santa María	66.727	70.57	533442,3112493	533442	3112493	-24.16
109	S.P.R. de R.I. Legumbreira San Luis	76.504	87.74	530652,3115624	530652	3115624	-24.00
147	S.P.R. de R.I. Santa Isabel		55.83	542119,3104028	542119	3104028	-24.00
52-M	Ampliación Maytoarena		58.47	542881,3104584	542881	3104584	-23.68
135	Lucía Parada Laborín	27.027	27.027	541883,3093288	541883	3093288	-23.42
125	Ejido Santa Eduwiges	82.414	79.67	538514,3113062	538514	3113062	-22.19
72	Rómulo Díaz Brown Ramos	28.292	28.292	526242,3099367	526242	3099367	-22.13
33-CP	Ejido Cruz de Piedra	27.512	27.512	534443,3096526	534443	3096526	-22.00
1-CP	Ejido Junelancahui		56.16	544468,3103636	544468	3103636	-21.99
23-SM	Ejido Santa María	73.415	73.99	536143,3112316	536143	3112316	-21.56
58	Reynaldo Díaz Brown Ramos	27	27	526435,3098690	526435	3098690	-21.54
150	Ejido Triunfo Santa Rosa	83.049	80.03	540618,3111807	540618	3111807	-20.92
83	Gaspar Zaragoza Yberri	33.231	33.231	529900,3100021	529900	3100021	-20.77
131	Nvo. Centro de Pob. Ejidal El Norteño	43.905	43.905	545090,3097761	545090	3097761	-20.46
41-M	Ejido Maytoarena	42.621	59.61	542143,3104982	542143	3104982	-20.39
29	Espada Cortés Raquel Alicia	29.262	29.262	540827,3098638	540827	3098638	-20.20
10-JMM	Ejido Santa María		75.55	533357,3113570	533357	3113570	-19.90
73	Rogelio Díaz Brown Ramos	29.922	29.922	524985,3099979	524985	3099979	-19.56
139	Ejido Francisco Márquez	19.665	85.68	542826,3112461	542826	3112461	-19.37
132	Ganadera Los Hoyos S.A. de C.V.	41.004	41.004	544299,3097697	544299	3097697	-18.72
138	Colonia San Francisco	23.694	23.694	536744,3094379	536744	3094379	-18.36
16	Tapia Rodolfo	19.205	19.205	534288,3093325	534288	3093325	-18.35
34	Espada Cortés José	26.622	26.622	529224,3097158	529224	3097158	-18.26
31-M	Ejido Maytoarena	41.051	41.051	545145,3097731	545145	3097731	-17.13
19-SM	Ejido Santa María		83.16	536626,3114749	536626	3114749	-16.21
14	de Sesteaga Antonia Rene Ibarra	15.599	15.599	535602,3092498	535602	3092498	-14.84
32-CP	Ejido Cruz de Piedra	30.14	98.32	545272,3114686	545272	3114686	-14.06
113	S.P.R. de R.I. Legumbreira San Luis	76.968	86.45	531361,3115503	531361	3115503	-13.63
66	Manuel Preciado Valdez	21.587	21.587	523379,3097299	523379	3097299	-13.11
152	Ejido El Yaqui		98.27	542866,3116400	542866	3116400	-12.96
27-M	Ejido Maytoarena	41.437	41.437	526695,3104291	526695	3104291	-12.56
93	Ejido Sonora	43.777	79.26	547128,3107523	547128	3107523	-10.18
54-SM	Ejido El Yaqui		104.48	543405,3118279	543405	3118279	-9.82
E-2	Ejido Adolfo de la Huerta		96.2	537324,3118320	537324	3118320	-9.61
49	Ana Cecilia Hernan Rivera	82.266	89.4	532613,3116429	532613	3116429	-9.00
2-CP	Ejido El Yaqui	103	106.76	544799,3117330	544799	3117330	-8.10
146	Colonia Vicente Guerrero		71.13	547527,3103155	547527	3103155	-6.67

FUENTE: CONAGUA (2005)

**Figura 88.- Plano de igual elevación de nivel estático (2005)**

Aún con las medidas de reducción en las extracciones efectuadas en los 10 años del programa, los niveles estáticos se han mantenido alrededor de -50 mbnm (Anexo III).

Tomando como base la información de la elevación de los niveles estáticos inferidos para el año de 1950, donde se indica que en la zona de Maytorena, los niveles se registraban a la elevación de 10 msnm y comparándolos con los niveles del año de 2005, cuya posición se registra a - 44 mbnm, se manifiesta un abatimiento máximo en los niveles estáticos de 54 m, en un lapso de 55 años, que equivale a casi 1 m/a.

#### **4.6. CALIDAD DEL AGUA**

La conservación de las aguas subterráneas en términos de calidad de agua, es una actividad prioritaria en el área ambiental por ser éstas la principal fuente de abastecimiento de agua para los diferentes usos. Sin dejar escapar que se requiere un manejo integrado de los recursos agua-suelo-bosque, y considerar todos los aspectos social-político-administrativos principalmente.

Por lo tanto, se deben tomar las medidas de control necesarias para proteger los recursos hídricos subterráneos de la Cuenca del Río Mátape.

Durante los meses de febrero y marzo de 2007 el Distrito de Riego 084 Guaymas en coordinación con la CONAGUA, llevaron a cabo el análisis de agua de 63 pozos en el Valle de Guaymas (Tabla 48).

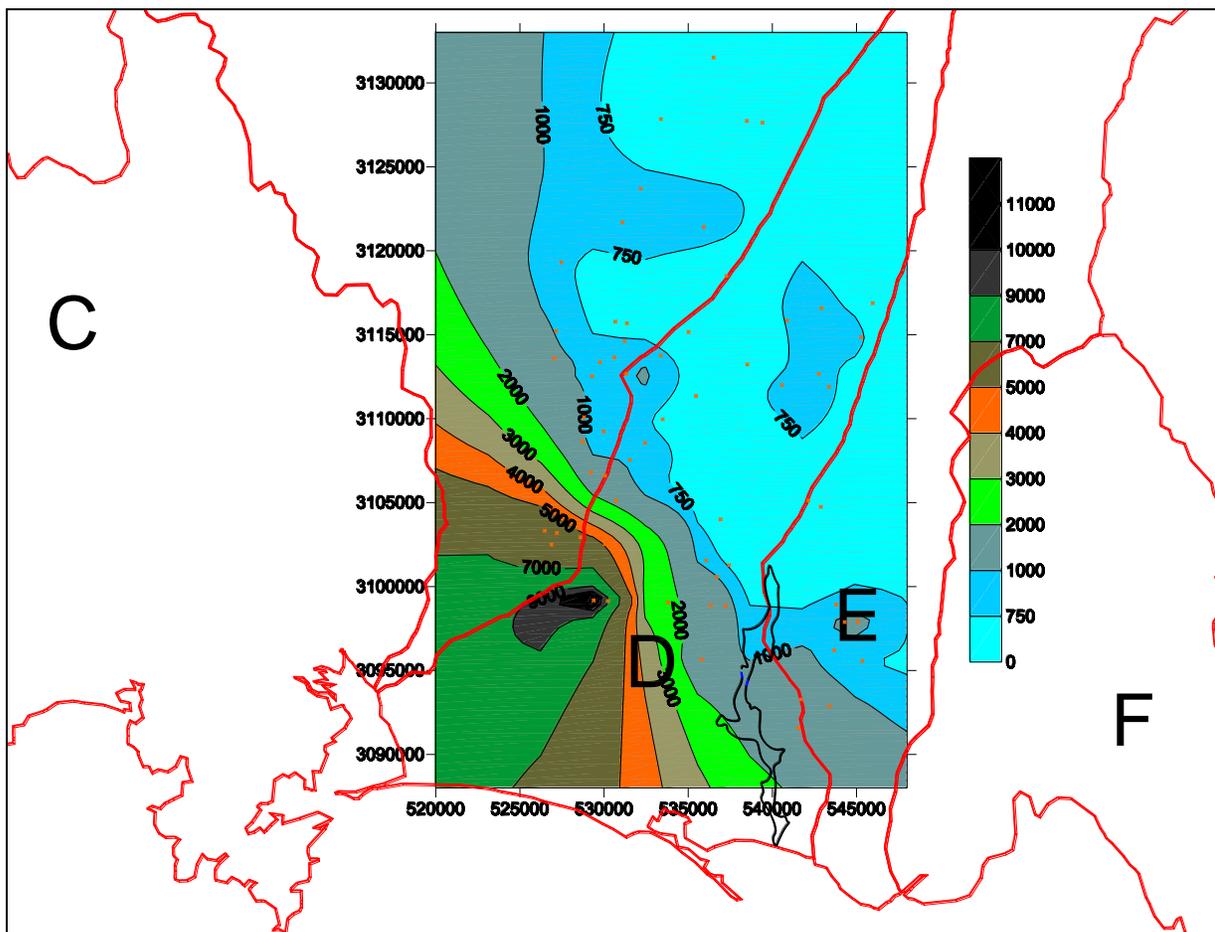
Tabla 48.- Análisis de agua en 63 pozos en el Valle de Guaymas (2007)

POZO	XUTM (m)	YUTM (m)	CE (Micromhos/cm)	ph	Ca (Me/L)	Mg (Me/L)	Na (Me/L)	CO3 (Me/L)	HCO3 (Me/L)	SO4 (Me/L)	Cl (Me/L)	RAS (Me/L) <sup>-1/2</sup>	CLASE	SCOFIELD	FAMILIA	CALIDAD DEL AGUA
94	536921	3104004	480	7.97	2.80	0.10	2.30	0.30	3.30	0.60	1.60	2.06	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
20SM	533380	3127847	520		0.90	0.20	4.10	0.50	3.10	1.30	1.30	5.53	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE CON ALGUNOS PROBLEMAS DE CONTENIDO DE SODIO
E2	537269	3118502	520		1.90	0.30	3.00	0.30	3.10	1.50	1.30	2.86	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
34CP	545964	3116883	540		2.30	0.50	2.60	0.30	3.00	1.40	1.70	2.19	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
26SM	535022	3115161	560	8.01	2.50	0.80	2.30	0.30	3.80	1.00	1.50	1.79	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
92	537424	3101274	560	7.88	2.40	0.60	2.60	0.40	2.80	1.70	1.70	2.12	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
125	538517	3113231	560	8.01	2.60	0.70	2.30	0.30	3.70	0.80	1.80	1.79	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
70	536510	3131516	580	7.85	2.50	0.90	2.40	0.20	5.30	0.20	1.10	1.84	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
52SM	535462	3111352	580	7.86	2.60	1.00	2.20	0.30	3.60	1.00	1.90	1.64	C1 S1	2	CARBONATO-CALSICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
118	545347	3095662	620	8.12	1.40	0.80	4.00	0.20	3.30	2.20	1.50	3.81	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
97	538483	3127737	620	7.78	2.80	0.60	2.80	0.30	4.10	0.90	1.90	2.14	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
29SM	529971	3109241	640	8.11	1.10	1.00	4.30	0.40	3.00	1.10	2.90	4.19	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE CLORUROS
113	531359	3115683	640	8.21	0.90	0.40	5.10	0.30	3.20	2.20	1.70	6.32	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE CON ALGUNOS PROBLEMAS DE CONTENIDO DE SODIO
11JMM	533482	3109970	640	7.99	3.00	1.70	1.70	0.30	3.40	1.30	2.40	1.10	C1 S1	2	CARBONATO-CALSICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
109	530668	3115779	660	8.02	0.70	0.20	5.70	0.50	3.00	1.70	2.40	8.49	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE CON ALGUNOS PROBLEMAS DE CONTENIDO DE SODIO
108	527465	3119315	660	8.21	1.30	0.50	5.70	0.20	3.00	1.50	2.90	6.00	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE CON PROBLEMAS LEVES DE CLORURO Y SODIO
52M	542884	3104747	680	8.07	2.00	0.80	4.00	0.30	3.50	2.30	1.70	3.38	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE SODIO
44SJG	536700	3101549	680	7.73	2.60	0.60	3.60	0.30	2.60	2.40	2.50	2.85	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
151	540878	3115850	720	7.90	3.20	1.40	2.60	0.30	3.60	2.10	2.20	1.71	C1 S1	2	CARBONATO-CALSICA	AGUA DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE SULFATOS
141	543362	3111893	720	7.87	3.30	1.00	2.90	0.20	3.50	2.10	2.40	1.98	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE SULFATOS Y CLORUROS
131	543791	3098915	720	8.00	2.30	0.70	4.20	0.20	3.30	2.50	2.20	3.42	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE SULFATOS Y SODIO
139	542761	3112668	720	7.91	3.00	1.20	3.00	0.10	3.30	1.60	1.80	2.07	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE DE BUENA CALIDAD
53SJG	536706	3100583	740	7.82	3.50	0.20	3.70	0.20	3.40	1.10	3.70	2.72	C1 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE PRIMERA CLASE CON ALGUNOS PROBLEMAS DE CLORUROS
95	539415	3127633	740	8.08	1.50	0.80	5.10	0.30	2.60	3.40	2.10	4.75	C1 S1	2	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON PROBLEMAS DE SULFATOS Y SODIO
112	531221	3114621	760	7.90	1.90	0.60	5.10	0.30	3.00	2.00	3.30	4.56	C2 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON PROBLEMAS DE CLORUROS Y SODIO
32CP	545276	3114851	780	8.15	2.50	0.80	4.50	0.20	3.10	4.10	1.40	3.50	C2 S1	2	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON ALGUNOS PROBLEMAS DE SULFATOS Y SODIO
41M	542135	3105138	780	8.14	2.10	0.70	5.00	0.20	3.20	3.20	2.20	4.22	C2 S1	2	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON ALGUNOS PROBLEMAS DE SULFATOS Y SODIO
10JMM	533372	3113769	780	8.06	4.20	0.90	2.70	0.20	4.20	1.00	3.40	1.69	C2 S1	2	CARBONATO-CALSICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE CLORUROS
111	530618	3113652	820	7.92	1.70	0.70	5.80	0.20	3.40	1.90	3.70	5.29	C2 S1	2	CARBONATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON PROBLEMAS LEVES DE CLORUROS Y SODIO
121	532181	3123705	820	7.81	2.50	1.20	4.50	0.30	5.00	2.00	1.90	3.30	C2 S1	3	CARBONATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON PROBLEMAS LEVES DE SODIO
35SM	529282	3112524	820	8.15	1.00	1.00	6.20	0.30	2.50	2.90	3.50	6.20	C2 S2	2	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE MEDIANA CALIDAD CON PROBLEMAS DE CLORUROS Y SODIO
100	530055	3106611	840	7.84	3.20	1.30	3.90	0.20	3.40	1.40	4.40	2.60	C2 S1	3	CARBONATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON PROBLEMAS DE CLORUROS Y SODIO
91	535928	3121412	860	7.84	2.70	1.10	2.80	0.30	3.10	1.10	5.10	2.03	C2 S1	3	CARBONATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON PROBLEMAS DE CLORUROS
98	530730	3105112	880	7.60	4.60	0.30	4.20	0.20	3.60	2.10	3.90	2.76	C2 S1	3	CARBONATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON PROBLEMAS DE CLORUROS.
9JMM	532432	3108557	880	7.72	4.10	1.10	3.60	0.10	3.10	2.60	4.00	2.23	C2 S1	3	CLORURO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE CLORURO Y SODIO
106	527050	3113597	940	7.96	1.70	0.40	7.30	0.30	3.90	2.90	3.30	7.12	C2 S1	3	CARBONATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON PROBLEMAS DE CLORUROS SULFATOS Y SODIO
107	527160	3115221	940	8.04	2.50	0.30	6.00	0.20	3.30	3.20	3.70	5.57	C2 S1	3	CARBONATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON PROBLEMAS DE CLORUROS, SULFATOS Y SODIO
25SM	529751	3113357	940	7.96	1.30	1.20	6.90	0.20	3.00	1.60	5.60	6.17	C2 S2	3	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON PROBLEMAS DE CLORUROS Y SODIO
120	531091	3121697	960	7.83	2.10	0.80	6.70	0.30	4.70	2.20	3.40	5.56	C2 S2	3	CARBONATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON PROBLEMAS DE CLORUROS Y SODIO
46SM	528813	3110086	960	7.72	1.80	0.10	7.70	0.30	2.70	5.40	2.20	7.90	C2 S2	3	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE SULFATOS Y SODIO
45SM	528706	3108630	980		2.60	0.50	6.70	0.30	2.20	2.80	5.50	5.38	C2 S1	3	CLORURO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE CLORUROS, SULFATOS Y SODIO
22	537215	3098850	980	7.76	4.50	0.70	4.60	0.30	2.90	1.70	5.90	2.85	C2 S1	3	CLORURO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON PROBLEMAS LEVES DE CLORUROS Y SODIO
152	542914	3116579	1,000	7.80	2.50	1.00	6.50	0.30	3.10	5.30	2.30	5.81	C2 S1	3	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE SULFATOS Y SODIO
150	540566	3112010	1,000	7.74	2.50	1.30	6.20	0.50	2.80	5.20	2.50	5.54	C2 S1	3	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE SULFATOS Y SODIO
23	536333	3098880	1,040	7.64	5.80	0.70	3.90	0.20	3.40	0.90	6.90	2.16	C2 S1	3	CLORURO-CALSICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE MEDIANA CALIDAD CON PROBLEMAS DE CLORURO
19	535794	3095664	1,080	7.70	5.60	1.00	4.20	0.20	2.60	2.30	6.70	2.31	C2 S1	3	CLORURO-CALSICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON PROBLEMAS DE CLORUROS Y SULFATOS
132	544298	3097885	1,080	7.83	4.50	2.30	4.00	0.20	3.30	1.90	6.40	2.17	C2 S1	3	CLORURO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON PROBLEMAS LEVES DE CLORUROS Y SODIO
37	543683	3096194	1,080	7.80	4.40	1.30	5.10	0.10	2.70	3.70	5.30	3.02	C2 S1	3	CLORURO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE MEDIANA CALIDAD CON PROBLEMAS DE CLORUROS, SULFATOS Y SODIO
31M	545085	3097918	1,120	8.16	2.00	0.60	8.60	0.20	3.60	6.50	1.90	7.54	C2 S1	3	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON ALGUNOS PROBLEMAS DE SULFATOS Y SODIO
50JMM	531523	3107539	1,120	7.63	7.20	2.10	1.90	0.10	3.30	0.00	8.80	0.88	C2 S1	3	CLORURO-CALSICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE CON PROBLEMAS GRAVES DE CLORUROS
138	541562	3091566	1,200	7.68	3.90	3.30	5.80	0.10	3.00	4.50	5.40	4.15	C2 S1	3	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE MEDIANA CALIDAD CON PROBLEMAS DE CLORUROS, SULFATOS Y SODIO
133	543384	3092867	1,280	7.81	6.20	2.00	4.60	0.20	3.30	2.50	7.80	2.27	C2 S1	3	CLORURO-CALSICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE MEDIANA CALIDAD CON PROBLEMAS DE CLORURO
5JMM	531320	3112671	1,360	8.19	4.70	1.50	7.40	0.20	2.60	4.70	7.10	4.20	C2 S1	3	CLORURO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE BUENA CALIDAD CON ALGUNOS PROBLEMAS DE CLORUROS Y SODIO
101	529214	3106789	1,360	7.73	6.60	2.90	4.10	0.30	4.40	0.50	10.40	1.88	C2 S1	3	CLORURO-CALSICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE MEDIANA CALIDAD CON PROBLEMAS DE CLORURO Y SODIO
135	541705	3093278	1,400	7.74	5.10	2.00	6.90	0.10	3.00	11.90	7.00	4.32	C2 S1	3	SULFATO-SODICA	AGUA DE SEGUNDA CLASE DE MEDIANA CALIDAD CON PROBLEMAS DE CLORUROS, SULFATOS Y SODIO
28	530242	3099137	2,200	7.58	8.40	9.00	4.60	0.30	3.70	2.80	16.20	1.56	C3 S1	4	CLORURO-CALSICA	AGUA DE TERCERA CLASE DE MEDIANA CALIDAD CON PROBLEMAS GRAVES DE CLORUROS Y SULFATOS
26	533798	3099049	3,200	7.60	16.20	12.00	3.80	0.20	2.20	5.40	25.20	1.01	C4 S1	4	CLORURO-CALSICA	AGUA DE CUARTA CLASE DE MALA CALIDAD CON PROBLEMAS GRAVES DE CLORUROS Y SULFATOS
79	526873	3102494	3,800	7.50	15.60	16.40	6.00	0.20	2.60	6.00	30.20	1.50	C4 S1	5	CLORURO-CALSICA	AGUA DE CUARTA CLASE DE MALA CALIDAD CON PROBLEMAS DE CLORUROS Y SODIO
81	528591	3102933	4,800	7.45	25.00	6.50	16.50	0.10	3.00	2.90	43.00	4.15	C5 S1	5	CLORURO-CALSICA	AGUA DE QUINTA CLASE DE MALA CALIDAD CON PROBLEMAS DE CLORUROS Y SODIO
78	527195	3103192	4,800	7.38	22.50	20.50	5.00	0.10	2.40	0.50	46.00	1.07	C5 S1	5	CLORURO-CALSICA	AGUA DE QUINTA CLASE DE MALA CALIDAD CON PROBLEMAS DE CLORUROS Y SODIO
82	530043	3102526	5,800	7.32	21.00	26.50	10.50	0.10	2.70	1.20	55.00	2.15	FC	5	CLORURO-CALSICA	AGUA PELIGROSA POR SU ALTA CONCENTRACION DE SALES
80	526478	3103322	6,400	7.40	26.00	24.00	14.00	0.20	1.60	1.20	62.00	2.80	FC	5	CLORURO-CALSICA	AGUA PELIGROSA POR SU ALTA CONCENTRACION DE SALES
29	529381	3099169	12,400	7.30	65.00	45.00	14.00	0.10	2.20	2.70	120.00	1.88	FC	5	CLORURO-CALSICA	AGUA PELIGROSA POR SU ALTA CONCENTRACION DE SALES

