



**EL COLEGIO
DE SONORA**

**IMPACTO DE LA SOBREEXPLOTACIÓN DEL
ACUÍFERO DEL VALLE DE GUAYMAS EN LA
CALIDAD DEL AGUA**

Tesina para obtener el diploma de
Especialidad en Gestión Integrada
de Cuencas Hidrológicas

Presenta
Jorge Luis Ruiz Lugo

Director de tesina
Dr. José Castillo Gurrola

Hermosillo, Sonora

Diciembre, 2008

ÍNDICE

I INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Metodología.....	2
Revisión de literatura.....	3
Antecedentes	7
Padrón de usuarios.....	8
II MEDIO FÍSICO	11
Clima	11
Suelos	11
Geología superficial.....	12
Aguas subterráneas.....	13
Fuentes de agua superficial y subterránea	16
III COMPORTAMIENTO DEL ACUÍFERO	22
Registro de niveles estáticos.....	22
Elevación del nivel estático	25
Extracción del agua subterránea	28
Disminución del volumen extraído	29
Evolución de la superficie sembrada.....	35
IV CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	40
Efecto de las sales en los cultivos.....	41
Directrices para interpretar la calidad del agua para riego y definición de la calidad del agua para uso agrícola, utilizando distintas clasificaciones	43
Clasificación del agua.....	57
Relación entre iones	59
Resultados	63
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Localización del Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.....	8
Figura 2. Distribución de los usuarios según el tipo de tenencia.....	8
Figura 3. Superficie de riego y número de usuarios según el tipo de tenencia.....	9
Figura 4. Climogramas de las estaciones climatológicas de Empalme y Punta de Agua.....	11
Figura 5. Unidades geohidrológicas en el DR 084	14
Figura 6. Región Hidrológica 09, Sonora Sur.....	17
Figura 7. Presa Ignacio R. Alatorre (Punta de Agua), Guaymas, Sonora.....	19
Figura 8. Bordo regulador de Ortiz, Guaymas, Sonora.....	19
Figura 9. Acuíferos explotados en el DR 084 Valle de Guaymas.....	21
Figura 10. Monitoreo de niveles estáticos en pozos del DR 084.....	23
Figura 11. Promedio de la profundidad del nivel estático (m).....	24
Figura 12. Evolución de la profundidad media del nivel estático por zonas (m).....	24
Figura 13. Fluctuaciones del nivel estático (2006-2007).....	25
Figura 14. Elevación de la profundidad del nivel estático 1995.....	26
Figura 15. Elevación de la profundidad del nivel estático 2007.....	26
Figura 16. Vista en tercera dimensión de la elevación del nivel estático 2006.....	28
Figura 17. Evolución del volumen extraído, DR 084.....	29
Figura 18. Cono de abatimiento generado por la extracción de agua del acuífero, DR 084.....	30
Figura 19. Programa de reducciones.....	31
Figura 20. Distribución del volumen actual y reducido, DR 084.....	34
Figura 21. Evolución del volumen de extracción.....	34
Figura 22. Localización espacial de los pozos de bombeo.....	36
Figura 23. Evolución de la superficie regada en el DR 084, 1988-2005.....	37
Figura 24. Evolución de la superficie regada por subciclo, 1988-2005.....	37
Figura 25. Cultivos principales en el DR 084, 1998-2005.....	38
Figura 26. Evolución de la superficie regada de los principales cultivos.....	39
Figura 27. Afectación de los cultivos por el uso de agua de mala calidad, Predio “Porvenir”, municipio de Empalme, Sonora.....	42
Figura 28. Síntomas de fototoxicidad en cítricos, por el alto contenido de sales en la fuente de abastecimiento utilizada para el riego, Predio “Santa Amelia”, municipio de Empalme, Sonora.....	43
Figura 29. Familias de aguas según Piper.....	46
Figura 30. Diagrama para clasificar el agua con fines de riego.....	49
Figura 31. Conductividad eléctrica y concentración de iones, 1981.....	63
Figura 32. Dominancia iónica, 1981.....	64
Figura 33. Conductividad eléctrica y concentración de iones, 2007.....	64
Figura 34. Dominancia iónica, 2007.....	64
Figura 35. Conductividad eléctrica y concentración de iones, 2008.....	65
Figura 36. Dominancia iónica, 2008.....	65
Figura 37. Delimitación de zonas según la CE y el RAS, 1981.....	65
Figura 38. Delimitación de zonas según clases de agua y CL/HCO ₃ , 1981.....	66
Figura 39. Delimitación de zonas según la CE y el RAS, 2007.....	66

