

VII. ANALISIS 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

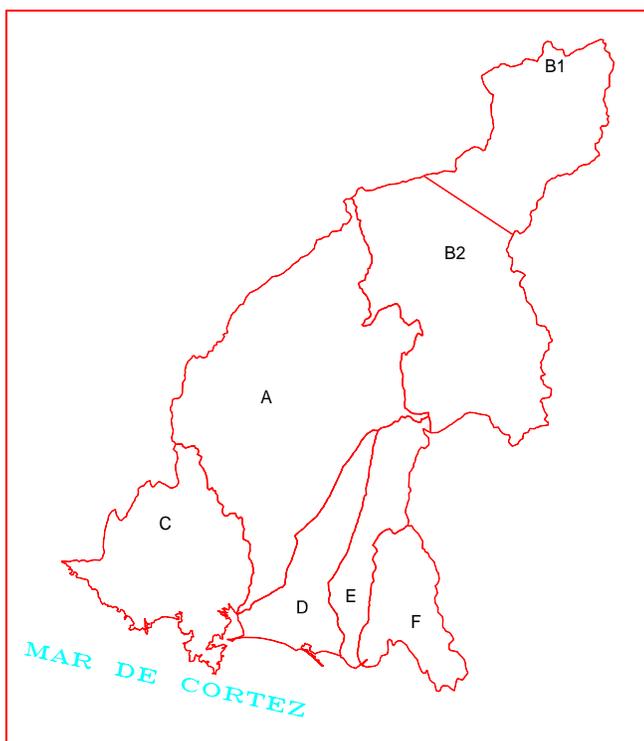


Tabla 64.- Resultado de las disponibilidades utilizando el 100% del volumen concesionado en los acuíferos de la Cuenca del Río Mátape (Mm³/año)

ACUÍFERO	SUBCUENCA	AREA (KM ²)	VOLUMEN LLUVIA (HM ³)	VOL. EVAPORADO (HM ³)	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM ³)	ESCURRIMIENTO NATURAL MEDIO ANUAL (HM ³)	INFILTRA (HM ³)	B=BOMBEO (HM ³)	Ei DEL ACUIFERO (niveles someros) (HM ³)	RETORNO POR RIEGO (HM ³)	ENTRADAS HORIZ. (HM ³)	SALIDAS HORIZ. (HM ³)	ENTRADAS (HM ³)	SALIDAS (HM ³)	ENTRADAS MENOS SALIDAS (HM ³)
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 (Mm³/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 Mm³/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