El análisis riguroso de las aguas para fines agrícolas requiere del análisis del agua en Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Cloruros, Sulfatos, Carbonatos, Bicarbonatos y Nitratos. Las aguas de riego se pueden clasificar en función de la conductividad eléctrica (micromhos/cm a 25 °C), el RAS, entre otros.

Estos datos fueron ordenados de menor a mayor conductividad eléctrica, este es el parámetro que define claramente la calidad del agua. Como podemos ver en la Tabla 48, con una conductividad de 0 a 700 Micromhos/cm son aguas de **Primera Clase**, de muy buena calidad para riego y puede utilizarse en todo tipo de cultivos y suelos; el rango de 701 a 1,500 Micromhos/cm son aguas de **Segunda Clase** con serios problemas de sulfatos, sodio y cloruros, puede utilizarse en suelos permeables en cultivos tolerantes a las sales; el rango de 1,501 a 5,000 Micromhos/cm son aguas de **Tercera, Cuarta y Quinta Clase** con problemas muy graves de contaminación por cloruros, sodio y sulfatos, su uso para riego no es recomendable. Y por último, el rango de 5,001 a 12,500 Micromhos/cm son aguas de pésima calidad **Fuera de Clasificación** y no utilizables para riego.

**Figura 89.- Plano de isovalores de conductividad eléctrica (Micromhos/cm-2007)**



Utilizando el software Surfer, se generó el Plano de isovalores de conductividad eléctrica, se superpuso la grafica georeferenciada en el contorno del Valle, donde podemos ver claramente como la intrusión salina ha avanzado más de 30 km tierra adentro de la costa, donde han aparecido islas de agua contaminada donde no lo estaba, a contaminado una área aproximada de 920 Km<sup>2</sup> (Figura 89 y 90).

**Figura 90.- Esquema de la calidad del agua en el Valle de Guaymas (conductividad eléctrica: Micromhos/cm-2007)**



Los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo de calidad de agua, muestran que el grado de contaminación en las aguas subterráneas es muy grave.

## **4.7. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO VALLE DE GUAYMAS**

### **4.7.1. DECRETOS DE VEDA**

Con el objeto de proteger el acuífero, por Decreto Presidencial de fecha 28 de Noviembre de 1956 y publicado el día 20 de Diciembre del mismo año en el Diario Oficial de la Federación (DOF), se estableció **veda** por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende el Valle de Guaymas, dentro de los límites definidos en el Artículo Primero del mencionado decreto.

En el Diario Oficial de la Federación del 5 de Julio de 1967, se publicó el acuerdo por el que se crea el Distrito de Riego del Valle de Guaymas y se declara de utilidad pública la operación de las obras denominadas Valle de Guaymas-Bordo Regulador de Ortiz y sus canales, la construcción de las obras que se requieran, así como la adquisición de los terrenos necesarios.

Por Decreto Presidencial de fecha 11 de Septiembre de 1978 y publicado en el Diario Oficial de la Federación a los 19 días del mismo mes y año, se ratificaron las vedas por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo, ampliándose a todo el territorio comprendido al oeste del meridiano 110° 00' de longitud oeste. Con este decreto, se ratificaron las anteriores zonas de veda y se amplió el área protegida conforme se explica en la citada publicación.

### **4.7.2. DECRETOS DE RESERVA O REGLAMENTO**

Con el propósito de preservar el recurso hídrico del subsuelo como una fuente permanente para sustentar a todos los sectores usuarios del agua subterránea, la anterior Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, acordó conjuntamente con los usuarios del Distrito de Riego mencionado llevar a cabo un Programa de Reducción de las extracciones, iniciando con un volumen de 185 Mm<sup>3</sup> en el ciclo 1983-1984 y terminó en el ciclo 1989-1990 con un volumen de 107.365 Mm<sup>3</sup>. Las metas se cumplieron, sin embargo, aún se registran descensos en los niveles estáticos.

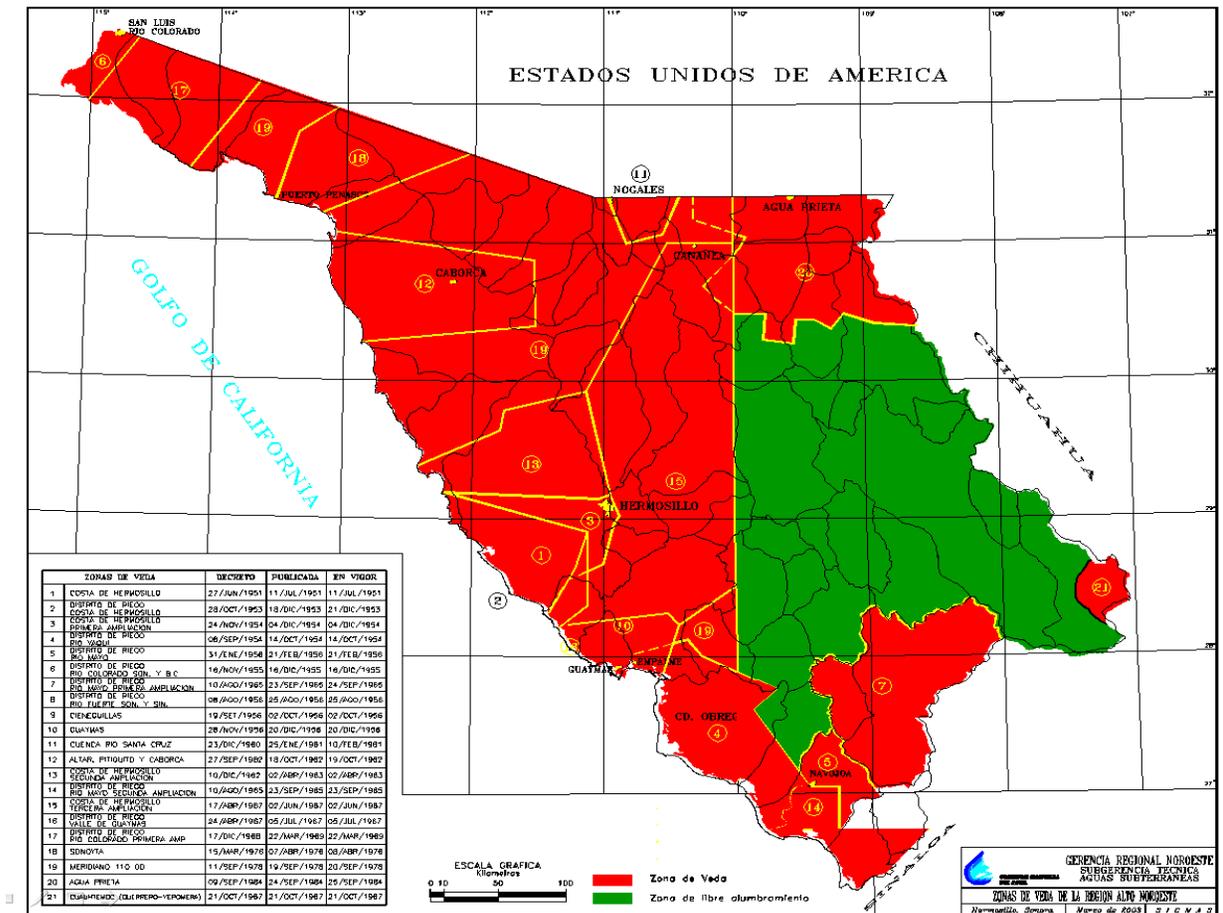
En el año de 1994, la Comisión Nacional del Agua elaboró la propuesta de **Reglamento de Veda** en la zona del acuífero del Valle de Guaymas, el cual contiene medidas adicionales para la extracción, aprovechamiento y uso de las aguas subterráneas con el propósito de alcanzar el equilibrio entre el volumen de extracción y de recarga al acuífero.

En cumplimiento de la normatividad vigente, el documento se envió a la superioridad para la revisión y seguimiento ante las instancias correspondientes para la consecución del caso.

### **4.7.3. ZONAS DE DISPONIBILIDAD**

Existen tres clases de veda establecidas conforme al Reglamento de la Ley Reglamentaria del Párrafo Quinto del Artículo 27 Constitucional, en materia de aguas del subsuelo, del 29 de diciembre de 1956, publicado en el DOF el 27 de Febrero de 1958, hasta la aparición de la **Ley de Aguas Nacionales (LAN)**.

Figura 91.- Zonas de veda de la Región II Noroeste



FUENTE: CONAGUA (2003)

Aunque la nueva Ley de Aguas Nacionales ya no clasifica las vedas, los decretos de veda sí continúan vigentes (Artículo 3º. de la LAN), pero se necesita el apoyo del ordenamiento anterior para poder manejar y administrar el recurso de la mejor manera posible.

En este sentido, esta clasificación se apoya en los artículos 2º y 3º transitorio de la LAN, y en los transitorios del Reglamento, aclarando que no se oponen al presente ordenamiento, sino por el contrario, lo apoyan y complementan.

Existen 3 tipos de vedas:

- Veda en la que no es posible aumentar las extracciones sin peligro de abatir peligrosamente o agotar los mantos acuíferos (**veda rígida**).
- Veda en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite la extracción para usos domésticos (**veda flexible**).
- Veda en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros (**veda de control**)

De acuerdo al mapa de la CONAGUA (2003), en la Región Hidrológico-Administrativa II “Noroeste”, la zona de veda (en rojo, Fig. 91) abarca más

de la mitad del Estado de Sonora, incluyendo la frontera con EEUU y la zona costera, y la zona de libre alumbramiento (en verde, Fig. 91), menor que la anterior, se reduce a la porción centro-oriental del estado.

En la actualidad toda la **Cuenca del Río Mátape** se encuentra en zona de **veda rígida**, a excepción de una pequeña porción en la parte alta del acuífero Río Mátape (Figura 91).

#### **4.7.4. ORGANIZACIÓN DE USUARIOS**

El acuífero del Valle de Guaymas, se ubica dentro de la jurisdicción del Distrito de Riego No. 084; el aprovechamiento se destina para uso agrícola principalmente, doméstico, público urbano, pecuario e industrial.

Los usuarios agrícolas están organizados principalmente mediante la Asociación de Usuarios del Agua para fines Agropecuarios del Distrito de Riego No. 084 Guaymas-Empalme, A.C. en la cual se encuentran agrupados los sectores productivos de esta región. Además se encuentra constituida la Asociación de Usuarios de la Unidad de Riego Punta de Agua, A.C., integrada por los usuarios de la Presa Punta de Agua.

Por otra parte, también existen órganos como el Comité Hidráulico, cuyas funciones están directamente relacionadas con los usuarios para el control y manejo del agua.

## V. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 5.1. ECUACIÓN DE BALANCE

La evaluación de los recursos hídricos requiere una correcta estimación del **balance hidrológico** o de la repartición de la precipitación entre evapotranspiración, escurrimiento y recarga de los acuíferos.

La ecuación de continuidad, o de balance hidrológico, es la ley más importante en Hidrología, y aunque su expresión es muy simple, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca.

Un acuífero es un recipiente subterráneo que tiene recargas (entradas), descargas (salidas) y cierto almacenamiento. Como respuesta a la acción combinada de las recargas y descargas, el nivel del agua del recipiente varía, descendiendo si la recarga es menor que la descarga, y ascendiendo en caso contrario. La recarga, la descarga y las variaciones en el almacenamiento, en un intervalo de tiempo dado, están relacionadas por un principio universal: **el principio de la conservación de la materia**. El balance de agua subterránea se basa en este principio, y tiene como finalidad principal la determinación del volumen de recarga de un acuífero.

A la ecuación que expresa el principio de conservación de la materia, aplicado a un acuífero, o porción del mismo, se le llama “**ecuación de balance de agua subterránea**”, que en su forma más simple se representa como:

$$\begin{aligned} \text{Recarga} - \text{Descarga} &= \text{Cambio de almacenamiento} \\ \text{ó} \\ \text{Entradas} - \text{Salidas} &= \text{Cambio de almacenamiento} \end{aligned}$$

Ahora bien, tanto la recarga como la descarga ocurren en diferentes formas. La recarga puede ocurrir por flujos subterráneos ( $E_h$ ) y/o por recarga vertical neta en el área de balance ( $R_v$ ), que se conforma a su vez por la infiltración natural ( $I$ ) y la recarga por riego ( $R_r$ ). La descarga puede tener lugar por flujo subterráneo ( $Sh$ ), aflorando en forma de manantiales, o a una corriente superficial ( $D$ ); mediante pozos de bombeo ( $B$ ), y por evapotranspiración en zonas con nivel freático somero ( $E_v$ ).

Si llamamos ( $V$ ) al cambio de almacenamiento, la ecuación puede expresarse también como sigue:

$$E_h + R_v - Sh - D - B - E_v = V$$

Como:

$$R_v = I + R_r$$

Se sustituye en la ecuación, quedando:

$$E_h + I + R_r - Sh - D - B - E_v = V$$

Esta expresión es la ecuación general de balance del agua subterránea. En cada caso, según el mecanismo de recarga y descarga del acuífero en estudio y del intervalo de tiempo seleccionado para plantear el balance, cada uno de los términos de la ecuación podrá o no, aparecer. Por ejemplo, si se trata de un acuífero limitado totalmente por fronteras impermeables, los términos  $E_h$  y  $S_h$  no aparecerían, ya que no existe entrada ni salida por flujo subterráneo. Si se trata de un solo acuífero, que no tiene descarga por evapotranspiración ni por afloramientos, los términos  $D$  y  $E_v$  serán suprimidos de la ecuación. Por otra parte, la ecuación de balance para un mismo acuífero podrá variar de un intervalo de tiempo a otro; la ecuación correspondiente a un período de estiaje y sin agua superficial en la red de canales, no incluirá el término  $R_v$ , mientras que la correspondiente a un período lluvioso y de riego con agua superficial, sí lo incluirá (Canales, 2005).

Para los casos particulares de los acuíferos en estudio, los términos de la ecuación de balance:

$$E_h + I + R_r - S_h - D - B - E_v = V$$

se modificarían, quedando:

**Acuífero Río Mátape:**  $E_h = 0, D = 0;$   
 $I + R_r - S_h - B - E_v = V$

**Acuífero Valle de Guaymas:**  $S_h = 0, D = 0;$   
 $E_h + I + R_r - B - E_v = V$

**Acuífero San José de Guaymas:**  $E_h = 0, S_h = 0, D = 0, E_v = 0;$   
 $I + R_r - B = V$

## 5.2. ENTRADAS

### 5.2.1. RECARGA NATURAL

**Recarga natural (I)**, es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un período de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua y es equivalente a la **infiltración eficaz**.

La recarga natural se calculó basándose en las entradas y salidas naturales en el acuífero, mediante la aplicación de la ecuación de balance de agua subterránea.