Figura 40. Delimitación de zonas según clases de agua y Cl/HCO ₃ , 2007.....	67
Figura 41 Delimitación de zonas según la CE y el RAS, 2008.....	67
Figura 42 Delimitación de zonas según clases de agua y Cl/HCO ₃ , 2008.....	68
Figura 43. Clasificación del agua según el ILRI (1977).....	68
Figura 44. Familias de aguas según el triángulo de Piper, 1981.....	69
Figura 45. Familias de aguas según el triángulo de Piper, 2007.....	69
Figura 46. Familias de aguas según el triángulo de Piper, 2008.....	70
Figura 47. Valores extremos de la CE en el agua, 2007.....	70
Figura 48. Valores extremos de la RAS, 2007.....	71
Figura 49. Valores extremos de la CE en el agua, 2008.....	71
Figura 50. Valores extremos de la RAS, 2008.....	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de la tenencia de la tierra.....	9
Cuadro 2. Geología superficial en el DR 084	13
Cuadro 3. Programa de reducción de extracciones de agua (20 de junio de 1983)	31
Cuadro 4. Resultado del programa de reducciones.....	32
Cuadro 5. Cancelación de pozos mediante el PADUA y por el Organismo de Cuenca Noroeste	33
Cuadro 6. Reducción de volumen con la cancelación de pozos	33
Cuadro 7. Superficie regada por subciclo agrícola	38
Cuadro 8. Valores normales de algunos iones en aguas de riego	51
Cuadro 9. Directrices para interpretar la calidad del agua de riego.....	52
Cuadro 10. Tolerancia de algunos cultivos a la presencia del boro.....	56
Cuadro 11. Tolerancia de algunos cultivos al cloro en el extracto de saturación del suelo.	57
Cuadro 12 . Valores de los índices para una agua buena.....	57
Cuadro 13. Valores de los índices para una agua no recomendable.....	58
Cuadro 14. Resultados de análisis de laboratorio de muestras de agua de pozo, 1981	73
Cuadro 15. Clasificación del agua, 1981	74
Cuadro 16. Resultados de análisis de laboratorio de muestras de agua de pozo, 2007	75
Cuadro 17. Clasificación del agua, 2007	76
Cuadro 18. Resultados de análisis de laboratorio de muestras de agua de pozo, 2008	77
Cuadro 19. Clasificación del agua, 2008	78

I

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas constituyen la fuente principal de abastecimiento en muchas áreas de nuestro país, especialmente en zonas donde las precipitaciones son escasas e irregulares, pero el clima es apto para el desarrollo de la agricultura. Sin embargo, dichas fuentes no son inagotables y es indispensable preservarlas y administrarlas, su reserva está en función del volumen de agua almacenada en un tiempo dado.

Cuando la extracción de las aguas subterráneas supera a las entradas, se consume el agua almacenada en los acuíferos. De tal manera que, si esta situación se prolonga de forma incontrolada, el volumen almacenado de agua disminuirá progresivamente provocando una serie de consecuencias negativas que van desde agotamiento de manantiales, la desaparición de lagos y humedales, la desaparición o reducción de los caudales base de los ríos, la eliminación de la vegetación nativa hasta la pérdida del ecosistema por la degradación completa de la fuente de abastecimiento.

En México se tienen definidos 653 acuíferos con fines de administración del agua. Hasta el año 2004, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) había publicado la disponibilidad de 202 acuíferos, de los que 104 presentan condiciones de sobreexplotación. En el estado de Sonora se ubican 62 acuíferos, 21 cuentan con un estudio de disponibilidad y 14 están sobreexplotados. Entre estos últimos se encuentra el acuífero del Valle de Guaymas que constituye la fuente de abastecimiento del Distrito de Riego No. 084 Valle de Guaymas.

En el Distrito de Riego No. 084 (DR 084), con el desarrollo agrícola de los últimos cincuenta años, se originó una extracción desmedida del agua del subsuelo propiciando la sobreexplotación del acuífero, que aceleró el agotamiento de las reservas y el deterioro de la calidad del agua por la intrusión del agua marina.

Objetivo general

Evaluar la calidad del agua subterránea y su impacto en la agricultura en el Valle de Guaymas.

Objetivos específicos

- Conocer la evolución de los niveles estáticos
- Identificar las familias de las aguas
- Clasificar las aguas con fines de riego
- Conocer la evolución de la superficie sembrada

Este trabajo pretende diagnosticar el estado actual de la calidad del agua y su uso en la agricultura por efecto de la sobreexplotación. Además, que los representantes del consejo directivo del módulo de riego y agremiados conozcan la problemática actual sobre el grado de explotación del acuífero y la calidad del agua a través de la divulgación de resultados. Así como fomentar la participación integral entre diferentes instancias gubernamentales, organizaciones civiles y de apoyo crediticio para implementar estrategias encaminadas a la preservación y sustentabilidad del acuífero.

Metodología

En el Archivo del Distrito de Riego 084 se recopiló información histórica sobre el acuífero, se sistematizó, analizó e interpretó la información utilizando hojas de cálculo. Las variables más importantes estudiadas son:

- Registros de niveles estáticos
- Extracción de agua subterránea
- Evolución de superficie sembrada
- Calidad del agua

Revisión de literatura

Sortillón, Córdova y Salmón (1997) realizaron un trabajo con el objetivo de obtener una descripción del comportamiento del flujo subterráneo del acuífero del Valle de Guaymas de 1967 a 1995. Los resultados muestran un acuífero sobreexplotado, puesto que desde 1967 los niveles se encontraban por debajo del nivel medio del mar y hasta 1995 han manifestado un descenso mayor de 30 m. Las zonas más afectadas son los ejidos Maytorena y La Atravesada (José María Morelos) del municipio de Empalme. Los niveles estáticos en estas zonas alcanzaron los 60 metros por debajo del nivel del mar. Los resultados muestran cómo las aguas subterráneas tienden hacia las zonas con mayor abatimiento, movimiento inducido por el marcado gradiente hidráulico generado por la aparición de un cono de abatimiento.

En este estudio se menciona que el problema de la sobreexplotación no es propio de las regiones mencionadas, sino de la totalidad de las zonas de estudio, ya que para 1995 la superficie piezométrica se encontraba en su totalidad por debajo del nivel del mar, condición favorable a la intrusión salina, estimándose un avance aproximado de 13 km tierra adentro de acuerdo con sondeos realizados por la Comisión Nacional del Agua.