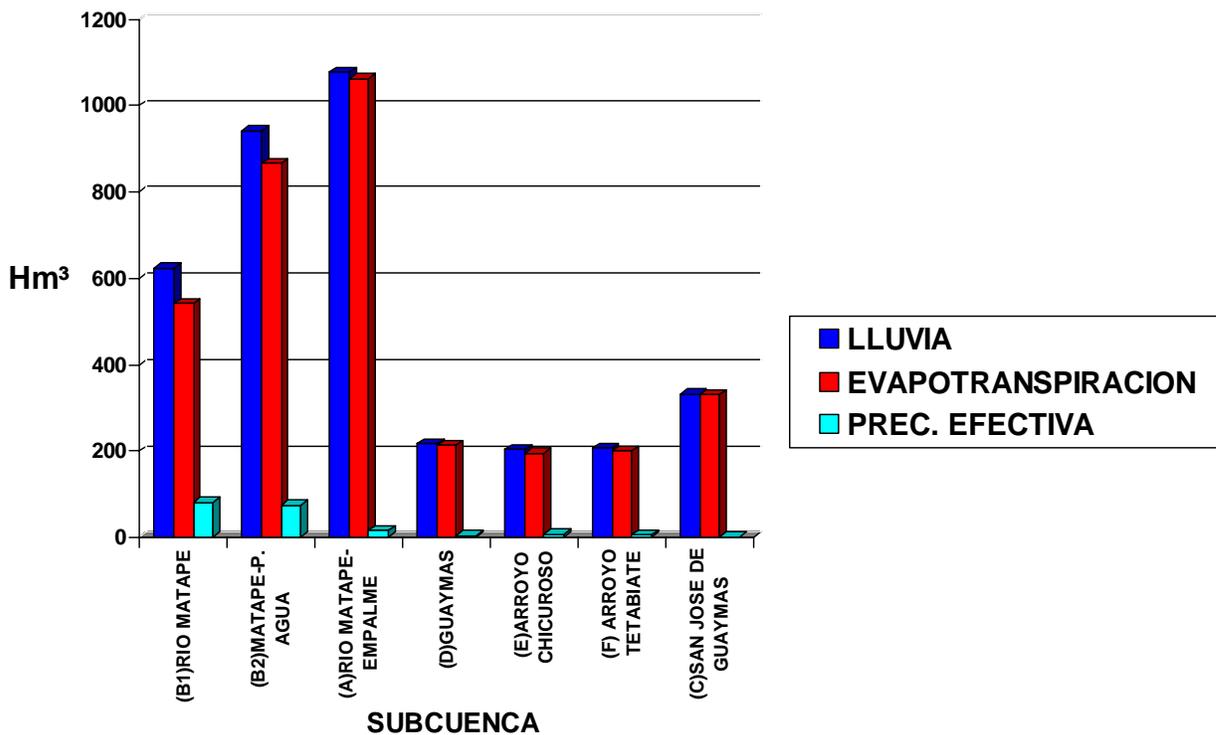


Tabla 66.- Lluvia, evapotranspiración y precip-efectiva por subcuenca (Hm³/año)

	(B1)RIO MATAPE	(B2)MATAPE-P. AGUA	(A)RIO MATAPE-EMPALME	(D)GUAYMAS	(E)ARROYO CHICUROSO	(F) ARROYO TETABIATE	(C)SAN JOSE DE GUAYMAS
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).

Figura 103.- Grafica de precip-efectiva, escurrimiento e infiltración por subcuenca

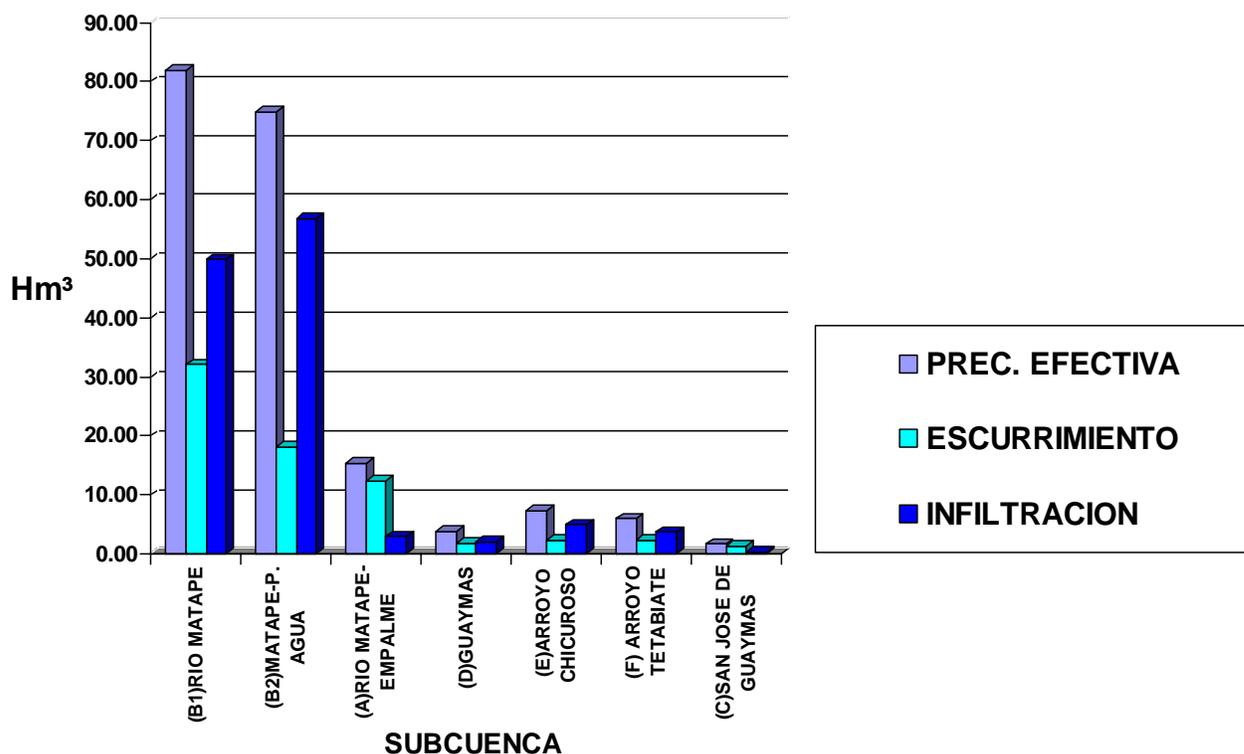


Tabla 67.- Precip-efectiva, escurrimiento e infiltración por subcuenca (Hm³/año)