En condiciones naturales, la recarga del acuífero del Valle de Guaymas era generada, principalmente, por infiltración de los escurrimientos superficiales en los bordes del valle; actualmente, **la alimentación más importante se genera en la parte alta de la Cuenca del Río Mátape, donde la precipitación pluvial y, en consecuencia, los escurrimientos superficiales son más abundantes**. El agua de lluvia precipitada sobre la superficie del valle, no constituye una fuente importante de recarga; en primer lugar, por la reducida precipitación pluvial (menor de 375 mm por

año), en segundo, por la elevada evaporación potencial (mayor de 1,500 mm por año), y en tercero, porque la profundidad de los niveles del agua es superior a los 15 m en la mayor parte del valle.

Con base en los términos de la ecuación de balance de agua subterránea, aplicados a estos acuíferos, se obtuvo que el volumen de recarga natural para el acuífero del Río Mátape es de 49.85 Mm<sup>3</sup>/año (infiltración), la cual pierde 28.19 Mm<sup>3</sup>/año por evaporación de niveles someros quedando solo **21.66 Mm<sup>3</sup>/año**, para el Valle de Guaymas la recarga natural se compone por **10.08 Mm<sup>3</sup>/año** de infiltración y **41.47 Mm<sup>3</sup>/año** de entradas horizontales para un total de **51.55 Mm<sup>3</sup>** y para el acuífero de San José de Guaymas una recarga de **0.37 Mm<sup>3</sup>/año** (lo anterior por la gran cantidad de evaporación en la zona).

### 5.2.2. RECARGA INDUCIDA

En el estudio de (Fullana, 2001) se consideró un valor de retorno de riego del 25% de las extracciones agrícolas. Valencia, España. En el presente estudio la recarga inducida producto de los **retornos por riego (Rr)** en los acuíferos Mátape, Valle de Guaymas y San José de Guaymas es del orden de **2.09, 23.22 y 2.18 Mm<sup>3</sup>/año** (Tabla 49) respectivamente, equivalente al 19% (por tener un clima más calido que España) del volumen para riego agrícola concesionado en el REPDA y las descargas controladas para riego de las Presas El Horno, La Haciendita, Ignacio L. Alatorre, Bordo de Ortiz y Bordo Piloto.

**Tabla 49.- Cálculo del volumen de Retorno por Riego en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape**

SUBCUENCA	BOMBEO AGRICOLA (m <sup>3</sup> /año)	DESCARGA CONTROLADA PRESA (m <sup>3</sup> /año)	% DE RETORNO	VOL. RETORNO AGRICOLA (Mm <sup>3</sup> /año)
(9C-B1) MATAPE	5,986,473.50	5,000,000.00	0.19	<b>2.09</b>
(9C-B2) RIO MATAPE-PUNTA DE AGUA	4,845,037.10	0.00	0.19	<b>0.92</b>
(9C-A) RIO MATAPE-EMPALME	43,869,770.00	12,890,000.00	0.19	<b>10.78</b>
(9C-D) GUAYMAS	49,656,537.00	0.00	0.19	<b>9.43</b>
(9C-E) CHICUROSO	9,431,815.00	0.00	0.19	<b>1.79</b>
(9C-F) TETABIATE	1,520,000.00	0.00	0.19	<b>0.29</b>
(9C-C) S. JOSE DE GUAYMAS	11,460,810.00	0.00	0.19	<b>2.18</b>
<b>TOTALES</b>	<b>126,770,442.60</b>	<b>17,890,000.00</b>		<b>27.49</b>

### 5.2.3. FLUJO HORIZONTAL

En 1856, Darcy confirmó la aplicabilidad de los principios del flujo en tubos capilares, desarrollados años antes por Hagen y Poiseuille, al flujo de agua a través de medios porosos. La Ley de Darcy se expresa como:

$$V = - k \, dh/dl$$

Donde:

V = descarga específica o velocidad darciana (m/s)

k = permeabilidad o conductividad hidráulica (m/s)

$dh/dl$  = gradiente hidráulico (adimensional)

Nota: el signo negativo indica que la velocidad del agua se mide en el sentido descendente

Mediante experimentos en diferentes materiales, se han establecido rangos de permeabilidad o conductividad hidráulica (Tabla 50). Este parámetro también se puede conocer, despejando la fórmula de transmisividad ( $T = k \cdot b$ ), una vez encontrado este valor con las pruebas de bombeo.

**Tabla 50.- Valores de permeabilidad k en sedimentos**

Material	Valor de k (m/s)
Grava	$10^{-1} - 10^{-2}$
Arena gruesa	$10^{-3}$
Arena mediana	$10^{-3} - 10^{-4}$
Arena fina	$10^{-4} - 10^{-5}$
Arena limosa	$10^{-5} - 10^{-7}$
Arcilla limosa	$10^{-6} - 10^{-9}$
Arcilla	$< 10^{-9}$

FUENTE: <http://www.eccentrix.com/members/hydrogeologie/hidrogeol/06000perm.htm> (Modificado)

### 5.3. SALIDAS

#### 5.3.1. EVAPOTRANSPIRACION

Por las condiciones naturales y la ubicación geográfica de esta zona, con clima caluroso extremo, vegetación rala típica de las áreas desérticas, escasas lluvias, ausencia de escurrimientos permanentes y niveles estáticos profundos, se considera que la salida por concepto de evapotranspiración del agua almacenada en el acuífero del Valle de Guaymas es prácticamente nula, sin embargo, aguas arriba de la Presa Punta de Agua existen grandes zonas con niveles estáticos someros dándose en gran medida la evapotranspiración en los mismos, la cual fue calculada en el capítulo III.

#### 5.3.2. DESCARGAS NATURALES

Descarga natural es el volumen de agua que en un período de tiempo sale del embalse subterráneo a través de los manantiales terrestres, subfluviales o submarinos, y también por evapotranspiración, si la zona saturada queda próxima a la superficie en amplias áreas.

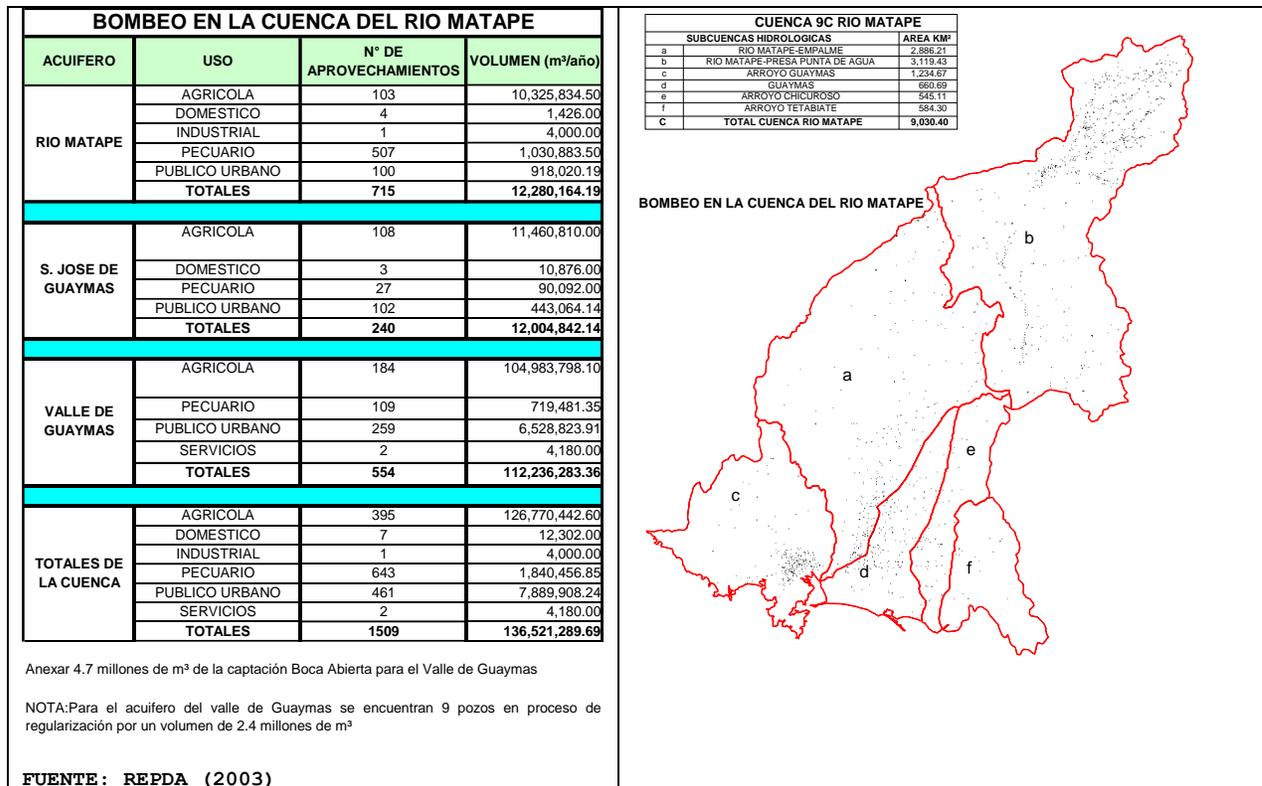
La descarga natural es equivalente al escurrimiento subterráneo cuando los manantiales submarinos o subfluviales y la descarga por evapotranspiración son inexistentes o muy pequeños.

La descarga natural del acuífero del Río Mátape se da por el flujo subterráneo hacia el acuífero del Valle de Guaymas y por evaporación de niveles someros; para el acuífero del Valle de Guaymas se tiene descarga natural sólo por evaporación de niveles someros aguas arriba de la Presa Punta de Agua; en el valle en sí, la descarga natural es despreciable, ya que los niveles estáticos son profundos y no existen manantiales o flujo base del acuífero. Para el acuífero de San José de Guaymas, no se tienen descargas naturales de ningún tipo.

### 5.3.3. BOMBEO

Se obtuvo el censo de pozos de la Cuenca del Río Mátape registrados en el REPDA (2003), los cuales se graficaron en la cuenca con ayuda del programa AutoCAD, para posteriormente reordenarlos por subcuencas (Figura 92, Tabla 51).

Figura 92.- Pozos en la Cuenca del Río Mátape



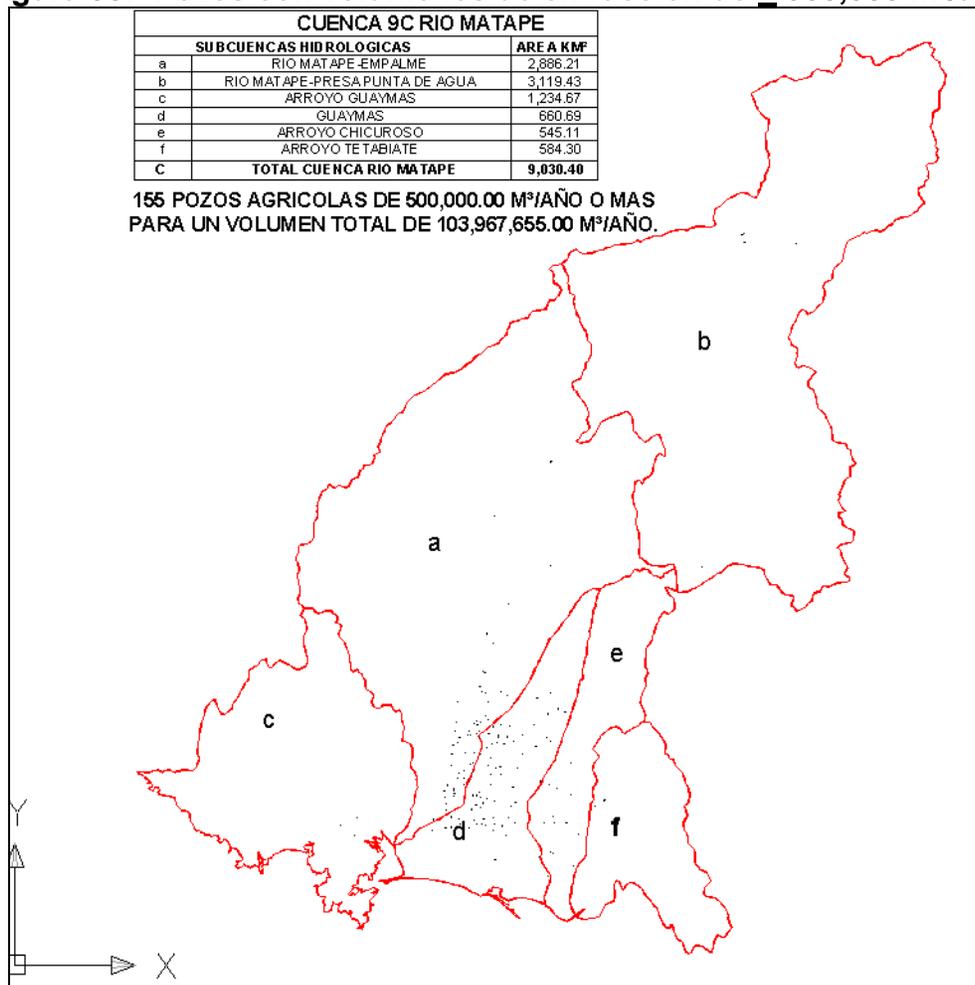
**Tabla 51.- Tabla de bombeo reorganizado por subcuencas**

ACUIFERO	SUBCUENCA	No. APROV.	VOL (Hm³/año)	VOL (Hm³/año)
MATAPE	(9C-B1) MATAPE	579	7.31	7.31
	(9C-B2) RIO MATAPE-PUNTA DE AGUA	187	5.39	
VALLE DE GUAYMAS	(9C-A) RIO MATAPE-EMPALME	275	47.84	117.19
	(9C-D) GUAYMAS	155	52.71	
	(9C-E) CHICUROSO	56	9.72	
	(9C-F) TETABIATE	17	1.53	
	(9C-C) S. JOSE DE GUAYMAS	240	12.00	
TOTALES CUENCA	CUENCA RIO MATAPE	1,509	136.50	136.50

AGREGAR 4.7 MILLONES EN SUBCUENCA GUAYMAS (8 POZOS CAPTACION BOCA ABIERTA) NO INCLUIDOS EN REPDA.

Filtrando las captaciones y dejando únicamente las de 500,000 m³/año o más, resultan 155 pozos agrícolas con un volumen total de bombeo de 103'967,655 m³/año, de los cuales, más del 95% se localizan en la parte central-oeste del Valle de Guaymas (Figura 93).

**Figura 93.- Pozos con volúmenes de extracción de  $\geq 500,000$  m³/año**



BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**BOMBEO EN EL DISTRITO DE RIEGO 084, VALLE DE GUAYMAS**

Por otro lado si se toman los volúmenes por ciclos agrícolas reportados por el Distrito de Riego 084, los cuales consideran el tipo de cultivo, la superficie regada y la lámina de riego (Tabla 52).

**Tabla 52.- Tabla del plan de riego ciclo 88-89 D.R. 084 Guaymas**

COMISION NACIONAL DEL AGUA  
GERENCIA REGIONAL DEL NOROESTE

D.R. 084.- GUAYMAS, AVANCE DEL MES DE SEPTIEMBRE DEL PLAN DE RIEGO 1988-1989.

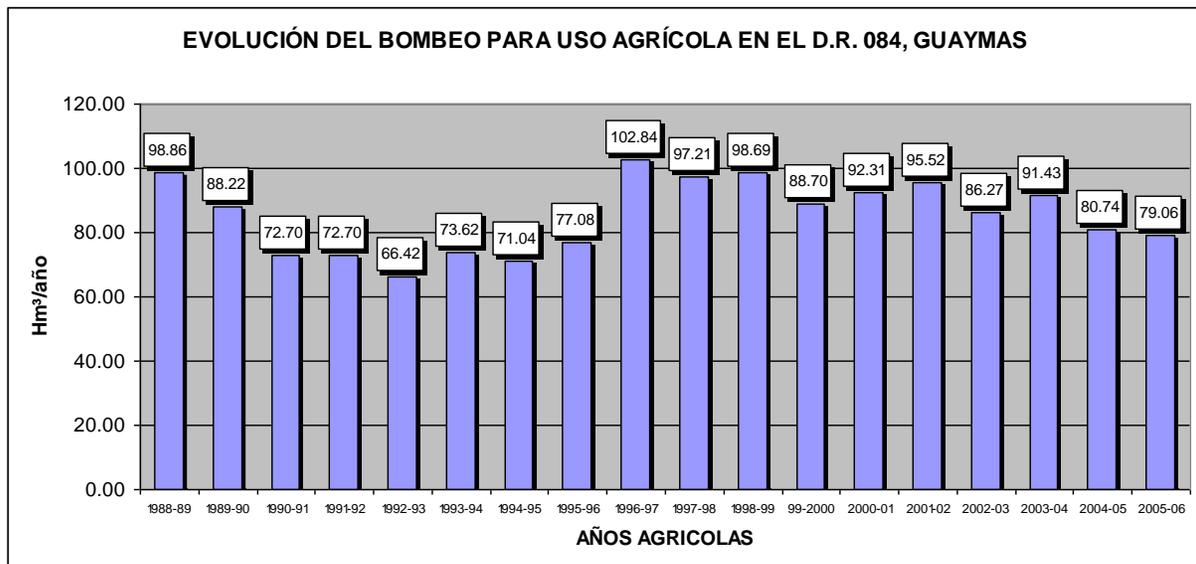
CICLO CULTIVO	SUPERFICIES		VOLUMEN	
	SUPERFICIE	HECTAREAS	ENTREGADA	LAMINA (cm)
	REGADA	RIEGO	USUARIOS	NETA
ANO AGRI COLA ANTERIOR (PRIMVER)				
FRIJOL				0.0
HORTALIZAS	475.0	2,222.0	2,637.0	55.5
MAIZ	350.0	1,098.0	1,410.0	40.3
SORGO GRANO	97.0	104.0	155.0	16.0
SORGO FORRAJERO				0.0
AJONOLI	416.0	486.0	597.0	14.4
FORRAJES	289.0	594.0	860.0	29.8
VARIOS				0.0
SUBTOTAL	1,627.0	4,504.0	5,659.0	34.8
OTONO - INVIERNO				
TRIGO	3,603.0	16,018.0	23,502.0	65.2
CARTAMO	522.0	1,458.0	1,897.0	36.3
FRIJOL	2.0	4.0	6.0	30.0
FORRAJES	405.0	1,799.0	2,788.0	68.8
GARBANZO	72.0	62.0	107.0	14.9
HORTALIZAS	2,519.0	15,388.0	17,771.0	70.5
MAIZ	146.0	254.0	381.0	26.1
SORGO				0.0
PLANTAGO				
VARIOS				0.0
SUBTOTAL	7,269.0	34,983.0	46,452.0	63.9
PRIMAVERA				
ALGODON	701.0	3,772.0	5,716.0	81.5
CARTAMO	189.0	488.0	656.0	34.7
FRIJOL	11.0	37.5	46.0	41.8
HORTALIZAS	527.0	2,903.0	3,601.0	68.3
MAIZ	13.0	55.5	73.0	56.2
SORGO GRANO	404.0	1,523.0	2,471.0	61.2
SORGO FORRAJERO				0.0
FORRAJES	460.0	2,412.0	3,836.0	83.4
VARIOS				0.0
SUBTOTAL	2,305.0	11,191.0	16,399.0	71.1
VERANO				
FRIJOL	10.0	10.0	20.0	20.0
HORTALIZAS	747.0	844.0	1,370.0	18.3
MAIZ	359.0	490.0	793.0	22.1
ALGODON				0.0
SORGO GRANO	427.0	926.0	1,502.0	35.2
SORGO FORRAJERO				0.0
FORRAJES	328.0	1,163.0	1,747.0	53.3
AJONOLI	313.0	444.0	713.0	22.8
VARIOS				0.0
SUBTOTAL	2,184.0	3,877.0	6,145.0	28.1
PERENNES				
VID	477.0	2,508.0	3,036.0	
ALFALFA	356.0	3,740.0	4,447.0	124.9
CITRICOS	1,682.0	23,240.0	13,567.0	80.7
DATILERO				0.0
FRUTALES	114.0	690.0	672.0	58.9
FORRAJES	393.0	840.0	1,144.0	29.1
HORTALIZAS	104.0	781.0	1,080.0	103.8
VARIOS	312.0	250.0	260.0	8.3
SUBTOTAL	3,438.0	32,049.0	24,206.0	70.4
AVANCE DE RIEGO	16,823.0	86,604.0	98,861.0	58.8
USO DOMESTICO (GUAYMAS, EMPALME, SAN CARLOS)			13,000.0	
USO ABREVADERO			700.0	
OTROS USOS			300.0	
TOTAL GENERAL	16,823.0	86,604.0	112,861.0	

Se tiene un volumen de extracción medio de **85.19 Mm<sup>3</sup>/año** para uso agrícola en el Valle de Guaymas, D.R. 084, Guaymas (Tabla 53, Figura 94).