Tapia, Vega y Castillo (2002) realizaron un estudio con el objetivo de aplicar el modelo matemático denominado “Modflow”, en el valle de Guaymas–Empalme, para predecir el comportamiento del acuífero para diversos años y bajo diferentes condiciones de explotación. Para la simulación se consideraron 138 captaciones de agua subterránea en la zona de estudio. El acuífero de Valle de Guaymas-Empalme presenta abatimientos en sus niveles estáticos, debido a la sobreexplotación. En la zona costera del acuífero, la sobreexplotación ha provocado intrusión salina. En consecuencia, se ha afectado el suelo y la calidad del agua, perjudicando así a la agricultura, que es una de las actividades fundamentales para la economía de la zona. La recarga se consideró tomando en cuenta, además de la proveniente de la precipitación media anual, el retorno del agua de riego (2 millones de metros cúbicos), la recarga de agua salada (17 millones de metros cúbicos) y la de agua dulce proveniente de las serranías del norte (32.5 millones de metros cúbicos).

De la Peña y Rodríguez (1997) realizaron un diagnóstico del problema de salinización de las aguas de riego del DR 084 Valle de Guaymas, con la finalidad de estimar con mayor precisión la evolución de las causas que ocasionan el incremento de la mineralización de las aguas subterráneas. El trabajo consistió en: 1) realizar un análisis de la evolución de niveles estáticos del acuífero referidos al nivel del mar en el período comprendido de 1975-1985-1995 para definir los conos de abatimiento a través del tiempo; 2) delimitación de áreas con diferentes familias de agua y su variación a través del tiempo; 3) formulación de planos que definen las zonas ocupadas por aguas de semejante composición química; 4) cambio de la clasificación química ocasionada por invasión de las aguas de procedencia marina; 5) incremento de los contenidos salinos valorados en conductividad eléctrica y su avance en los años 1975-1985-1995, favorecido por la influencia de los conos de abatimiento, y 6) análisis del contenido de cloruros en el periodo 1975-1985-1995 y su comportamiento a través del tiempo.

Del diagnóstico y análisis se concluyó que las aguas marinas empezaron a introducirse en el valle, incrementándose los contenidos salinos en los acuíferos subterráneos lo que se detecta mediante la valoración de la conductividad eléctrica (micromhos/cm o ppm). El enriquecimiento de las sales ocasionó el abandono de pozos y campos agrícolas que irrigaban, sobre todo en la zona comprendida entre el mar y la carretera El Aguilita, donde la salinidad del agua alcanza concentraciones de hasta 18 000 micromhos/cm; como consecuencia, la superficie sembrada de 24 452 ha en el ciclo agrícola 1977-1978 se redujo a 12 512 ha en el ciclo 1993-1994.

La configuración de isolíneas de conductividad eléctrica de 1975-1985-1995, muestra el avance del agua de mar hacia el interior del distrito de riego, con dirección de sur a norte y con franca tendencia hacia los conos de abatimiento. En 1975, de los 159 pozos en operación, 87 por ciento presentó menos de 100 ppm de cloruros y sólo 5 reportaron más de 1 000 ppm de cloruros. Para 1985 se redujo a 83 pozos con 55 por ciento con menos de 100 ppm de cloruros. Finalmente, en 1995 ya existían 25 pozos con más de 3 000 ppm de cloruros dentro de la zona que forma el cono de abatimiento.

Para determinar la evolución de la calidad del agua subterránea del valle de Guaymas, Sonora, Vega y Castillo (1997) elaboraron dos mapas hidrogeoquímicos-base, con información de 1983 y se compararon con datos de años sucesivos. Adicionalmente se realizó un trabajo de campo, consistente en medir los niveles de agua en los pozos, durante el paro anual de bombeo en noviembre de 1995. La clasificación de Piper-Hill-Langlenier permitió reconocer cinco familias de aguas que de la línea de costa hacia el continente son: Ca-MgCl, NaSO₄-Cl, NaHCO₃, NaSO₄-Cl, Ca-MgHCO₃. Por medio de la clasificación de Wilcox, se reconocieron tres zonas para el agua de uso agrícola, todas con bajo contenido de Na: la zona I, más cercana a la línea de costa, presentó conductividades eléctricas de altas a muy altas, aceptable para plantas bastante tolerantes a las sales; la zona II, cuyas aguas muestran conductividades eléctricas de medias a altas y deberán de usarse para plantas bastantes tolerantes a las sales, se ubicó siguiendo el antiguo cauce del río Mátape; y la zona III, presente en el resto del Valle, se caracterizó por aguas de conductividades medias, útiles para plantas moderadamente tolerantes a las sales. En cuanto a la calidad del agua, los pozos ubicados cerca de la costa tienen, en general, aguas con concentraciones de iones más altas que las ubicadas tierra adentro.

Los resultados obtenidos muestran que entre 1984 y 1994 la concentración de iones de las aguas subterráneas aumentó. El índice Cl/HCO₃ calculado muestra que en algunos pozos de Empalme, Maytorena, Ejido Santa María, Felipe Ángeles y Lázaro Cárdenas, las aguas se volvieron más cloruradas, ubicando un avance hacia el norte del frente salino. Por otro lado, según el índice Na/Ca+Mg las aguas de Empalme, Santa María y Lázaro Cárdenas han disminuido su porcentaje de Na, tornándose Ca-Mg en el período estudiado.