	(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

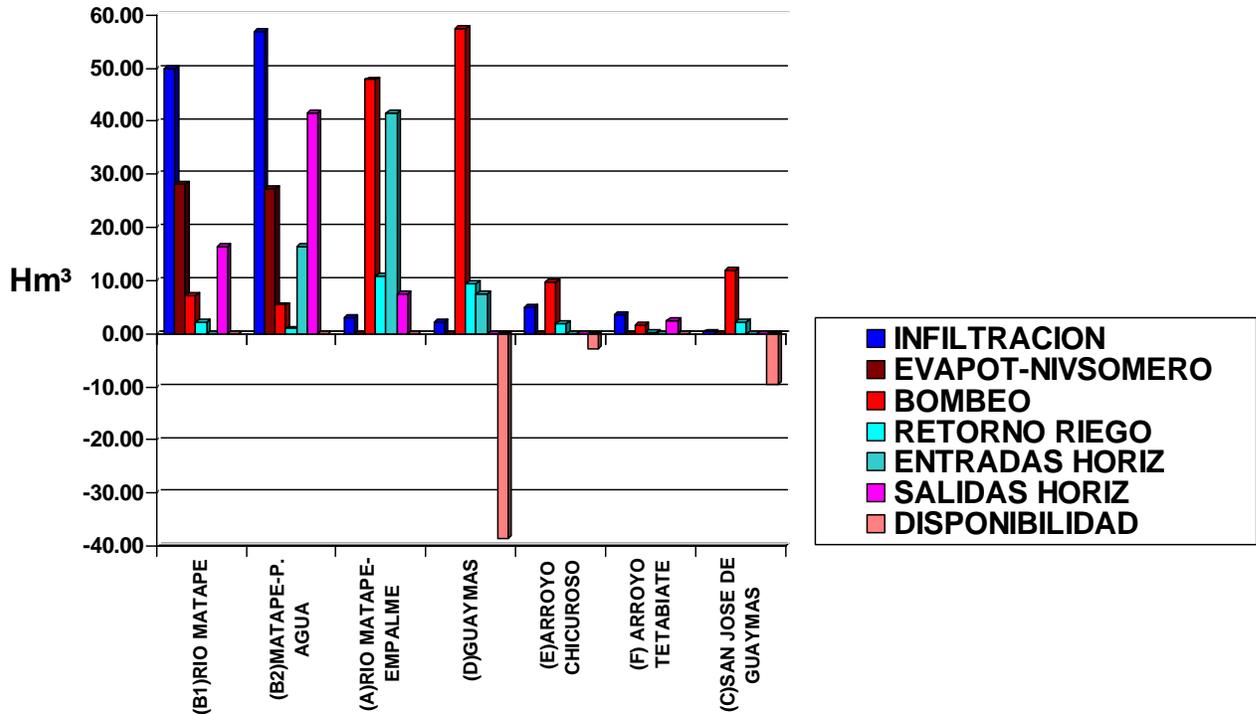


Tabla 68.- Movimiento general de agua subterránea por unidad hidrogeológica (Hm³/año)

	(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 (Mm³/año)

ACUÍFERO	SUBCUENCA	AREA (KM ²)	VOLUMEN LLUVIA (HM ³)	VOL. EVAPORADO (HM ³)	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM ³)	ESCURRIMIENTO (HM ³)	INFILTRA (HM ³)	B=BOMBEO (HM ³)	Et DEL ACUIFERO (niveles someros) (HM ³)	RETORNO POR RIEGO (HM ³)	ENTRADAS HORIZ. (HM ³)	SALIDAS HORIZ. (HM ³)	ENTRADAS (HM ³)	SALIDAS (HM ³)	ENTRADAS MENOS SALIDAS (HM ³)
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 (Mm³/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 Mm³/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 Mm³/año de agua dulce** (Tabla 55), que succiona el cono de abatimiento del norte del Valle y **19.26 Mm³/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 Mm³/año** a los **26.58 Mm³/año**, quedan **7.32 Mm³/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 (Mm³/año)

ACUÍFERO	SUBCUENCA	AREA (KM ²)	VOLUMEN LLUVIA (HM ³)	VOL. EVAPORADO (HM ³)	VOL. PRECIP. EFECTIVA (HM ³)	ESCURRIMIENTO (HM ³)	INFILTRACION (HM ³)	B=BOMBEO (HM ³)	Et DEL ACUÍFERO (niveles someros) (HM ³)	RETORNO POR RIEGO (HM ³)	ENTRADAS HORIZ. (HM ³)	SALIDAS HORIZ. (HM ³)	ENTRADAS (HM ³)	SALIDAS (HM ³)	ENTRADAS MENOS SALIDAS (HM ³)
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 (Mm³/año)