**Tabla 53.- Tabla del plan de riego, ciclos 1988-2006 D.R. 084 Guaymas**

CICLO	VOLUMEN
1988-89	98.86
1989-90	88.22
1990-91	72.70
1991-92	72.70
1992-93	66.42
1993-94	73.62
1994-95	71.04
1995-96	77.08
1996-97	102.84
1997-98	97.21
1998-99	98.69
99-2000	88.70
2000-01	92.31
2001-02	95.52
2002-03	86.27
2003-04	91.43
2004-05	80.74
2005-06	79.06
<b>PROMEDIO</b>	<b>85.19</b>

**Figura 94.- Bombeo agrícola para los ciclos 1988-2006**

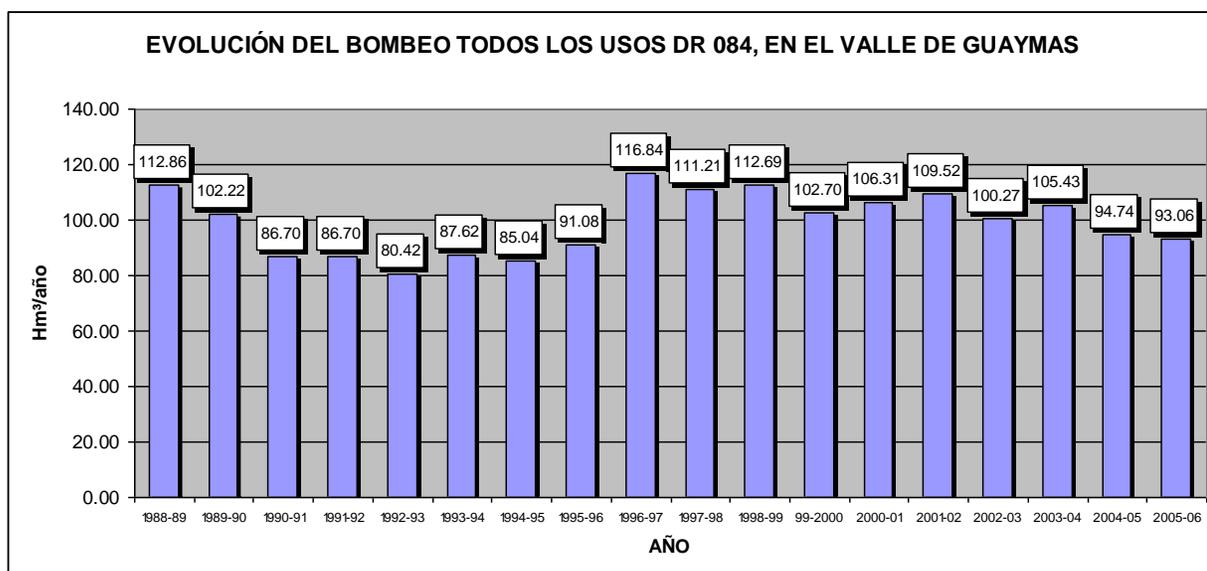


Sumándole al volumen agrícola el volumen del resto de los usos, como público urbano, pecuario, industrial, servicios y doméstico, se tiene un volumen medio de extracción de **99.19 Mm<sup>3</sup>/año** (Tabla 54, Figura 95), este volumen comparado con el concesionado en el REPDA de 114.97 Mm<sup>3</sup>/año, es menor por 15.00 Mm<sup>3</sup>/año.

**Tabla 54.- Tabla del volumen para todos los usos, ciclos 1988-2006 según D.R. 084 Guaymas**

CICLO	VOLUMEN
1988-89	112.86
1989-90	102.22
1990-91	86.70
1991-92	86.70
1992-93	80.42
1993-94	87.62
1994-95	85.04
1995-96	91.08
1996-97	116.84
1997-98	111.21
1998-99	112.69
99-2000	102.70
2000-01	106.31
2001-02	109.52
2002-03	100.27
2003-04	105.43
2004-05	94.74
2005-06	93.06
<b>PROMEDIO</b>	<b>99.19</b>

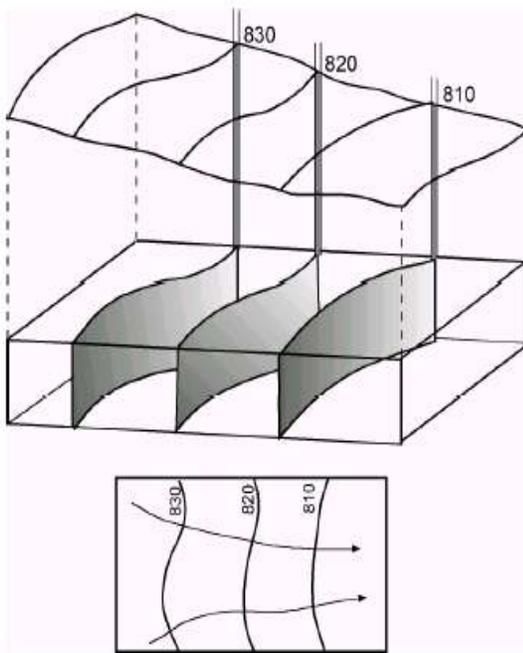
**Figura 95.- Bombeo para todos los usos para los ciclos 1988-2006**



### 5.3.4. FLUJO HORIZONTAL

Una red de flujo está formada por líneas equipotenciales y líneas de flujo. Las superficies equipotenciales pueden presentar cualquier forma, curvatura o inclinación, pero en la mayoría de los casos la componente vertical del flujo es pequeña en comparación con la componente horizontal, lo que quiere decir que el flujo es casi horizontal.

Las líneas de flujo de agua subterránea, son perpendiculares a las líneas equipotenciales, por tanto al trazar una red de flujo, se debe tener en cuenta esta consideración (Figura 96).



**Figura 96.- Red de flujo**

Las superficies equipotenciales verticales provocan un flujo horizontal de agua, que se mueve de un gradiente hidráulico mayor (830) a uno menor (810).

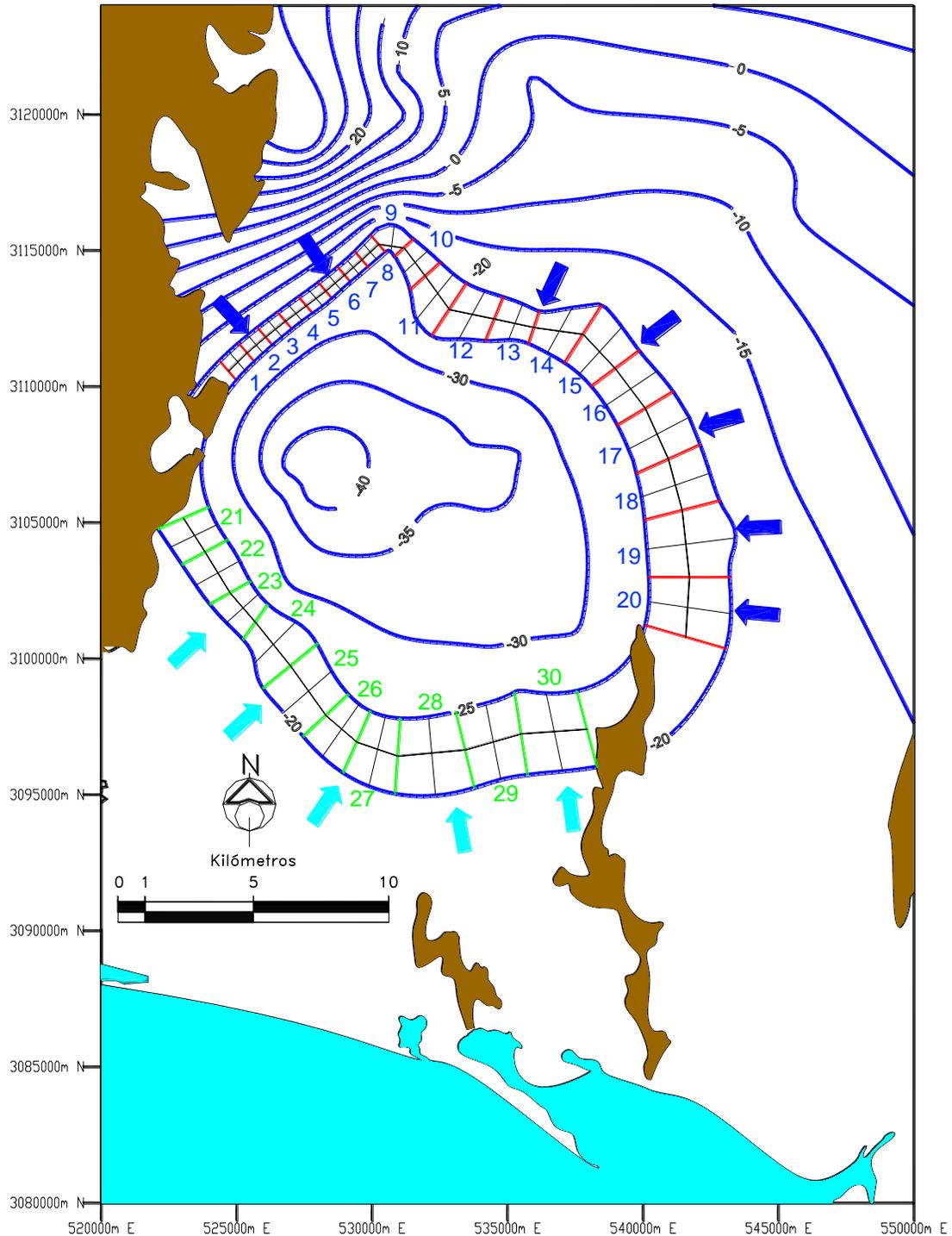
La superficie que aparece "flotando" sobre el acuífero es la *superficie piezométrica*, cuya topografía se refleja en el *mapa de curvas equipotenciales* de abajo. En este mapa podemos trazar las líneas de flujo perpendiculares a las líneas equipotenciales.

Las fases para trazar una red de flujo son:

- Medición de la profundidad del agua (m) en la mayor cantidad de pozos posibles
- Obtención de la cota del terreno (msnm) en cada pozo, nivelando los brocales de los pozos o mediante modelo digital
- Cálculo de la elevación del agua (msnm), restando a la cota del terreno (msnm), la profundidad del agua (m)
- Unión de los puntos con igual elevación piezométrica (curvas equipotenciales)
- Trazado de las líneas de flujo, perpendiculares a las equipotenciales y formando cuadros de igual tamaño.

Según cuadro de cálculos (Tabla 57) se tiene una recarga para el Valle de Guaymas de:  $I+Rr+Eh=10.08+22.01+41.47=73.56 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , lo cual concuerda con los cálculos de los volúmenes de agua dulce en el valle.

**Figura 97.- Piezometría del Valle de Guaymas (2006)**



**Tabla 55.- Cálculo del flujo subterráneo de agua dulce que entra por la parte norte del Valle de Guaymas (Paro de bombeo 2006)**

CELDA	B(m)	L(m)	T (m <sup>2</sup> /s)	Dh (m)	q (m <sup>3</sup> /s)	Q (Mm <sup>3</sup> /año)
1	956.35	928.94	0.0160	5.00	0.082	2.60
2	899.20	879.21	0.0180	5.00	0.092	2.90
3	935.53	838.17	0.0210	5.00	0.117	3.70
4	957.13	806.19	0.0230	5.00	0.137	4.31
5	901.40	804.52	0.0250	5.00	0.140	4.42
6	910.34	753.01	0.0270	5.00	0.163	5.15
7	850.87	748.29	0.0290	5.00	0.165	5.20
8	838.27	796.49	0.0350	5.00	0.184	5.81
9	962.70	963.90	0.0450	5.00	0.225	7.09
10	1,301.83	1,191.31	0.0450	5.00	0.246	7.75
11	1,509.65	2,151.90	0.0450	5.00	0.158	4.98
12	1,702.11	2,020.87	0.0400	5.00	0.168	5.31
13	1,494.60	1,433.97	0.0220	5.00	0.115	3.62
14	1,828.87	1,878.07	0.0150	5.00	0.073	2.30
15	1,732.31	2,344.09	0.0090	5.00	0.033	1.05
16	1,839.59	2,269.59	0.0080	5.00	0.032	1.02
17	2,046.99	2,529.13	0.0075	5.00	0.030	0.96
18	1,948.83	2,666.13	0.0070	5.00	0.026	0.81
19	2,470.53	3,294.89	0.0065	5.00	0.024	0.77
20	2,197.81	3,059.41	0.0060	5.00	0.022	0.68
<b>TOTALES</b>					<b>2.233</b>	<b>70.41</b>

$$Q=KA(h_1-h_2)/L ; T=Kb ; K=T/b ; A=Bb ; Dh=h_1-h_2$$

$$Q=(T/b)(Bb)(h_1-h_2)/L$$

$$Q=(T)(B)(Dh)/L$$

Donde:

T Transmisividad

Dh Diferencia de nivel entre curvas equipotenciales

L Distancia entre curvas equipotenciales

B Ancho medio de la red

q,Q Gasto subterráneo

K Conductividad hidráulica

b Espesor del acuífero

A Área transversal del flujo

Como se ha mencionado, la descarga por flujo subterráneo del acuífero del Valle de Guaymas en condiciones iniciales, era hacia el Golfo de California. Con la extracción intensiva de los pozos agrícolas, este volumen dejó de fluir al mar, invirtiéndose el gradiente hidráulico y convirtiéndose este volumen, en parte de la descarga por bombeo. Esto se puede observar en el mapa de elevación de nivel estático elaborado con los datos del paro de bombeo del año 2006, donde se muestra el flujo subterráneo mediante flechas. Se nota que el agua de mar está entrando al

acuífero contaminando el agua dulce, 20 celdas (Figura 97, Tabla 55). Este volumen de entrada de agua salada fue calculado a partir de 10 celdas en la red de flujo, resultando de 19.26 Mm<sup>3</sup> para el año de 2006 (Figura 97, Tabla 56).

**Tabla 56.- Cálculo del volumen de entrada de agua de mar entre la Sierra de Santa Ursula y San Francisquito (Paro de bombeo 2006)**

CELDA	B(m)	L(m)	T (m <sup>2</sup> /s)	Dh (m)	q (m <sup>3</sup> /s)	Q (Mm <sup>3</sup> /año)
21	1,483.02	1,921.05	0.0020	5.00	0.008	0.24
22	1,757.85	1,845.42	0.0040	5.00	0.019	0.60
23	1,424.70	1,594.53	0.0080	5.00	0.036	1.13
24	2,068.44	2,124.47	0.0170	5.00	0.083	2.61
25	2,235.97	2,344.95	0.0240	5.00	0.114	3.61
26	1,505.54	2,362.56	0.0310	5.00	0.099	3.11
27	1,591.67	2,640.41	0.0300	5.00	0.090	2.85
28	2,498.15	2,900.16	0.0190	5.00	0.082	2.58
29	2,147.98	2,850.77	0.0130	5.00	0.049	1.54
30	2,436.36	2,934.42	0.0075	5.00	0.031	0.98
<b>TOTALES</b>					<b>0.611</b>	<b>19.26</b>

#### 5.4. CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

De acuerdo a la fórmula del balance:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

El cambio de almacenamiento ( $\pm \Delta$ ), es el resultado de restar las salidas de agua (bombeo, evapotranspiración del acuífero, descarga natural y salida horizontal) de las entradas (infiltración, entrada horizontal y retorno por riego). Todos los cálculos se consignan en la Tabla 57.