Durante el paro anual de bombeo efectuado por la CONAGUA en noviembre de 1995, se realizó un trabajo de campo, consistente en medir las profundidades de los niveles estáticos en los pozos profundos de la zona agrícola del Valle de Guaymas. Se correlacionaron estos resultados con la calidad del agua a partir de los análisis químicos reportados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI 1983). Se elaboraron dos mapas hidrogeoquímicos-base del valle: uno con las familias de aguas según la clasificación de Piper-Hill-Langlenier y otro con la clasificación de Wilcox. Se

compararon los análisis químicos de las aguas de diferentes pozos y de diferentes años (1984-1994). Para determinar la evolución del agua del acuífero, se calcularon los índices CL/HCO_3 y $Na/Ca+Mg$.

Se determinaron cinco franjas más o menos paralelas a la línea de costa (la número 1 hacia el mar, la 5 hacia el continente), correspondiente a las familias siguientes: 1) clorurada cálcico-magnésica, 2) sulfatada-clorurada sódica, 3) bicarbonatada sódica, 4) sulfatada-clorurada sódica y 5) bicarbonatada cálcico-magnésica. En general, estos resultados coinciden con los presentados por Vega (1992) en su estudio hidrogeoquímico del valle, sobre todo en la dirección del flujo del agua subterránea, cuyo gradiente hidráulico se haya invertido en la línea de costa, moviéndose del mar hacia el continente con una dirección SW-NE.

Ruiz (2008) realizó una actualización del balance hídrico integral de la cuenca del río Mátape y sus acuíferos (Mátape, Valle de Guaymas y San José de Guaymas). El objetivo general del trabajo fue determinar la disponibilidad media de agua (1982-2005) para una planeación y utilización adecuada del recurso. En opinión del autor, si se sigue con este régimen de explotación los acuíferos del área habrán desaparecido por completo, ya que hasta la fecha el Valle ha perdido 30 km de tierra fértil por la intrusión salina, desde la costa, según el resultado del análisis de calidad del agua efectuado en 2007. Entre las conclusiones están las siguientes: el acuífero del Valle de Guaymas está sobreconcesionado en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) por 114.97 millones de metros cúbicos, de los cuales en la actualidad se están extrayendo 99.24 millones de metros cúbicos anuales. La recarga resultó de 72.66 millones de metros cúbicos de agua, la cual se obtiene de sumar 10.08 millones por infiltración, más 20.05 millones de retorno por riego y 42.53 por entradas horizontales. Entre la sierra Santa Úrsula y la sierra de San Francisquito se calcula una entrada de agua salobre de 19.26 millones, más 7.32 millones del Valle de Cruz de Piedra, sumando un total de 26.58 millones de metros cúbicos.

Antecedentes

Área de estudio

El Distrito de Riego No. 084 Valle de Guaymas (DR 084), se localiza en la parte sur-occidental del estado de Sonora, junto al Golfo de California, entre los paralelos 27° 50' 21.4" y 28° 25' 33.10" de latitud norte y entre los meridianos 110° 24' 22.1" y 111° 02' 31.3" de longitud oeste, tiene una altitud media de 37.2 metros sobre el nivel del mar (msnm) (véase figura 1). Fue creado por acuerdo presidencial el 24 de abril de 1967 (*Diario Oficial de la Federación*, 5 de julio de 1967) e inicia oficialmente su operación en noviembre del mismo año. Tiene una superficie física dominada de aproximadamente 245 946 ha, de las que 76 902.9 ha son susceptibles de riego y 22 827.9 ha con riego. Se ubica en los municipios de Empalme y Guaymas. Actualmente cuenta con 140 pozos para uso agrícola; la profundidad media del nivel estático en los últimos 13 ciclos agrícolas fue de 79.9 m con una desviación estándar de 1.48 m.

El primer decreto de veda del Valle de Guaymas fue emitido el 28 de noviembre de 1956, y en un segundo decreto, con fecha 11 de septiembre de 1978, se ratifica la veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo, aplicándose a todo el territorio comprendido al oeste del meridiano 110 grados 00 minutos de longitud oeste.

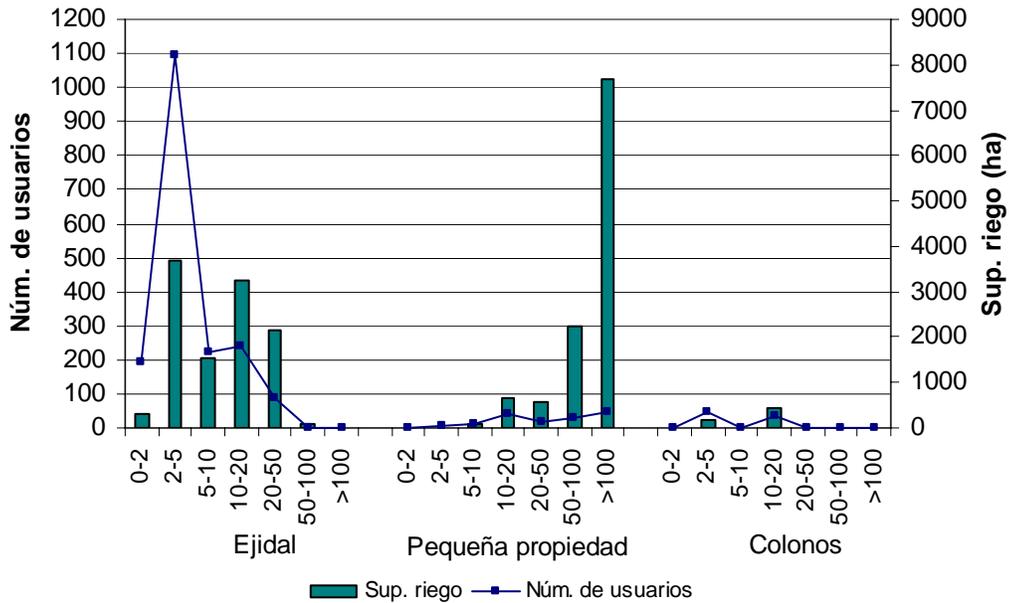
Por nivel, según rangos de superficie, en el F se tiene el mayor número de usuarios para la tenencia ejidal, en el D para la pequeña propiedad y F para los colonos (véase cuadro 1). Una comparación entre el número de usuarios y superficie de riego se muestra en la figura 3.