ACUÍFERO	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 Mm³/año**, contra una recarga de **70.34 Mm³/año**, resultando una disponibilidad de **-0.23 Mm³/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 ²)		1,124.16	
Pm (mm/año)		554.28	
T (°c)		21.67	
E (Hm ³ /año)		32.08	
ENTRADAS	I (Hm ³ /año)	49.85	49.85
	Rr (Hm ³ /año)	2.09	1.97
	Eh (Hm ³ /año)	0.00	0.00
SALIDAS	Evs (Hm ³ /año)	28.19	28.19
	B (Hm ³ /año)	7.31	6.58
	Sh (Hm ³ /año)	16.44	17.05
	Ca (Hm ³ /año)	0.00	0.00
SITUACION EQUILIBRIO			

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 ²)		6,672.13	
Pm (mm/año)		396.39	
T (°c)		23.53	
E (Hm ³ /año)		36.87	
ENTRADAS	I (Hm ³ /año)	70.54	70.54
	Rr (Hm ³ /año)	23.22	21.14
	Eh (Hm ³ /año)	16.44	17.06
SALIDAS	Evs (Hm ³ /año)	27.31	27.31
	B (Hm ³ /año)	121.89	105.47
	Sh (Hm ³ /año)	2.41	2.54
	Ca (Hm ³ /año)	-41.41	-26.58
SITUACION SOBREEXPLOTADO			

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 Mm³/año** de extracción por bombeo contra **80.48 Mm³/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 Mm³/año**.

El Acuífero del Valle de Guaymas tiene una superficie administrativa de **6,672.13 km²**.

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 desfase 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 Mm³/año**, la que sumada a las entradas subterráneas horizontales **16.44 Mm³/año** provenientes de la cuenca alta (Acuífero Río Mátape), alcanza un volumen del orden de los **110.20 Mm³/año** de entradas.

Por lo que respecta a las salidas del sistema, la extracción fue del orden de los **121.89 Mm³/año**, salidas subterráneas horizontales de **2.41 Mm³/año** y salidas por evaporación de niveles someros por **27.31 Mm³/año**, para un total de **151.61 Mm³/año** de salidas. Con lo que resulta un déficit de **-41.41 Mm³/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 (Km²)		4,092.55	
Pm (mm/año)		365.68	
T (°c)		23.78	
E (Hm³/año)		16.49	
ENTRADAS	I (Hm³/año)	10.08	10.08
	Rr (Hm³/año)	22.01	20.05
	Eh (Hm³/año)	41.47	42.53
SALIDAS	Evs (Hm³/año)	0.00	0.00
	B (Hm³/año)	114.97	99.24
	Sh (Hm³/año)	0.00	0.00
	Ca (Hm³/año)	-41.41	-26.58
SITUACION SOBREEXPLOTADO			

Vemos que la infiltración cayó de 70.54 a 10.08 Hm³/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 nivele 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 Hm³/año**, de los cuales en la actualidad se están **extrayendo realmente 99.24 Hm³/año**, la recarga **resultado de 72.66 Hm³/año**, la cual se obtiene de sumar **10.08 Hm³/año por infiltración**, más **20.05 Hm³/año de retorno por riego** y **42.53 Hm³/año por entradas horizontales**.

Entre Santa Ursula y San Francisquito se calculo una entrada de agua salobre del orden de **19.26 Mm³/año**, a los cuales se le agregan **7.32 Mm³/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 Hm³/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 ²)		1,234.46			
Pm (mm/año)		269.52			
T (°c)		24.53			
E (Hm ³ /año)		1.27			
ENTRADAS	I (Hm ³ /año)	0.37	2.55	0.37	2.33
	Rr (Hm ³ /año)	2.18		1.96	
	Eh (Hm ³ /año)	0.00		0.00	
SALIDAS	Evs (Hm ³ /año)	0.00	12.00	0.00	10.80
	B (Hm ³ /año)	12.00		10.80	
	Sh (Hm ³ /año)	0.00		0.00	
	Ca (Hm ³ /año)			-9.45	
SITUACION SOBREENPLOTAO					

El acuífero de San José de Guaymas resulto con una recarga de 2.55 Hm³/año y su única salida es el bombeo, el cual asciende a 12.00 Hm³/año, para una disponibilidad de -9.45 Hm³/año (Tabla 76).