**Tabla 57.- Cambio de almacenamiento por subcuenca del Río Mátape**

SUBCUENCA	AREA (Km <sup>2</sup> )	VOL. PP. (Hm <sup>3</sup> )	VOL. EVAP. (Hm <sup>3</sup> )	VOL. PP. EFECTIVA (Hm <sup>3</sup> )	VOL. ESC. (Hm <sup>3</sup> )	ENTRADAS			SALIDAS			±ΔS CAMBIO ALMACEN (Hm <sup>3</sup> )
						VOL. INF. (Hm <sup>3</sup> )	ENTRADA HORIZ. (Hm <sup>3</sup> )	RETORNO RIEGO (Hm <sup>3</sup> )	BOMBEO (Hm <sup>3</sup> )	ET ACUIF. (Hm <sup>3</sup> )	SALIDAS HORIZ. (Hm <sup>3</sup> )	
(B1) RIO MATAPE	1,124.16	623.10	541.16	81.94	32.08	49.85	0.00	2.09	7.31	28.19	16.44	0.00
(B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA	1,995.26	941.68	866.78	74.90	18.09	56.81	16.44	0.92	5.39	27.31	41.47	0.00
(A) RIO MATAPE EMPALME	2,886.89	1,077.31	1,061.99	15.33	12.33	3.00	41.47	10.78	47.84	0.00	7.41	0.00
(D) GUAYMAS	660.69	216.57	212.69	3.89	1.78	2.10	7.41	9.43	57.41	0.00	0.00	-38.46
(E) ARROYO CHICUROSO	544.97	202.71	195.35	7.35	2.37	4.98	0.00	1.79	9.72	0.00	0.00	-2.95
(F) ARROYO TETABIATE	584.33	206.56	200.62	5.94	2.28	3.66	0.00	0.29	1.53	0.00	2.41	0.00
(C) SAN JOSE DE GUAYMAS	1,234.46	332.71	331.07	1.64	1.27	0.37	0.00	2.18	12.00	0.00	0.00	-9.46
<b>TOTAL</b>	<b>9,030.76</b>	<b>3,600.65</b>	<b>3,409.66</b>	<b>190.98</b>	<b>70.22</b>	<b>120.76</b>		<b>27.49</b>	<b>141.20</b>	<b>55.50</b>		<b>-50.87</b>

Como se explicó punto por punto, el volumen de precipitación efectiva se obtiene de restar al volumen precipitado, el volumen evaporado. La precipitación efectiva se divide en escurrimiento natural e infiltración. El escurrimiento se obtiene utilizando la norma NOM-011-CNA-2000 método de los coeficientes. Restando éste al

volumen de precipitación efectiva, da el volumen infiltrado. Las entradas y salidas horizontales se obtuvieron con redes de flujo. Se consideró como retorno por riego el 19% del volumen utilizado para riego agrícola. El bombeo se obtuvo del REPDA y del DR-084 Guaymas. La evapotranspiración de niveles someros se calculó de las áreas con niveles someros aguas arriba de la Presa Punta de Agua, mediante la evaporación potencial.

En resumen, se tienen los siguientes resultados:

**Acuífero Mátape:**  $E_h = 0, D = 0;$   
 $I + R_r - S_h - B - E_v = V$

**Acuífero Valle de Guaymas:**  $S_h = 0, D = 0;$   
 $E_h + I + R_r - B - E_v = V$

**Acuífero San José de Guaymas:**  $E_h = 0, S_h = 0, D = 0, E_v = 0;$   
 $I + R_r - B = V$

Acuífero Mátape es de 0.00 (Mm<sup>3</sup>/año).  
 Acuífero Valle de Guaymas es de -41.41 (Mm<sup>3</sup>/año).  
 Acuífero San José de Guaymas es de -9.46 (Mm<sup>3</sup>/año).

Como se puede ver se encuentra en equilibrio el acuífero Mátape en su subcuenca (B1) Río Mátape el cual incluso sede 16.44 Hm<sup>3</sup>/año como flujo horizontal subterráneo hacia la subcuenca (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua, la cual a su vez se encuentra también en equilibrio cediendo 41.47 Hm<sup>3</sup>/año como flujo Horizontal subterráneo hacia la subcuenca (A) Río Mátape-Empalme, esta subcuenca también resulta en equilibrio pues sede 7.41 Hm<sup>3</sup>/año a la subcuenca (D) Guaymas, es aquí donde empiezan los problemas y presenta un déficit de -38.46 Hm<sup>3</sup> hacia la subcuenca (E) Arroyo Chicuroso el cual a su vez presenta un déficit de -2.95 Hm<sup>3</sup>/año, lo cual nos arroja un déficit total para el acuífero Valle de Guaymas de **-41.41 Hm<sup>3</sup>/año**.

## VI. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad del agua subterránea, se aplica el procedimiento indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece la expresión siguiente:

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{DISPONIBILIDAD} \\ \text{MEDIA ANUAL DE} \\ \text{AGUA} \\ \text{SUBTERRANEA EN} \\ \text{UNA UNIDAD} \\ \text{GEOHIDROLOGICA} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{RECARGA} \\ \text{TOTAL} \\ \text{MEDIA} \\ \text{ANUAL} \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \text{DESCARGA} \\ \text{NATURAL} \\ \text{COMPROMETIDA} \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \text{VOLUMEN ANUAL} \\ \text{DE AGUAS} \\ \text{SUBTERRANEAS} \\ \text{CONCESIONADO} \\ \text{EN REPDA} \\ \hline \end{array}$$

### 6.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan a los acuíferos, en forma de recarga natural más la recarga inducida es la siguiente:

**Acuífero Mátape es de 51.94 (Mm<sup>3</sup>/año), (sin descontar Ev (niveles someros)).**

**Acuífero Valle de Guaymas es de 110.20 (Mm<sup>3</sup>/año) (Área Administrativa y sin descontar Ev (niveles someros)).**

**Acuífero Valle de Guaymas es de 73.56 (Mm<sup>3</sup>/año) (Solo el Valle).**

**Acuífero San José de Guaymas es de 3.50 (Mm<sup>3</sup>/año).**

### 6.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el Acuífero del Río Mátape se tiene una descarga natural comprometida de **16.44 Mm<sup>3</sup>**, los cuales se aportan al Acuífero del Valle de Guaymas, el cual no tiene descarga natural comprometida con nadie, del mismo modo el Acuífero de San José de Guaymas.

### 6.3 VOLUMEN ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA

Para el Acuífero del Río Mátape el volumen anual concesionado es de **12.29 Mm<sup>3</sup>/año**.

Mientras que para el Acuífero Valle de Guaymas, Estado de Sonora, el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, es de 112,330,643.36 m<sup>3</sup>/año, también habría que anexar 4.7 millones de m<sup>3</sup> de la captación Boca Abierta para el Valle de Guaymas, para un total de **117.30 Mm<sup>3</sup>/año**.

Por otra parte para el Acuífero del Río San José de Guaymas tenemos un volumen concesionado de **12.00 Mm<sup>3</sup>/año**.

Sin embargo reorganizando los pozos por subcuenca según coordenadas de REPDA los volúmenes por acuífero cambian, esto se debe a que cuando se modificó el límite entre los acuíferos Mátape y Valle de Guaymas (2000), no se corrigieron varios títulos de concesión, siendo los datos correctos los que se presentan en la Tabla 58:

**Tabla 58.- Volumen de bombeo por subcuenca en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape**

BOMBEO POR SUBCUENCA				
ACUIFERO	SUBCUENCA	No. APROV.	VOL (Hm <sup>3</sup> /año)	VOL (Hm <sup>3</sup> /año)
MATAPE	(9C-B1) MATAPE	579	7.31	7.31
VALLE DE GUAYMAS	(9C-B2) RIO MATAPE-PUNTA DE AGUA	187	5.39	117.19
	(9C-A) RIO MATAPE-EMPALME	275	47.84	
	(9C-D) GUAYMAS	155	52.71	
	(9C-E) CHICUROSO	56	9.72	
	(9C-F) TETABIATE	17	1.53	
S. JOSE DE GUAYMAS	(9C-C) S. JOSE DE GUAYMAS	240	12.00	12.00
TOTALES CUENCA	CUENCA RIO MATAPE	1,509	136.50	136.50

AGREGAR 4.7 MILLONES EN SUBCUENCA GUAYMAS (8 POZOS CAPTACION BOCA ABIERTA) NO INCLUIDOS EN REPDA.

#### 6.4. DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Tabla 59.- Tabla de disponibilidades por subcuenca y acuífero en la Cuenca del Río Mátape

ACUÍFERO	SUBCUENCA	AREA (KM <sup>2</sup> )	VOLUMEN LLUVIA (HM <sup>3</sup> )	VOL. EVAPORADO (HM <sup>3</sup> )	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM <sup>3</sup> )	ESCURRIMIENTO (HM <sup>3</sup> )	INFILTRA (HM <sup>3</sup> )	B=BOMBEO (HM <sup>3</sup> )	Et DEL ACUÍFERO (niveles someros) (HM <sup>3</sup> )	RETORNO POR RIEGO (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS HORIZ. (HM <sup>3</sup> )	SALIDAS HORIZ. (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS (HM <sup>3</sup> )	SALIDAS (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS MENOS SALIDAS (HM <sup>3</sup> )
RIO MATAPE	(B1) RIO MATAPE	1,124.16	623.10	541.16	81.94	32.08	49.85	7.31	28.19	2.09	0.00	16.44	51.94	51.94	0.00
VALLE DE GUAYMAS	(B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA	1,995.26	941.68	866.78	74.90	18.09	56.81	5.39	27.31	0.92	16.44	41.47	74.17	74.17	0.00
	(A) RIO MATAPE EMPALME	2,886.89	1,077.31	1,061.99	15.33	12.33	3.00	47.84	0.00	10.78	41.47	7.41	55.25	55.25	0.00
	(D) GUAYMAS	660.69	216.57	212.69	3.89	1.78	2.10	57.41	0.00	9.43	7.41	0.00	18.95	57.41	-38.46
	(E) ARROYO CHICUROSO	544.97	202.71	195.35	7.35	2.37	4.98	9.72	0.00	1.79	0.00	0.00	6.77	9.72	-2.95
	(F) ARROYO TETABIATE	584.33	206.56	200.62	5.94	2.28	3.66	1.53	0.00	0.29	0.00	2.41	3.94	3.94	0.00
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	(C) SAN JOSE DE GUAYMAS	1,234.46	332.71	331.07	1.64	1.27	0.37	12.00	0.00	2.18	0.00	0.00	2.54	12.00	-9.46
TOTALES CUENCA		9,030.76	3,600.65	3,409.66	190.98	70.22	120.76	141.20	55.50	27.49					-50.87

Podemos ver como las salidas horizontales de algunas unidades geohidrológicas son entradas horizontales para otras (Tabla 59). De esta forma se detecta fácilmente que en la unidad geohidrológica (D) Guaymas es donde ya no existe salida horizontal, sino que es un déficit de 38.46 Mm<sup>3</sup>/año, convirtiéndose en una entrada horizontal, pero de agua salina. Lo anterior suponiendo el 100% de la extracción REPDA, sin embargo solo se utiliza aproximadamente el 90% de este volumen, equivalente a el reportado por el Distrito de Riego 084, como podemos ver en el próximo capítulo.

**DE LO ANTERIOR SE CONCLUYE, QUE AUNQUE EL ACUÍFERO DEL RÍO MÁTAPE SE ENCUENTRA EN EQUILIBRIO, NO TIENE DISPONIBILIDAD YA QUE LOS 16.44 Hm<sup>3</sup>/año QUE LE SOBРАН LOS TIENE COMPROMETIDOS CON EL ACUÍFERO DEL VALLA DE GUAYMAS. POR OTRO LADO EN LOS ACUÍFEROS VALLE DE GUAYMAS Y SAN JOSÉ DE GUAYMAS LA DISPONIBILIDAD ES NEGATIVA.**

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida, el valor de la descarga horizontal y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA:

### ACUÍFERO MÁTAPE

$$R_v = I + R_r = 49.85 + 2.09 = 51.94 \text{ Mm}^3$$

$$R_v - E_v - S_h - B = V$$

$$51.94 - 28.19 - 16.44 - 7.31 = 0.00 \text{ Mm}^3 \quad (\text{EQUILIBRIO})$$

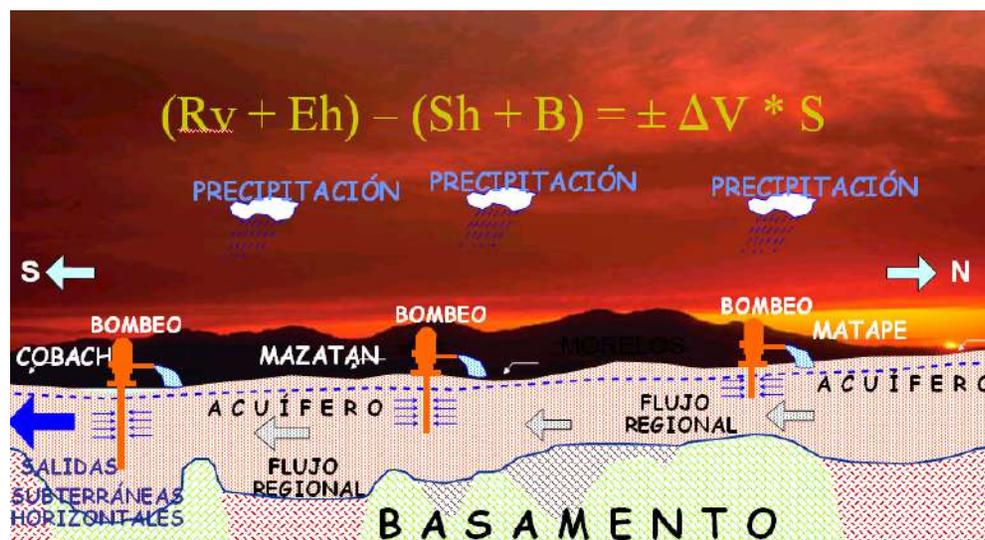
Tabla 60.- Balance de agua subterránea Acuífero Río Mátape

CONCEPTO	CIFRAS ANUALIZADAS		PARCIAL
	UNIDADES	DESGLOSE	
AREA	KM <sup>2</sup>		1,124.16
ENTRADAS	HM <sup>3</sup>	RECARGA VERTICAL (Rv) LLUVIA+RIOS+RETORNO RIEGO	51.94
		FLUJO SUBTERRANEO (Eh)	0.00
SALIDAS	HM <sup>3</sup>	EXTRACCION POR BOMBEO (B)	7.31
		*EVAPORACION (Ev)	28.19
		FLUJO SUBTERRANEO (Sh)	16.44
CAMBIO ALMACENAMIENTO	HM <sup>3</sup>	Sy=	0.00

\*SOLO EN ASCENSO DEL NIVEL FREÁTICO

En este caso el almacenamiento permanece constante, o sea que existe un equilibrio entre las entradas y las salidas (Tabla 60).

Figura 98.- Esquema del Flujo Horizontal del acuífero del Río Mátape



Se puede apreciar claramente como el flujo horizontal se da en una sola dirección (Figura 98).

**ACUÍFERO VALLE DE GUAYMAS (Tomando en cuenta toda su área administrativa, con sus 5 subcuencas)**

$$R_v = I + R_r = 70.54 + 23.22 = 93.76 \text{ Mm}^3$$

$$R_v + E_h - E_v - S_h - B = V$$

$$93.76 + 16.44 - 27.31 - 2.41 - 121.89 = -41.41 \text{ Mm}^3 \quad (\text{SOBREEXPLOTADO})$$

**Tabla 61.- Balance de agua subterránea Acuífero Valle de Guaymas (área admiva)**

CONCEPTO	CIFRAS ANUALIZADAS		PARCIAL
	UNIDADES	DESGLOSE	
AREA	KM <sup>2</sup>		6,672.13
ENTRADAS	HM <sup>3</sup>	RECARGA VERTICAL (Rv) LLUVIA+RIOS+RETORNO RIEGO	93.76
		FLUJO SUBTERRANEO (Eh)	16.44
SALIDAS	HM <sup>3</sup>	EXTRACCION POR BOMBEO (B)	121.89
		*EVAPORACION (Ev)	27.31
		FLUJO SUBTERRANEO (Sh)	2.41
CAMBIO ALMACENAMIENTO	HM <sup>3</sup>	Sy=	-41.41

\*SOLO EN ASCENSO DEL NIVEL FREÁTICO

Se puede apreciar que haciendo la consideración de la Tabla 61 la recarga es mayor, pero existe evaporación de niveles someros, menor Eh, existe Sh (Tetabiate) y mayor Bombeo. Por lo que el resultado final es el mismo que el de la Tabla 62.

**ACUÍFERO VALLE DE GUAYMAS (Tomando en cuenta solo los Valles de Guaymas y Cruz de Piedra con sus tres subcuencas)**

$$R_v = I + R_r = 10.08 + 22.01 = 32.09 \text{ Mm}^3$$

$$R_v + E_h - E_v - S_h - B = V$$

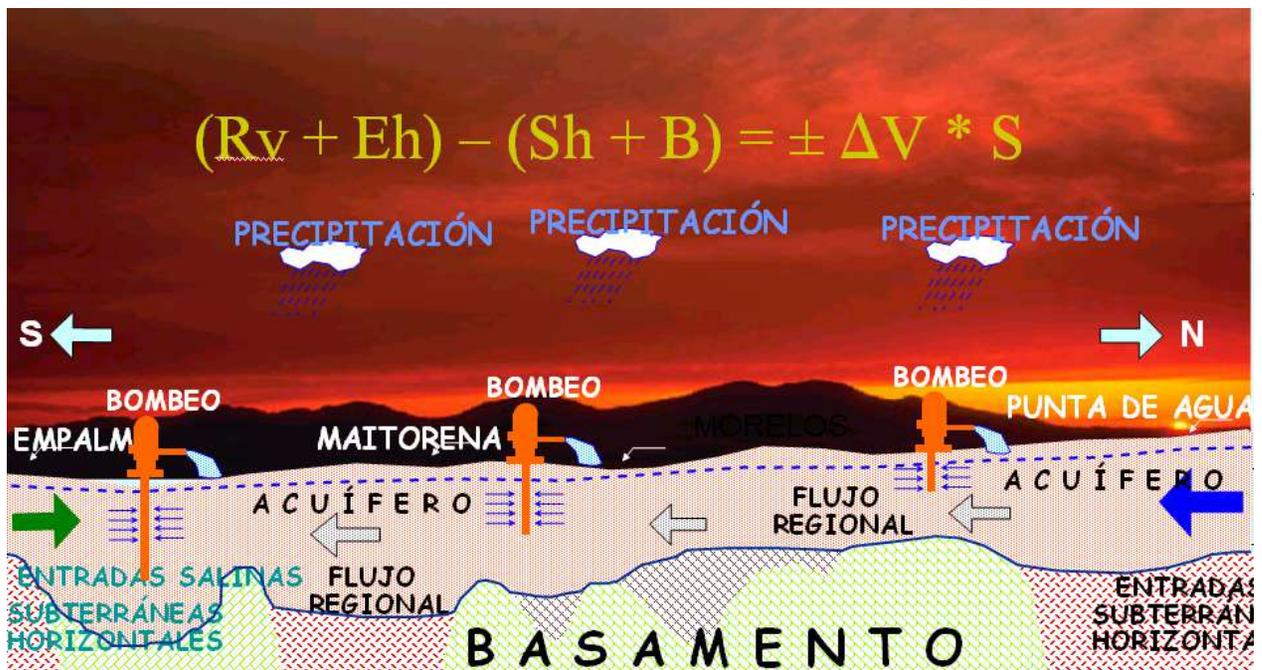
$$32.09 + 41.47 - 0 - 0 - 114.97 = -41.41 \text{ Mm}^3 \quad (\text{SOBREEXPLOTADO})$$

**Tabla 62.- Balance de agua subterránea Acuífero Valle de Guaymas (quitando F y B2, sólo el Valle)**

CONCEPTO	CIFRAS ANUALIZADAS		PARCIAL
	UNIDADES	DESGLOSE	
AREA	KM <sup>2</sup>		4,092.55
ENTRADAS	HM <sup>3</sup>	RECARGA VERTICAL (Rv) LLUVIA+RIOS+RETORNO RIEGO	32.09
		FLUJO SUBTERRANEO (Eh)	41.47
SALIDAS	HM <sup>3</sup>	EXTRACCION POR BOMBEO (B)	114.97
		*EVAPORACION (Ev)	0.00
		FLUJO SUBTERRANEO (Sh)	0.00
CAMBIO ALMACENAMIENTO	HM <sup>3</sup>	Sy=	-41.41

\*SOLO EN ASCENSO DEL NIVEL FREÁTICO

Figura 99.- Esquema del Flujo Horizontal del acuífero del Valle de Guaymas



Con estos cálculos se aprecia claramente que en la unidad geohidrológica subcuenca (D) Guaymas es donde se pierde el equilibrio y se invierte el flujo subterráneo, propiciando con esto la intrusión salina (Tabla 59, Figura 99).