Cuadro 1. Clasificación de la tenencia de la tierra

Nivel	Rango	Usuarios	Superficie física (ha)	Superficie de riego (ha)	Sup. Media/ usuario (ha)
Ejidal					
G	0-2	195	2,272.00	289.55	1.48
F	2-5	1,095	42,095.08	3,670.03	3.35
E	5-10	220	8,940.21	1,541.97	7.01
D	10-20	240	5,188.00	3,233.45	13.47
C	20-50	88	3,871.00	2,159.50	24.54
B	50-100	1	210.00	80.00	80.00
A	>100	0	0.00	0.00	0.00
	Subtotal	1,839	62,576.29	10,974.50	5.97
Pequeña Propiedad					
G	0-2	0	0.00	0.00	0.00
F	2-5	3	109.48	10.91	3.64
E	5-10	12	120.47	100.00	8.33
D	10-20	40	935.00	643.50	16.09
C	20-50	17	591.82	567.00	33.35
B	50-100	29	2,542.73	2,225.00	76.72
A	>100	47	8,692.14	7,672.00	163.23
	Subtotal	148	12,991.63	11,218.41	75.80
Colonos					
G	0-2	0	0.00	0.00	0.00
F	2-5	45	735.00	175.00	3.89
E	5-10	0	0.00	0.00	0.00
D	10-20	34	600.00	460.00	13.53
C	20-50	0	0.00	0.00	0.00
B	50-100	0	0.00	0.00	0.00
A	>100	0	0.00	0.00	0.00
	Subtotal	79	1,335.00	635.00	8.04
	TOTAL	2,066	76,902.91	22,827.92	

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 3. Superficie de riego y número de usuarios según el tipo de tenencia



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

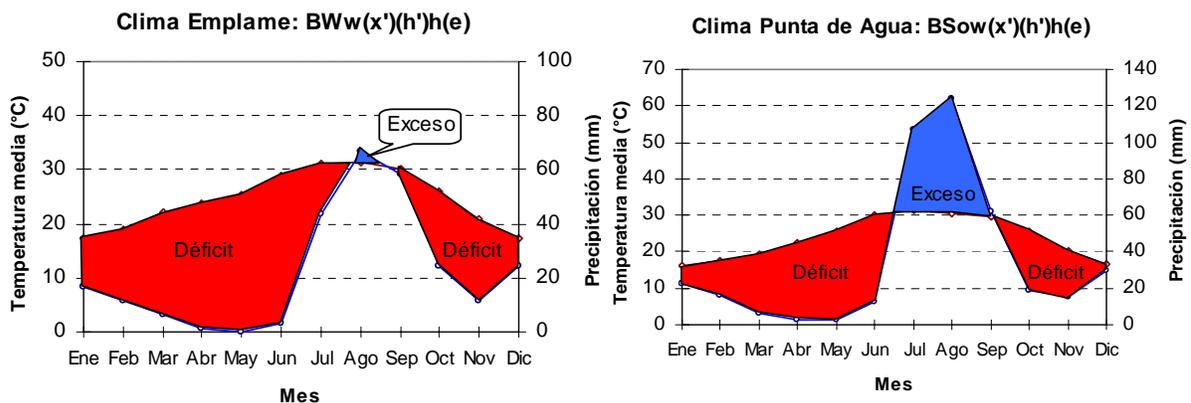
En el DR 084 existe una alta polarización de la tierras, con una desigualdad marcada entre la unidad media de dotación de tierra entre pequeños propietarios con los ejidatarios y colonos, factor que se ve agudizado por la distribución existente de los volúmenes concesionados en los títulos para la extracción del agua de riego. Estos son factores estructurales que dentro del DR 084, limitan el desarrollo económico de los productores ejidatarios y colonos frente a los pequeños propietarios, situación que debe considerarse en las futuras políticas de desarrollo económico, políticas hídricas y de ordenamiento territorial de la zona o región, puesto que la historia registra que la mayoría de los conflictos sociales tienen su origen en la distribución desigual de la tierra y el agua.

II MEDIO FÍSICO

Climas

Los climas predominantes son: en la parte norte un BSo w(x') (h')h (e') clima seco o árido (el más seco de los BS) con lluvias en verano, cálido y muy extremo; en la parte sur un BW w(x') (h')h (e') clima muy seco o muy árido con lluvias en verano, cálido y muy extremo (García 1981). Los valores medios anuales de la precipitación, evaporación y temperatura son de: 313 mm, 2 539 mm y 23.3°C, respectivamente (véase figura 4).