**ACUÍFERO SAN JOSÉ DE GUAYMAS**

$$R_v = I + R_r = 0.37 + 2.18 = 2.55 \text{ Mm}^3$$

$$R_v + E_h - E_v - S_h - B = V$$

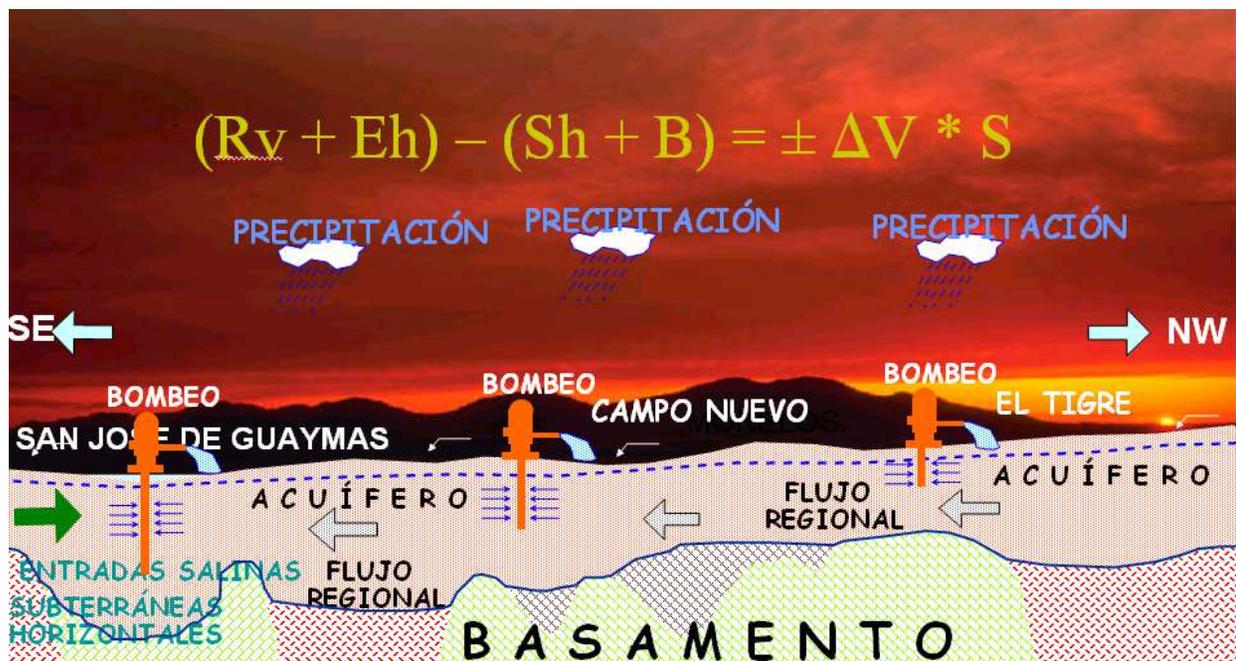
$$2.55 + 0 - 0 - 0 - 12.00 = -9.45 \text{ Mm}^3 \text{ (SOBREEXPLOTADO)}$$

**Tabla 63.- Balance de agua subterránea Acuífero San José de Guaymas**

CONCEPTO	CIFRAS ANUALIZADAS		PARCIAL
	UNIDADES	DESGLOSE	
AREA	KM <sup>2</sup>		1,234.46
ENTRADAS	HM <sup>3</sup>	RECARGA VERTICAL (Rv) LLUVIA+RIOS+RETORNO RIEGO	2.54
		FLUJO SUBTERRANEO (Eh)	0.00
SALIDAS	HM <sup>3</sup>	EXTRACCION POR BOMBEO (B)	12.00
		*EVAPORACION (Ev)	0.00
		FLUJO SUBTERRANEO (Sh)	0.00
CAMBIO ALMACENAMIENTO	HM <sup>3</sup>	Sy=	-9.46

\*SOLO EN ASCENSO DEL NIVEL FREÁTICO

**Figura 100.- Esquema del Flujo Horizontal del acuífero de San José de Guaymas**



El panorama para el acuífero de San José de Guaymas es muy desalentador puesto que las lluvias son muy escasas, no existen entradas horizontales de agua dulce y está sobreexplotado, con problemas graves de intrusión salina (Tabla 63, Figura 100). Las cifras indican que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en las unidades hidrogeológicas denominadas Acuífero Valle de Guaymas y San José de Guaymas, en el Estado de Sonora.

## VII. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para el análisis de sensibilidad en este caso se efectúan simulaciones de escenarios mediante los cuales se busca observar los cambios en los resultados del modelo, obtenidos con base en variaciones de sus principales variables, en este caso el bombeo (B) y por consiguiente el retorno por riego (Rr) ya que es directamente proporcional.

Figura 101.- Unidades Hidrogeológicas de la Cuenca del Río Mátape

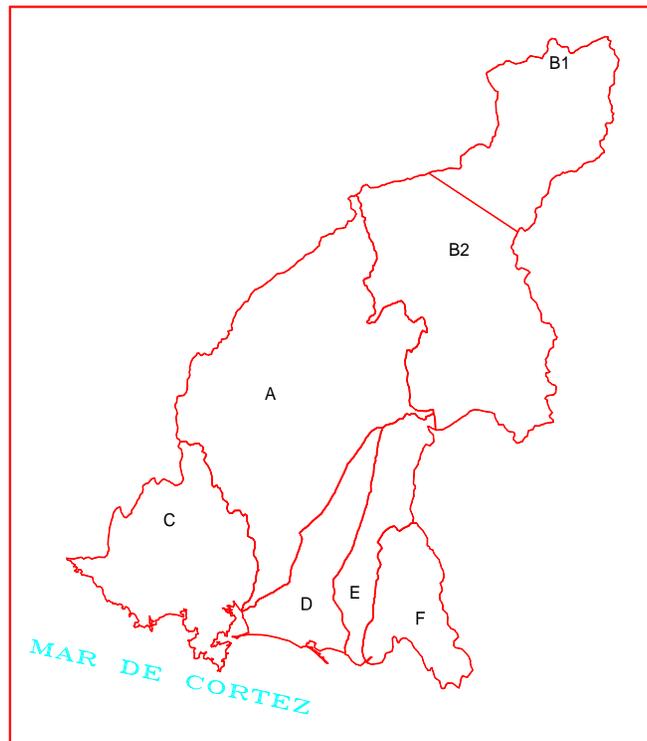


Tabla 64.- Resultado de las disponibilidades utilizando el 100% del volumen concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm<sup>3</sup>/año)

ACUÍFERO	SUBCUENCA	AREA (KM <sup>2</sup> )	VOLUMEN LLUVIA (HM <sup>3</sup> )	VOL. EVAPORADO (HM <sup>3</sup> )	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM <sup>3</sup> )	ESCURRIMIENTO NATURAL MEDIO ANUAL (HM <sup>3</sup> )	INFILTRA (HM <sup>3</sup> )	B=BOMBEO (HM <sup>3</sup> )	Et DEL ACUIFERO (niveles someros) (HM <sup>3</sup> )	RETORNO POR RIEGO (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS HORIZ. (HM <sup>3</sup> )	SALIDAS HORIZ. (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS (HM <sup>3</sup> )	SALIDAS (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS MENOS SALIDAS (HM <sup>3</sup> )
MATAPE	(B1) RIO MATAPE	1,124.16	623.10	541.16	81.94	32.08	49.85	7.31	28.19	2.09	0.00	16.44	51.94	51.94	0.00
VALLE DE GUAYMAS	(B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA	1,995.26	941.68	866.78	74.90	18.09	56.81	5.39	27.31	0.92	16.44	41.47	74.17	74.17	0.00
	(A) RIO MATAPE EMPALME	2,886.89	1,077.31	1,061.99	15.33	12.33	3.00	47.84	0.00	10.78	41.47	7.41	55.25	55.25	0.00
	(D) GUAYMAS	660.69	216.57	212.69	3.89	1.78	2.10	57.41	0.00	9.43	7.41	0.00	18.95	57.41	-38.46
	(E) ARROYO CHICUROSO	544.97	202.71	195.35	7.35	2.37	4.98	9.72	0.00	1.79	0.00	0.00	6.77	9.72	-2.95
	(F) ARROYO TETABIATE	584.33	206.56	200.62	5.94	2.28	3.66	1.53	0.00	0.29	0.00	2.41	3.94	3.94	0.00
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	(C) SAN JOSE DE GUAYMAS	1,234.46	332.71	331.07	1.64	1.27	0.37	12.00	0.00	2.18	0.00	0.00	2.54	12.00	-9.46
TOTALES CUENCA		9,030.76	3,600.65	3,409.66	190.98	70.22	120.76	141.20	55.50	27.49					-50.87

Tabla 65.- Cuadro resumen del movimiento del agua subterránea con el 100% del bombeo concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm<sup>3</sup>/año)

ACUIFERO	RECARGA	BOMBEO	DIFERENCIA
RÍO MATAPE	23.75	7.31	16.44
VALLE DE GUAYMAS	73.56	114.97	-41.41
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	2.55	12.00	-9.45

Con la utilización del total del volumen concesionado en REPDA se tiene un déficit de **-41.41 Mm<sup>3</sup>/año** impactando casi directamente en la unidad geohidrológica (D) Guaymas (Tabla 64 y 65), los cuales los toma de agua salada directamente de la costa y a través de la unidad geohidrológica (E) Arroyo Chicuroso desde la costa del Valle de Cruz de Piedra.

Figura 102.- Grafica de lluvia, evapotranspiración y precip-efectiva por subcuenca

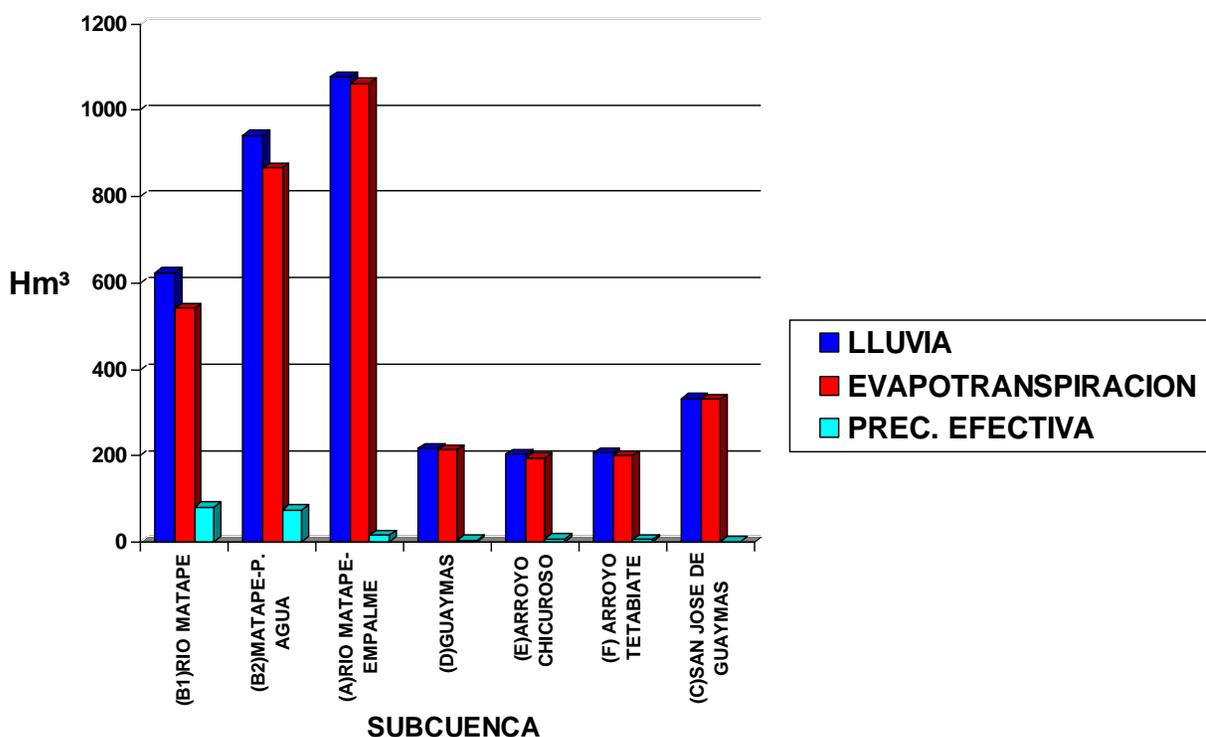
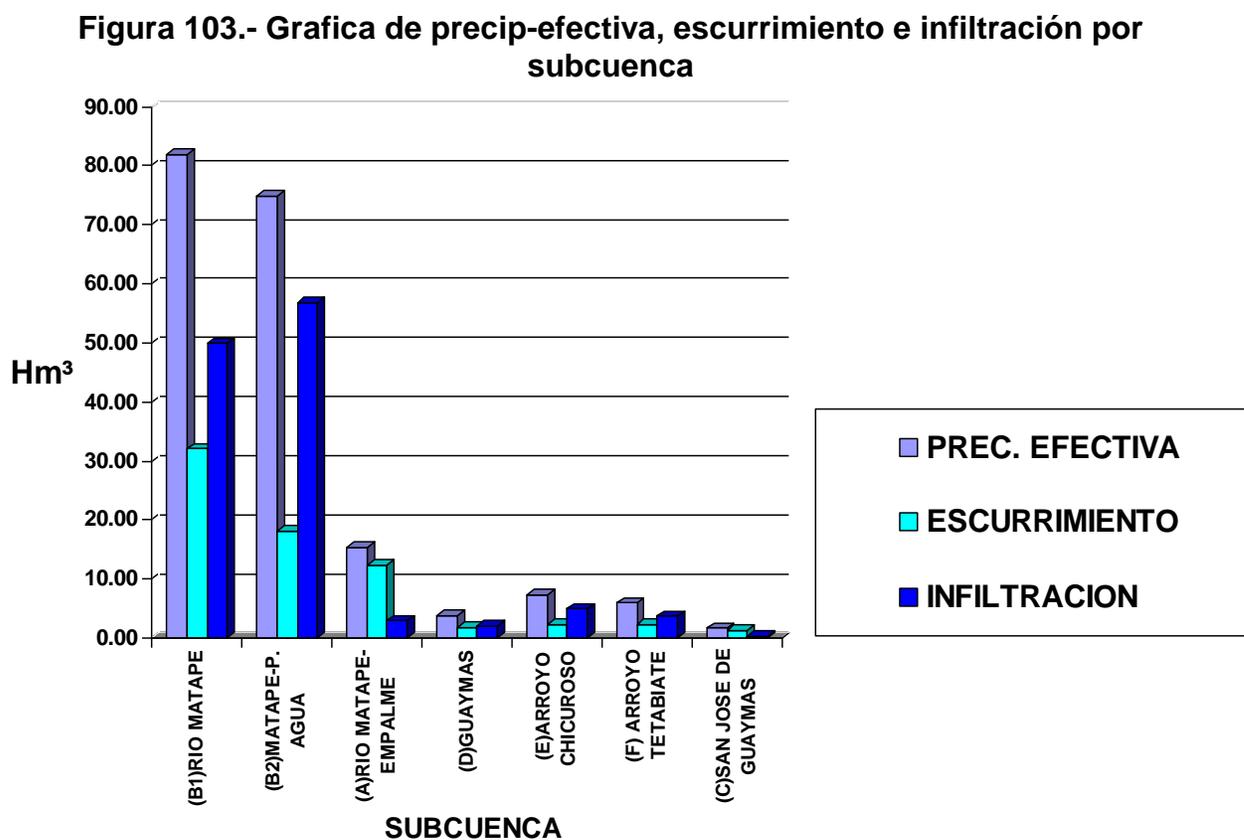


Tabla 66.- Lluvia, evapotranspiración y precip-efectiva por subcuenca (Hm<sup>3</sup>/año)

	(B1)RIO MATAPE	(B2)MATAPE-P. AGUA	(A)RIO MATAPE-EMPALME	(D)GUAYMAS	(E)ARROYO CHICUROSO	(F)ARROYO TETABIATE	(C)SAN JOSE DE GUAYMAS
LLUVIA	623.1	941.68	1077.31	216.57	202.71	206.56	332.71
EVAPOTRANSPIRACION	541.16	866.78	1061.99	212.69	195.35	200.62	331.07
PREC. EFECTIVA	81.94	74.9	15.33	3.89	7.35	5.94	1.64

La evapotranspiración es superior al 90% en todas las subcuencas y se puede apreciar claramente que la mayoría de la precipitación efectiva se da aguas arriba de

la presa Punta de Agua, (Fig. 102, Tabla 66).

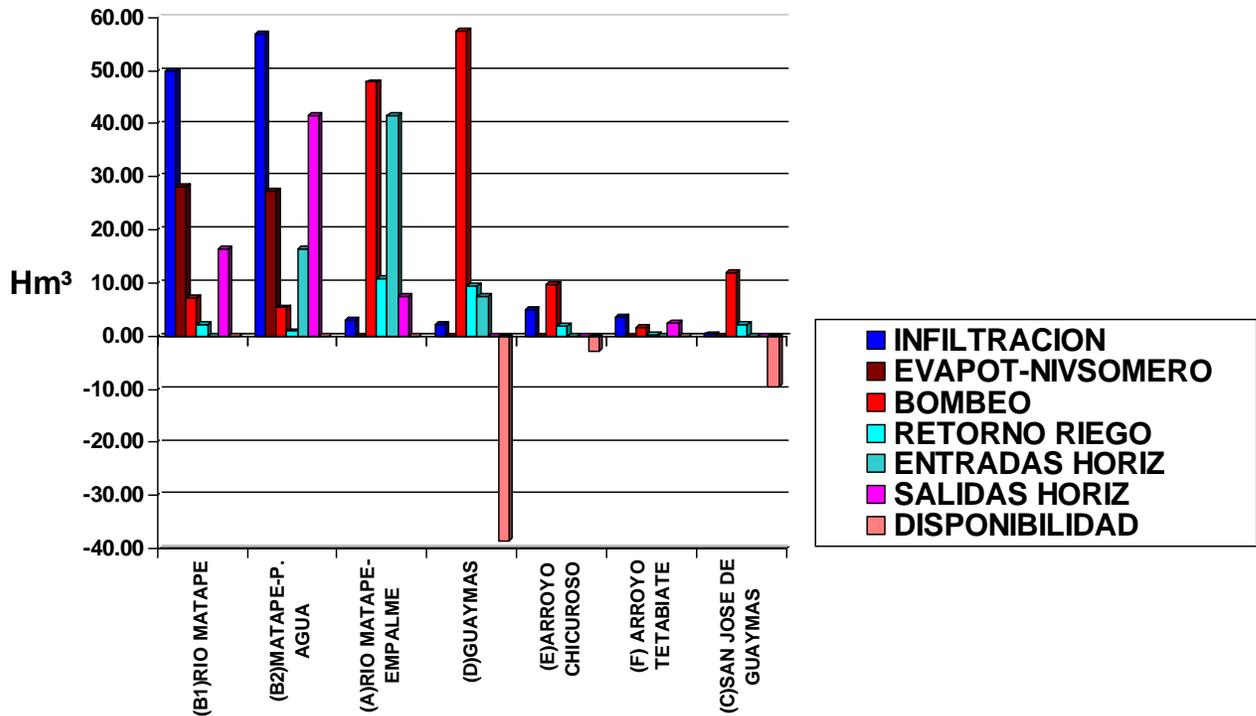


**Tabla 67.- Precip-efectiva, escurrimiento e infiltración por subcuenca (Hm³/año)**

	(B1)RIO MATAPE	(B2)MATAPE-P. AGUA	(A)RIO MATAPE-EMPALME	(D)GUAYMAS	(E)ARROYO CHICUROSO	(F) ARROYO TETABIATE	(C)SAN JOSE DE GUAYMAS
PREC. EFECTIVA	81.94	74.90	15.33	3.89	7.35	5.94	1.64
ESCURRIMIENTO	32.08	18.09	12.33	1.78	2.37	2.28	1.27
INFILTRACION	49.85	56.81	3.00	2.10	4.98	3.66	0.37

El mayor escurrimiento se da en (B1) Río Mátape por su gran precipitación y pequeña área, sin embargo la mayor infiltración se da en (B2) Río Mátape-Presa Punta de Agua, para el resto de las subcuencas las infiltraciones no sobrepasan los 5 Hm³/año, (Fig. 103, Tabla 67).

**Figura 104.- Grafica del movimiento general de agua subterránea por unidad hidrogeológica**



**Tabla 68.- Movimiento general de agua subterránea por unidad hidrogeológica (Hm³/año)**

	(B1)RIO MATAPE	(B2)MATAPE-P. AGUA	(A)RIO MATAPE-EMPALME	(D)GUAYMAS	(E)ARROYO CHICUROSO	(F) ARROYO TETABIATE	(C)SAN JOSE DE GUAYMAS
INFILTRACION	49.85	56.81	3.00	2.10	4.98	3.66	0.37
EVAPOT-NIVSOMERO	28.19	27.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BOMBEO	7.31	5.39	47.84	57.41	9.72	1.53	12.00
RETORNO RIEGO	2.09	0.92	10.78	9.43	1.79	0.29	2.18
ENTRADAS HORIZ	0.00	16.44	41.47	7.41	0.00	0.00	0.00
SALIDAS HORIZ	16.44	41.47	7.41	0.00	0.00	2.41	0.00
DISPONIBILIDAD	0.00	0.00	0.00	-38.47	-2.95	0.01	-9.45

Una vez que el agua infiltrada forma parte del acuífero la evapotranspiración sigue trabajando en las subcuencas B1 y B2 evaporando un total de 55.50 Hm³/año. Los bombeos en esta zona son pequeños, la mayoría norias, sin embargo aguas abajo en el valle se encuentran las grandes extracciones de agua que desequilibra el sistema y presenta una disponibilidad negativa a partir de la unidad hidrogeológica (D) Guaymas (Fig. 104, Tabla 68).

**Tabla 69.- Resultado de las disponibilidades utilizando el 90% del volumen concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm<sup>3</sup>/año)**

ACUÍFERO	SUBCUENCA	AREA (KM <sup>2</sup> )	VOLUMEN LLUVIA (HM <sup>3</sup> )	VOL. EVAPORADO (HM <sup>3</sup> )	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM <sup>3</sup> )	ESCURRIMIENTO (HM <sup>3</sup> )	INFILTRA (HM <sup>3</sup> )	B=BOMBEO (HM <sup>3</sup> )	E <sub>t</sub> DEL ACUÍFERO (niveles someros) (HM <sup>3</sup> )	RETORNO POR RIEGO (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS HORIZ. (HM <sup>3</sup> )	SALIDAS HORIZ. (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS (HM <sup>3</sup> )	SALIDAS (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS MENOS SALIDAS (HM <sup>3</sup> )
MATAPE	(B1) RIO MATAPE	1,124.16	623.10	541.16	81.94	32.08	49.85	6.58	28.19	1.97	0.00	17.06	51.82	51.82	0.00
VALLE DE GUAYMAS	(B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA	1,995.26	941.68	866.78	74.90	18.09	56.81	4.85	27.31	0.83	17.06	42.53	74.70	74.70	0.00
	(A) RIO MATAPE EMPALME	2,886.89	1,077.31	1,061.99	15.33	12.33	3.00	43.06	0.00	9.95	42.53	12.42	55.48	55.48	0.00
	(D) GUAYMAS	660.69	216.57	212.69	3.89	1.78	2.10	47.44	0.00	8.49	12.42	0.00	23.02	47.44	-24.42
	(E) ARROYO CHICUROSO	544.97	202.71	195.35	7.35	2.37	4.98	8.75	0.00	1.61	0.00	0.00	6.59	8.75	-2.16
	(F) ARROYO TETABIATE	584.33	206.56	200.62	5.94	2.28	3.66	1.38	0.00	0.26	0.00	2.54	3.92	3.92	0.00
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	(C) SAN JOSE DE GUAYMAS	1,234.46	332.71	331.07	1.64	1.27	0.37	10.80	0.00	1.96	0.00	0.00	2.33	10.80	-8.47
TOTALES CUENCA		9,030.76	3,600.65	3,409.66	190.98	70.22	120.76	122.85	55.50	25.08					-35.05

**Tabla 70.- Cuadro resumen del movimiento del agua subterránea con el 90% del bombeo concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm<sup>3</sup>/año)**

ACUIFERO	RECARGA	BOMBEO	DIFERENCIA
RÍO MATAPE	23.64	6.58	17.06
VALLE DE GUAYMAS	72.66	99.24	-26.58
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	2.33	10.80	-8.47

Con la utilización del 90% del volumen concesionado se tiene un déficit de **-26.58 Mm<sup>3</sup>/año** impactando aunque con menor volumen en la unidad geohidrológica (D) Guaymas (Tablas 66 y 67), los cuales los toma directamente de la costa y a través de la unidad geohidrológica (E) Arroyo Chicuroso desde la costa.

**Este escenario es el que más se asemeja a la realidad**, puesto que los usuarios del agua no utilizan todo el volumen concesionado, no porque no quieran, sino porque el acuífero no da más.

Otro indicio que sugiere que es el escenario más real, es que según mediciones de flujos horizontales en el cono de abatimiento para el paro de bombeo 2006, se determinó un volumen de **70.41 Mm<sup>3</sup>/año de agua dulce** (Tabla 55), que succiona el cono de abatimiento del norte del Valle y **19.26 Mm<sup>3</sup>/año de agua salada** (Tabla 56, Figura 95), que ingresa de la costa, entre Santa Ursula y San Francisquito, de tal forma que si restamos los **19.26 Mm<sup>3</sup>/año** a los **26.58 Mm<sup>3</sup>/año**, quedan **7.32 Mm<sup>3</sup>/año**, que serían lo que está ingresando en la costa del Valle de Cruz de Piedra o Boca Abierta.

**Tabla 71.- Resultado de las disponibilidades utilizando el 64% del volumen concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm<sup>3</sup>/año)**

ACUÍFERO	SUBCUENCA	AREA (KM <sup>2</sup> )	VOLUMEN LLUVIA (HM <sup>3</sup> )	VOL. EVAPORADO (HM <sup>3</sup> )	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM <sup>3</sup> )	ESCURRIMIENTO (HM <sup>3</sup> )	INFILTRA (HM <sup>3</sup> )	B=BOMBEO (HM <sup>3</sup> )	Et DEL ACUIFERO (niveles someros) (HM <sup>3</sup> )	RETORNO POR RIEGO (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS HORIZ. (HM <sup>3</sup> )	SALIDAS HORIZ. (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS (HM <sup>3</sup> )	SALIDAS (HM <sup>3</sup> )	ENTRADAS MENOS SALIDAS (HM <sup>3</sup> )
MATAPE	(B1) RIO MATAPE	1,124.16	623.10	541.16	81.94	32.08	49.85	4.68	28.19	1.68	0.00	18.66	51.53	51.53	0.00
VALLE DE GUAYMAS	(B2) RIO MATAPE-PRESA PUNTA DE AGUA	1,995.26	941.68	866.78	74.90	18.09	56.81	3.45	27.31	0.59	18.66	45.30	76.06	76.06	0.00
	(A) RIO MATAPE EMPALME	2,886.89	1,077.31	1,061.99	15.33	12.33	3.00	30.62	0.00	7.78	45.30	25.46	56.08	56.08	0.00
	(D) GUAYMAS	660.69	216.57	212.69	3.89	1.78	2.10	33.73	0.00	6.04	25.46	0.00	33.60	33.73	-0.13
	(E) ARROYO CHICUROSO	544.97	202.71	195.35	7.35	2.37	4.98	6.22	0.00	1.15	0.00	0.00	6.12	6.22	-0.10
	(F) ARROYO TETABIATE	584.33	206.56	200.62	5.94	2.28	3.66	0.98	0.00	0.18	0.00	2.86	3.84	3.84	0.00
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	(C) SAN JOSE DE GUAYMAS	1,234.46	332.71	331.07	1.64	1.27	0.37	7.68	0.00	1.39	0.00	0.00	1.76	7.68	-5.92
TOTALES CUENCA		9,030.76	3,600.65	3,409.66	190.98	70.22	120.76	87.36	55.50	18.81					-6.15

**Tabla 72.- Cuadro resumen del movimiento del agua subterránea con el 64% del bombeo concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm<sup>3</sup>/año)**

ACUIFERO	RECARGA	BOMBEO	DIFERENCIA
RÍO MATAPE	23.34	4.68	18.66
VALLE DE GUAYMAS	70.34	70.57	-0.23
SAN JOSÉ DE GUAYMAS	1.76	7.68	-5.92

A este enfoque se le conoce como análisis de sensibilidad en reversa (buscar objetivo), lo que se hace es preguntarse qué valores debe tener la variable (B) para que el resultado sea determinado valor, en este caso cercano a cero que es donde se encuentra el punto de equilibrio RECARGA-BOMBEO del acuífero Valle de Guaymas.

Para que el acuífero de Valle de Guaymas se encuentre en equilibrio se deben reducir las extracciones a un **64%** del volumen concesionado en REPDA, quedando un volumen de extracción de **70.57 Mm<sup>3</sup>/año**, contra una recarga de **70.34 Mm<sup>3</sup>/año**, resultando una disponibilidad de **-0.23 Mm<sup>3</sup>/año** (Tablas 68 y 69).

El área del acuífero del Río Mátape se caracteriza por su elevada precipitación y baja temperatura en comparación con los acuíferos costeros de la cuenca del Río Mátape, según los resultados obtenidos tiene grandes cantidades de escurrimiento e infiltración, sin embargo tiene grandes pérdidas por evapotranspiración, debido a niveles freáticos someros. En lo que respecta a el retorno por riego, es muy pequeño debido a que los bombes agrícolas no son relevantes (Tabla 73).

**Tabla 73.- Resumen general del acuífero Río Mátape (Unidad hidrogeológica B1)**

		CON BOMBEO DE REPDA	90 % DEL BOMBEO REPDA
A (Km <sup>2</sup> )		1,124.16	
Pm (mm/año)		554.28	
T (°c)		21.67	
E (Hm <sup>3</sup> /año)		32.08	
ENTRADAS	I (Hm <sup>3</sup> /año)	49.85	49.85
	Rr (Hm <sup>3</sup> /año)	2.09	1.97
	Eh (Hm <sup>3</sup> /año)	0.00	0.00
SALIDAS	Evs (Hm <sup>3</sup> /año)	28.19	28.19
	B (Hm <sup>3</sup> /año)	7.31	6.58
	Sh (Hm <sup>3</sup> /año)	16.44	17.05
	Ca (Hm <sup>3</sup> /año)	0.00	0.00
<b>SITUACION EQUILIBRIO</b>			

**Donde:**

A= Área

Pm= Precipitación media

T= Temperatura media

E= Escurrimiento Medio

I= Infiltración

Rr= Recarga por Riego

Eh= Entradas Horizontales

Evs= Evapotranspiración niveles someros

B= Bombeo

Sh= Salidas Horizontales

Ca=Cambio de Almacenamiento

La explosiva mezcla del clima y un régimen de precipitaciones irregular con intensos períodos de sequías, determina condiciones hídricas muy poco afortunadas para los acuíferos Valle de Guaymas y San José de Guaymas y si además tenemos en cuenta el incremento en la densidad de población y desarrollo económico en las ciudades de Guaymas, San Carlos y Empalme, con la consecuente sobreexplotación de los mantos freáticos, no es de extrañar que hoy, la búsqueda de una adecuada gestión del recurso "agua" sea uno de los principales retos para la sociedad.

El acuífero del Valle de Guaymas está sobre concesionado y los usuarios del agua no extraen la totalidad concesionada (Tabla 74).

**Tabla 74.- Resumen general del acuífero Valle de Guaymas (Área Admiva. Unidades hidrogeológicas B2, A, D, E y F).**

		CON BOMBEO DE REPDA	CON BOMBEO DE DR 084
A (Km <sup>2</sup> )		6,672.13	
Pm (mm/año)		396.39	
T (°c)		23.53	
E (Hm <sup>3</sup> /año)		36.87	
ENTRADAS	I (Hm <sup>3</sup> /año)	70.54	70.54
	Rr (Hm <sup>3</sup> /año)	23.22	21.14
	Eh (Hm <sup>3</sup> /año)	16.44	17.06
SALIDAS	Evs (Hm <sup>3</sup> /año)	27.31	27.31
	B (Hm <sup>3</sup> /año)	121.89	105.47
	Sh (Hm <sup>3</sup> /año)	2.41	2.54
	Ca (Hm <sup>3</sup> /año)	-41.41	-26.58
<b>SITUACION SOBREEXPLOTADO</b>			

Las concesiones de agua subterránea en el Acuífero del Valle de Guaymas, sobrepasa en un **51%** al valor de la RECARGA anual, generándose sobre explotación (**121.89 Mm<sup>3</sup>/año** de extracción por bombeo contra **80.48 Mm<sup>3</sup>/año** de recarga vertical y flujo horizontal subterráneo, menos la evaporación de niveles someros, menos la descarga horizontal al mar de la subcuenca Tetabiate), dando una disponibilidad de **-41.41 Mm<sup>3</sup>/año**.

El Acuífero del Valle de Guaymas tiene una superficie administrativa de **6,672.13 km<sup>2</sup>**.

El clima (precipitación y temperatura) juega un papel importante en el proceso de recarga al acuífero. Se presentan alternancias de periodos de sequía y de lluvia, predominando los primeros, lo que trae como consecuencia no contar con un volumen de recarga determinado en forma continua, además el abatimiento acelerado de los niveles genera un mayor desfaseamiento en el tiempo de tránsito de agua que llega al acuífero.

Del balance de aguas subterráneas efectuado para el Acuífero del Valle de Guaymas, se deduce una recarga vertical del orden de los **93.76 Mm<sup>3</sup>/año**, la que sumada a las entradas subterráneas horizontales **16.44 Mm<sup>3</sup>/año** provenientes de la cuenca alta (Acuífero Río Mátape), alcanza un volumen del orden de los **110.20 Mm<sup>3</sup>/año** de entradas.

Por lo que respecta a las salidas del sistema, la extracción fue del orden de los **121.89 Mm<sup>3</sup>/año**, salidas subterráneas horizontales de **2.41 Mm<sup>3</sup>/año** y salidas por evaporación de niveles someros por **27.31 Mm<sup>3</sup>/año**, para un total de **151.61 Mm<sup>3</sup>/año** de salidas. Con lo que resulta un déficit de **-41.41 Mm<sup>3</sup>/año**.

Mas sin embargo haciendo el análisis solo para el valle sin tomar en cuenta las unidades geohidrológicas “B2” aguas arriba de la presa, ni la “F” que es independiente. Y si tomamos el bombeo reportado por el D.R. 084 que se basa por los ciclos agrícolas, laminas de riego y tipos de cultivo tenemos lo siguiente:

**Tabla 75.- Resumen general del acuífero Valle de Guaymas (Solo el Valle Unidades hidrogeológicas A, D y E).**

		CON BOMBEO DE REPDA	CON BOMBEO DE DR 084
A (Km <sup>2</sup> )		4,092.55	
Pm (mm/año)		365.68	
T (°c)		23.78	
E (Hm <sup>3</sup> /año)		16.49	
ENTRADAS	I (Hm <sup>3</sup> /año)	10.08	10.08
	Rr (Hm <sup>3</sup> /año)	22.01	20.05
	Eh (Hm <sup>3</sup> /año)	41.47	42.53
SALIDAS	Evs (Hm <sup>3</sup> /año)	0.00	0.00
	B (Hm <sup>3</sup> /año)	114.97	99.24
	Sh (Hm <sup>3</sup> /año)	0.00	0.00
	Ca (Hm <sup>3</sup> /año)	-41.41	-26.58
<b>SITUACION SOBREEXPLOTADO</b>			

Vemos que la infiltración cayó de 70.54 a 10.08 Hm<sup>3</sup>/año, el bombeo baja muy poco, y por lo tanto el retorno por riego también. Otro cambio importante es que ya no existe evaporación de niveles someros (por ausencia de B2) ni salidas horizontales (ausencia de F). También vemos que las entradas horizontales han aumentado considerablemente debido al flujo subterráneo aportado por “B2”.