Figura 4. Climogramas de las estaciones climatológicas de Empalme y Punta de Agua



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Suelos

El propósito del sistema de clasificación de suelos es la definición objetiva de las unidades taxonómicas. Los suelos de cada unidad taxonómica tienen procesos de evolución idénticos al igual que sus propiedades básicas. La influencia de los principales factores formadores del suelo tiene diferente grado de importancia en cada uno de los sistemas de clasificación existente. Los sistemas de clasificación que más se utilizan en México son el FAO-UNESCO modificado por CETENAL (1970) y el americano. En el primero se usan seis categorías

(orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie) y en el segundo dos (unidades y subunidades).

Según la clasificación FAO-UNESCO los suelos predominantes en el DR 084 son los Litosoles (28 por ciento), Regosoles (31 por ciento), Solonchak (27 por ciento) y en menor escala Yermosol (11 por ciento) y Xerosol (3 por ciento).

Los principales constituyentes de los suelos son el material mineral, el orgánico, la solución del suelo y el contenido gaseoso. Las propiedades físicas y químicas son función de la concentración y naturaleza de dichos constituyentes.

Geología superficial

La región está representada por montañas constituidas por rocas ígneas y sedimentarias en una disposición semiparalela de orientación general norte-sur, y separadas por valles de origen tectónico modelados por la erosión. Afloran rocas cuya edad varía del paleozoico al reciente. El paleozoico está representado por sedimentos calcáreos marinos, del mesozoico afloran rocas areno-arcillosas y rocas ígneas intrusivas y extrusivas, el cenozoico de importantes eventos volcánicos, depósitos sedimentarios areno-gravosos y formación de suelos que han continuado hasta nuestros días (véase cuadro 2).

Cuadro 2. Geología superficial en el DR 084

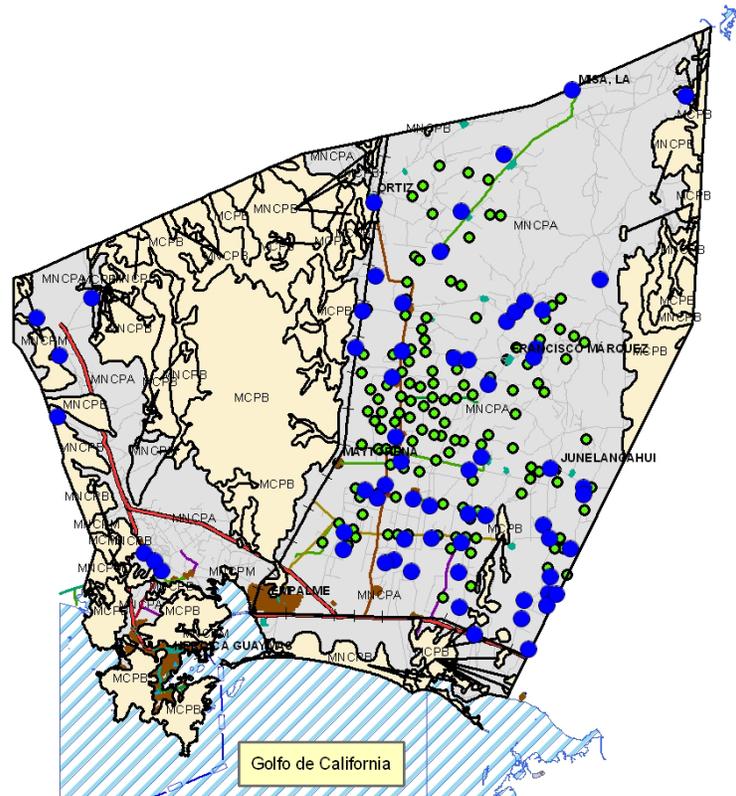
Era	Periodo	Intrusivas	Extrusivas	Sedimentarias	Suelo
Cenozoico	Cuaternario (Q)		Basalto (B) Andesita (A)		Aluvial (al) Eolico (eo) Lacustre (la) Litoral (li) Palustre (pa)
	Terciario (T)	Gabro (Ga)	Basalto (B) Riolita (R) Riolita, Toba ácida (R-Ta) Toba ácida (Ta) Brecha volcanica ácida (Bva) Andesita (A)	Conglomerado (cg) Conglomerado (cg) Arenisca (ar) Limolita-arenisca (lm-ar)	
Mesozoico	Cretácico (K)	Tonalita (Tn) Granodiorita (Gd) Granito (Gr)	Andesita, toba intermedia (A-Ti) Andesita (A)	Arenisca (ar)	
	Jurásico (J)			Arenisca (ar) Lutita-arenisca (lu-ar)	
	Triásico (TR)			Limolita-arenisca (lm-ar) Caliza-limolita (cz-lm)	
Paleozoico	Paleozoico Superior (Ps)			Caliza (cz)	
	Paleozoico Inferior (Pi)			Caliza (cz)	

Fuente: INEGI (1982).

Aguas subterráneas

Para definir las unidades geohidrológicas se determinan las características físicas de las rocas, así como de los materiales granulares para estimar las posibilidades de contener agua, clasificándolos en dos grupos: material consolidado y no consolidado, con tres tipos de probabilidad de funcionar como acuífero, alta media y baja. En la zona se encontraron las unidades que se describen a continuación (véase figura 5).

Figura 5. Unidades geohidrológicas en el DR 084



Fuente: INEGI (1981).

- Material consolidado con posibilidades bajas (MCPB)

A esta unidad la representan rocas ígneas y sedimentarias, que por sus características primarias de formación y permeabilidad secundaria tienen limitadas posibilidades de contener agua. Entre las rocas ígneas se tiene granito, granodiorita, tonalita, toba, riolita, andesita y basalto; y entre las sedimentarias, la caliza paleozoica y la secuencia clástica-carbonatada, del Grupo Barranca, no se han reportado como acuíferos, ya que en estas unidades no se encuentran aprovechamientos, ni se tiene información de la existencia de pozos o sondeos exploratorios.

- Material no consolidado con posibilidades altas (MNCPA)

Se localiza en la planicie de la Costa de Hermosillo, Valle de Guaymas y pequeños remanentes del Valle de Agua Caliente. Está constituida por clásticos, que varían en su granulometría, de limos a gravas, y en su grado de compactación, y se constituyen como acuíferos de tipo libre, sobre los cuales hay gran cantidad de pozos en explotación. En la Costa de Hermosillo se encuentran norias y pozos cercanos a la línea de costa con niveles estáticos que oscilan entre 12 y 24 m sobre el nivel del mar, los gastos son considerables llegando a obtener hasta 100 litros por segundo (lps) de agua de buena calidad, con un total de sólidos disueltos de 100 a 300 mg/l, cuyas familias principales son la calco-sódica-bicarbonatada-clorurada, y la calco-sódica-clorurada, distribuidas en toda la planicie costera. Los flujos subterráneos naturales han sido modificados por la extracción del agua en forma artificial, por lo que el flujo actual es radial, hacia el centro de la planicie. El agua se destina principalmente para riego y actividades domésticas.

Los valles de Guaymas y remanentes del Agua Caliente, están constituidos por material granular no consolidado, con variaciones laterales y verticales en cuanto a su granulometría, dando origen a acuíferos de tipo libre. Los aprovechamientos son básicamente pozos y algunas norias, ubicándose la mayoría en el Valle de Guaymas. Los niveles estáticos varían entre 15 y 75 m de profundidad, con gastos hasta de más de 100 lps, la calidad del agua es buena, con un total de sólidos disueltos entre 300 y 600 mg/l. Con base en los análisis químicos efectuados en las muestras de agua colectada, se determinó que hacia la porción occidental del Valle de Guaymas, pertenecen a la familia sódica-bicarbonatada-clorurada y, hacia la porción central, es calco-sódica-bicarbonatada-clorurada. El flujo subterráneo no tiene una dirección definida, pero en general se puede decir que es de norte a sur. La mayoría de esta agua se emplea en el riego, actividades domésticas y pecuarias. Debido a la sobreexplotación de este acuífero se han observado abatimientos de los niveles de hasta 4 m por año.

- Material no consolidado con posibilidades medias (MNCMP)

Está formada por abanicos aluviales recientes y conglomerado terciario, en los cuales se localizan acuíferos de tipo libre. Sobre esta unidad existen numerosas norias y algunos

pozos; los niveles estáticos se encuentran entre 10 y 15 m de profundidad, los volúmenes extraídos son reducidos; la calidad del agua varía de dulce a tolerable, la cual se destina en su mayoría al uso doméstico y pecuario.

- Material no consolidado con posibilidades bajas (MNCPB)

Está compuesta por conglomerado de clastos subredondeados y mal clasificados, en una matriz areno-arcillosa y medianamente cementada y suelos aluviales recientes, de espesor limitado. Sobre esta unidad no se encuentran aprovechamientos.

Fuentes de agua superficial y subterránea

a) Aguas superficiales

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (actualmente la Comisión Nacional del Agua) dividió al país en 37 Regiones Hidrológicas. Entre ellas se encuentra la Región Hidrológica número nueve (RH-09) denominada Sonora Sur, que ocupa 63.64 por ciento de la superficie estatal. Tiene un relieve con fuertes contrastes altimétricos y la mayoría de sus corrientes nacen en la Sierra Madre Occidental. La RH-09 está integrada por las cuencas del río Mayo, río Yaqui, río Sonora, río Bacoachi y río Mátape (véase figura 6). Esta última tiene una precipitación media anual de 342 mm y un coeficiente de escurrimiento de 3.9 por ciento. El agua en la cuenca del río Mátape se destina principalmente a las actividades agrícolas, domésticas y pecuarias.

La cuenca del río Mátape o San Marcial, en donde se encuentra el DR 084, colinda al norte con la cuenca del río Sonora, al sur con la del río Yaqui, al este con la del mismo río y al oeste con el golfo de California. Tiene una superficie de aproximadamente 5 801 km². La corriente principal es el río Mátape, que nace en la sierra de Mazatán e Iqualama al oriente de la ciudad de Hermosillo, cerca del poblado de Mátape. Tiene una longitud total aproximada, desde su origen hasta su desembocadura, de 185 km; su rumbo general es al sur y desemboca en el Golfo de California, al oriente de la bahía y puerto de Guaymas. En su recorrido recibe aportaciones de poca importancia, sus afluentes principales son los arroyos El Seco, El Hecho, Las Guásimas, Chupadero, Coyote y Chicuroso. La presa

Ignacio R. Alatorre capta el agua superficial y se utiliza en actividades agrícolas y pecuarias en la parte alta de la zona del acuífero.

Figura 6. Región Hidrológica 09, Sonora Sur



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Las corrientes son intermitentes y están sujetas a la variación espacial y temporal de la lluvia en el área. La única corriente superficial donde se efectuaron algunas mediciones de los escurrimientos fue el río Mátape, de julio de 1957 a diciembre de 1969, en la estación hidrométrica Punta de Agua. El volumen medio anual escurrido en el período de observaciones fue de 35.64 millones de m³. El objeto de medir el escurrimiento fue conocer el régimen del río Mátape para el proyecto de la presa Ignacio R. Alatorre. Al iniciar la operación de la presa en 1970, la estación hidrométrica fue suspendida.