Este cálculo es el que más encaja en nuestro análisis y se concluye que el acuífero del Valle de Guaymas esta sobre **concesionado en el REPDA por 114.97 Hm<sup>3</sup>/año**, de los cuales en la actualidad se están **extrayendo realmente 99.24 Hm<sup>3</sup>/año**, **la recarga resultado de 72.66 Hm<sup>3</sup>/año**, la cual se obtiene de sumar **10.08 Hm<sup>3</sup>/año por infiltración**, más **20.05 Hm<sup>3</sup>/año de retorno por riego** y **42.53 Hm<sup>3</sup>/año por entradas horizontales**.

Entre Santa Ursula y San Francisquito se calculo una entrada de agua salobre del orden de **19.26 Mm<sup>3</sup>/año**, a los cuales se le agregan **7.32 Mm<sup>3</sup>/año de agua salobre que entran en el Valle de Cruz de Piedra**, entre San Francisquito y la Sierra del Bacatete, dando un total de **26.58 Hm<sup>3</sup>/año**.

Para el acuífero de San José de Guaymas las bajas precipitaciones y las grandes temperaturas propician que tenga una recarga muy limitada (Tabla 76)

**Tabla 76.- Resumen general del acuífero San José de Guaymas (Unidad hidrogeológica C).**

		CON BOMBEO DE REPDA	CON BOMBEO DE U.R.		
A (Km <sup>2</sup> )		1,234.46			
Pm (mm/año)		269.52			
T (°c)		24.53			
E (Hm <sup>3</sup> /año)		1.27			
ENTRADAS	I (Hm <sup>3</sup> /año)	0.37	2.55	0.37	2.33
	Rr (Hm <sup>3</sup> /año)	2.18		1.96	
	Eh (Hm <sup>3</sup> /año)	0.00		0.00	
SALIDAS	Evs (Hm <sup>3</sup> /año)	0.00	12.00	0.00	10.80
	B (Hm <sup>3</sup> /año)	12.00		10.80	
	Sh (Hm <sup>3</sup> /año)	0.00		0.00	
	Ca (Hm <sup>3</sup> /año)			-9.45	
<b>SITUACION SOBREEXPLOTADO</b>					

El acuífero de San José de Guaymas resulto con una recarga de 2.55 Hm<sup>3</sup>/año y su única salida es el bombeo, el cual asciende a 12.00 Hm<sup>3</sup>/año, para una disponibilidad de -9.45 Hm<sup>3</sup>/año (Tabla 76).

## VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. CONCLUSIONES

El **acuífero Río Mátape (Unidad hidrogeológica B1)** se encuentra en equilibrio pues sus entradas son igual a sus salidas aproximadamente  $52 \text{ Hm}^3/\text{año}$  y genera gran parte de la recarga hacia el valle  $16.44 \text{ Hm}^3/\text{año}$ , tiene grandes pérdidas por evaporación de niveles someros  $28.19 \text{ Hm}^3/\text{año}$ .

El **acuífero del Valle de Guaymas (Unidades A, D y E)** esta sobre **concesionado en el REPDA por  $114.97 \text{ Hm}^3/\text{año}$** , de los cuales en la actualidad se están **extrayendo realmente  $99.24 \text{ Hm}^3/\text{año}$** , **la recarga resultado de  $72.66 \text{ Hm}^3/\text{año}$** , la cual se obtiene de sumar  **$10.08 \text{ Hm}^3/\text{año}$  por infiltración**, más  **$20.05 \text{ Hm}^3/\text{año}$  de retorno por riego** y  **$42.53 \text{ Hm}^3/\text{año}$  por entradas horizontales**.

Entre Santa Ursula y San Francisquito se calculo una entrada de agua salobre del orden de  **$19.26 \text{ Mm}^3/\text{año}$** , **a los cuales se le agregan  $7.32 \text{ Mm}^3/\text{año}$  de agua salobre que entran en el Valle de Cruz de Piedra, entre San Francisquito y la Sierra del Bacatete, dando un total de  $26.58 \text{ Hm}^3/\text{año}$** .

El cono de abatimiento se localizo mediante la evolución del nivel estático en el Valla de Guaymas, para el periodo de febrero de **1995 a diciembre de 2006**, se establece que las mayores evoluciones negativas, se localizan en las localidades de **Ejido Maytorena, Ejido Morelos**, con nivel estático por debajo de los **50 m.b.n.m.**

Los pozos de agua en el Valle de Guaymas están en peligro de desaparecer por la creciente presencia de sal en el agua. Si se sigue con este régimen de explotación en **20 años** los mantos acuíferos del área habrán desaparecido por completo ya que hasta la fecha el valle ha **perdido 30 kilómetros de tierra fértil** por penetración salina desde la costa según los análisis de calidad de agua efectuados en el 2007. De los **13 pozos que abastecían al Municipio desde 1957**, actualmente sólo quedan **4**.

El acuífero de San José de Guaymas resultado con una recarga de  $2.55 \text{ Hm}^3/\text{año}$  y su única salida es el bombeo, el cual asciende a  $12.00 \text{ Hm}^3/\text{año}$ , para una disponibilidad de  $-9.45 \text{ Hm}^3/\text{año}$  (Tabla 76).

**Esta sobreexplotación de recursos conlleva los siguientes problemas:**

Disminución en el rendimiento de los pozos.

1.- El descenso de los niveles del acuífero producen los siguientes efectos:

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Agotamiento de norias y pozos poco profundos.
- Profundización de cámaras de bombeo.
- Incremento en los costos de operación y consumo de energía eléctrica
- Interferencia entre pozos.
- En última instancia, agotamiento del acuífero.
- Graves efectos medioambientales.
- Reducción de caudales en torrentes y desaparición de humedales, afección a la flora y fauna, aumento del riesgo de incendios etc..
- Variación del flujo subterráneo que modifique la calidad del agua.

2.- Salinización de los acuíferos Valle de Guaymas y San José de Guaymas. Cuando se rompe el equilibrio agua dulce - agua marina en acuíferos costeros, al extraer más agua de la debida, el agua de mar penetra tierra adentro generándose una "cuña de intrusión marina". Esto implica una pérdida de calidad y una progresiva salinización del agua del acuífero. Para el desarrollo de nuestra sociedad se ha cobrado inevitablemente un precio muy alto en nuestro medio natural.

### **8.2. RECOMENDACIONES**

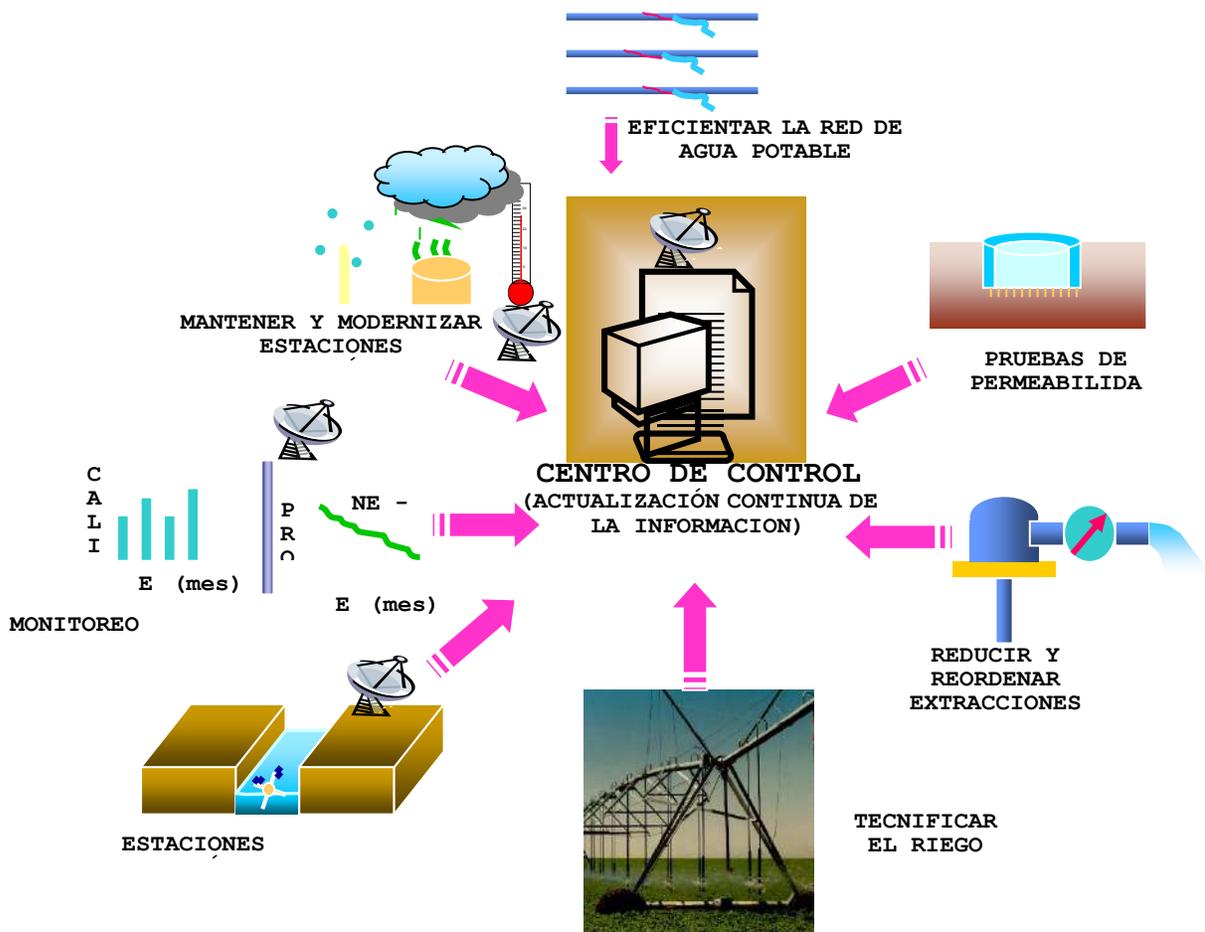
- Limitar las extracciones de los acuíferos e impedir nuevas perforaciones. Hacer una reordenación de las actuales captaciones. Invertir en proyectos de recarga artificial cuando haya excedentes de agua.
- Llevar el control estricto de las extracciones de agua subterránea y consumos de agua.
- Evaluar la posibilidad de extraer agua subterránea en las subcuencas B1 Río Mátape y B2 Río Mátape-Presa Punta de Agua y trasladarla al Valle, de esta forma se reduciría la (Ev) evaporación de niveles someros en la parte alta y se disminuiría el bombeo en el Valle. Debiéndose efectuar un estudio de impacto ambiental en la parte alta.
- Llevar el monitoreo continuo de la situación geohidrológica y a medida que pase el tiempo, llegar a automatizar el sistema de medición del acuífero.
- Ampliar el conocimiento sobre la permeabilidad del suelo.
- Actualizar periódicamente los balances de agua superficial y subterránea.
- Actualizar y calibrar los modelos matemáticos de flujo hidráulico subterráneo.
- Promover la eficientización de las redes de agua potable y tecnificar el riego.
- Potenciar la reutilización de las aguas tratadas en la agricultura y para el riego de zonas de jardín. Esto implica una fuerte inversión en la optimización de las plantas de tratamiento, para obtener agua de calidad.
- Llevar el control de los volúmenes de agua superficial que transitan por la cuenca.
- Invertir en desalación de agua de mar, un recurso inagotable, seguro (no depende de si llueve o no), pero con un elevado costo económico y energético.
- Promover la cultura del agua y la participación social.
- Reducir la demanda de agua. Asegurar un nivel de población que sea sostenible.
- Reorientar la tecnología y la gestión de los riesgos de degradar el agua tanto en su calidad como cantidad.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Realizar un modelo de optimización del recurso agua para proponer los escenarios técnicos y sociales más viables, así como la evaluación económica que involucra tomar las medidas y acciones que se propongan, así como conocer el impacto que tendrían tanto en el ecosistema como en la sociedad.

A través de la preservación y conocimiento del agua se puede hacer de este recurso la base del desarrollo y bienestar. Todas las recomendaciones anteriores se representan en la Figura 105.

**Figura 105.- Esquema gráfico de recomendaciones**



## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Alvarez, M. 1958. Provincias Fisiográficas de la República Mexicana. Congreso Internacional de Geografía. México, D. F.
- Aparicio, M. 1999. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa, Grupo Noriega Editores. México, D. F. 303 p.
- Barojas, O., P. 2002. Balance Hídrico Integral y Alternativas de Balance de Agua: Caso Guaymas. Tesis profesional. Depto. Geol. Univ. Son. 56 p.
- Fullana Montoro, Juan. 2001. Plan de protección de recursos hídricos de la zona húmeda de Almenara. TT. MM. Varios (Castellón), Ministerio de Medio Ambiente, Valencia, España. 226 p.
- Canales, E. A. 2005. Manual de Hidrología Subterránea. Insto. Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón. 224 p.
- Castillo, J., Morales, M., Vega, E., Ríos, M., Muñoz, G., Sandoval, R., Rodríguez, J., Martínez, S., Ibarra, R., Borgo, G. 2002. Disponibilidad y Planeación del Recurso Agua en el Municipio de Empalme, Sonora. SIMAC-CONACYT (Clave: 990106512). 102 p.
- Chow, V. T., D. R. Maidment y L. W. Mays. 1994. Hidrología Aplicada, Ed. Mc Graw-Hill Interamericana, Santa Fe de Bogotá, Colombia. 584 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2006. Registro de régimen de almacenamiento de la Presa Ignacio L. Alatorre. Arroyo Mátape o Río San Marcial. Cuenca Río Mátape. Edo. Sonora. Mpio. Guaymas. Subgerencia Técnica. Depto. Aguas Superficiales.
- CONAGUA. 2003. Mapa de vedas. Curso-Taller: "Formación de Instructores en Manejo y preservación del agua". México, D.F.
- CONAGUA. 2004. Archivos de la Subgerencia Técnica: Datos de niveles estáticos obtenidos en paros de bombeo. Gerencia Regional en Sonora. Edif. México. Vado del Río. Hermosillo, Son.
- CONAGUA. 2007. A falta de información, se supondrá que el valor de la fracción varía entre valores extremos linealmente según la profundidad de dicho nivel. Normalmente, por información de CONAGUA (2007) se utiliza una profundidad máxima de 10 m. Este parámetro es considerable en zonas con niveles estáticos muy someros a lo largo de
- Custodio, E. y Llamas, Manuel Ramon. 1996. Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, S. A. España. Tomos I y II. 2347 p.
- Domenico, P. A. & Schwartz, F. W. 1998. Physical and chemical hydrogeology. Wiley, Ed. 502 p.
- Fetter, C. W. 2001. Applied Hydrogeology. Fourth Edition. Prentice Hall, New Jersey. 598 p.
- Freeze, A. y Cherry, J. A. 1979. Groundwater. New Jersey. Prentice Hall, Inc. 588 p.
- Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. A.G.U.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2005. "Formación de Instructores en Manejo y preservación del agua", México, D.F. 55 Diapositivas.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1993, Estudio hidrológico del Estado de Sonora: México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, 81 p.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2000, Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora: Aguascalientes, Ags., Secretaría de Programación y Presupuesto, 88 p.

Jarrett, A. R. 2000. Water Management. 2nd Edition. Kendall Hunt Publishing Co., Inc. Dubuque, IA. 411 pp.

Linsley, R.K., Kohler, M.A. y Paulus, J.L.H. 1994. Hidrología para Ingenieros. Segunda Edición. Pp. 164-165.

Martínez León Ramón. 2000. Estudio Hidrológico de la cuenca Arroyo Guaymas con énfasis en el Desarrollo Urbano. Tesis de Licenciatura. Depto. de Ingeniería Civil y Minas. Universidad de Sonora. 113 p.

López, A. 2002. Construcción de Redes de Flujo para Calcular Gastos Subterráneos del Acuífero del Valle de Guaymas. Tesis de Licenciatura. Depto. de Ingeniería Civil y Minas. Universidad de Sonora. 79 p.

Monsalve, S.G. 1999. Hidrología en la Ingeniería, Ed. Alfa Omega, 2ª Edición, p. 191-192

Rangel, M. 1997. Hidrogeología Ambiental Aplicada a los Sistemas Acuíferos La Colorada y Mátape y sus Implicaciones sobre la Vulnerabilidad a la Contaminación del Agua Subterránea. Tesis de Maestría. Depto. de Geología. Universidad de Sonora. 132 p.

Registro Público de Derechos del Agua (REPGA). 2003. Censo de pozos de los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Regional en Sonora. Edif. México. Vado del Río. Hermosillo, Son.

Tapia P., G., 2000, Formulación de un modelo preliminar para el estudio de intrusión salina en el acuífero del Valle de Guaymas: Hermosillo, México, Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora, tesis profesional, 54 p.

Técnicas Modernas de Ingeniería (TMI), 1975, Interpretación de datos y determinación del potencial actual del acuífero en la Costa de Guaymas, Sonora: México, D. F. Secretaría de Recursos Hidráulicos, Contrato I.C.S. 75-2. Tomos I, II y III, X-7 p.

Thiessen, A.H. 1911. Precipitation for large areas. Monthly Weather Review. Vol. 39. pp. 1082-1084

UNESCO. 1978. Tabla de World Water Balance and Water Resources of the Earth.

Vega, G. E. 1991. Apuntes de Hidrogeología. Ed. Depto. Geol. Univ. Son. 103 p.

#### **CITAS DE INTERNET:**

(<http://cictd.uaslp.mx/geo/geohidrologia/diapositivas/cap2/cap2.htm>).

(<http://web.usal.es/~javisan/hidro/>)

(<http://www.eccentrix.com/members/hydrogeologie/hidrogeol/05000acuifero.html>)

(<http://www.eccentrix.com/members/hydrogeologie/hidrogeol/06000perm.htm>)