La presa Ignacio R. Alatorre (Punta de Agua), con una capacidad de 18 millones de m^3 , tiene como fin la regularización de los escurrimientos del río para utilizarse en siembras de humedad en una zona que se extiende hasta unos 21 kilómetros aguas debajo de la presa y hacia ambos lados del cauce, al norte de la zona agrícola del DR 084. Los volúmenes excedentes son conducidos aguas abajo, siguiendo el cauce del río San Marcial, y en su recorrido se utilizan en zonas de balseo y finalmente desembocan en el bordo regulador de Ortiz.

La capacidad de almacenamiento del bordo Ortiz es de 14 millones de m^3 , que además de los excedentes recibe a los arroyos El Hecho, El Huico y El Seco. Fue construido para regular las aguas broncas de estos arroyos y para la recuperación de los mantos freáticos en la zona de riego de bombeo y desarrollar un sistema de cultivos por entarquinamiento para ahorrar el primer riego en la siembra. Su sección es homogénea con recubrimientos de enrocamiento de 4.4 km de longitud y altura máxima de 9 m, dos obras de toma, la baja en el extremo derecho con capacidad de $30 m^3/s$ y la alta en la estación de 3+380 con capacidad de $10 m^3/s$, un vertedor de demasías de mampostería en el extremo izquierdo de 400 m de longitud y capacidad de $600 m^3/s$, un bordo piloto de 22 km de longitud a partir del vertedor y dos diques al poniente, cada uno con una obra de toma de $10 m^3/s$.

Figura 7. Presa Ignacio R. Alatorre (Punta de Agua), Guaymas, Sonora



Figura 8. Bordo regulador de Ortiz, Guaymas, Sonora

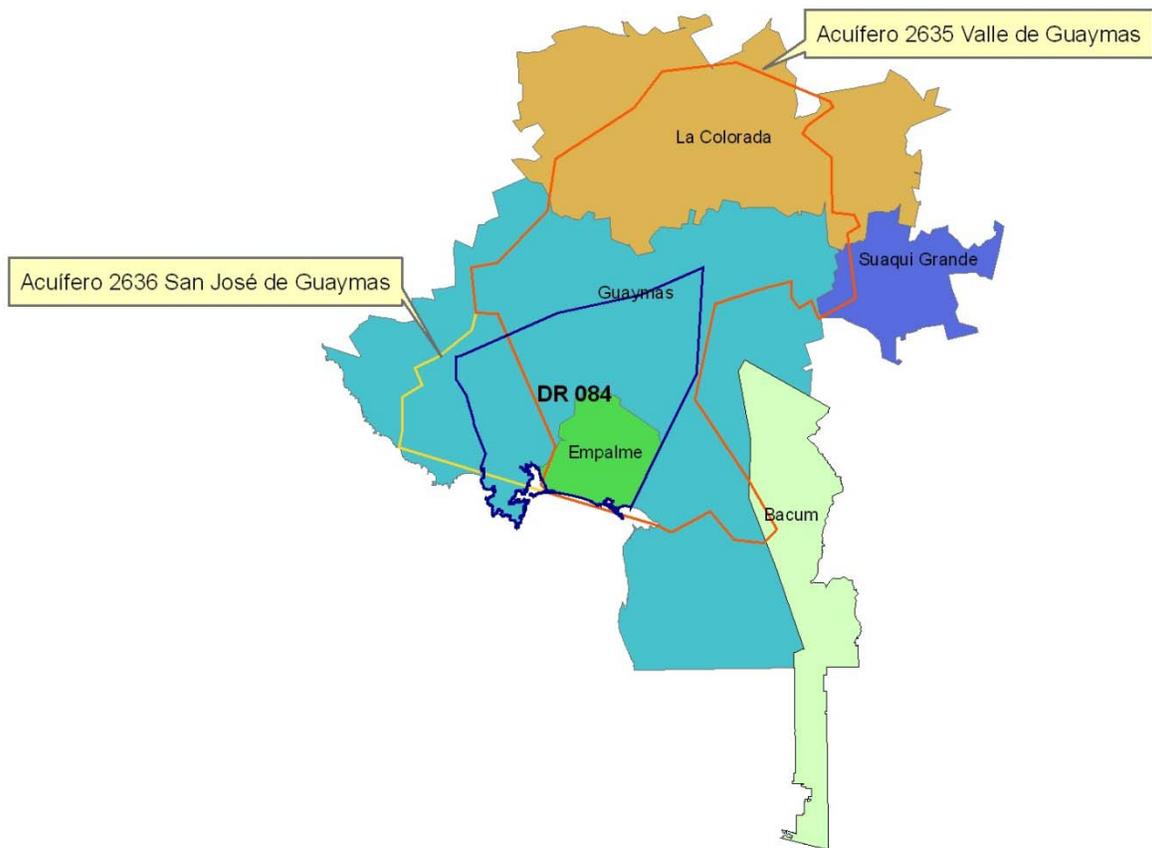


b) Aguas subterráneas

Las precipitaciones en el DR 084 son escasas e irregulares y los escurrimientos superficiales son prácticamente nulos, pero el clima es apto para el desarrollo de la agricultura y las aguas subterráneas se han convertido en la principal fuente de abastecimiento. El acuífero 2635 denominado Valle de Guaymas y 2636 San José de Guaymas, Sonora son los que abastecen al DR 084. Sus límites oficiales se publicaron en el *Diario Oficial de la Federación* el 31 de marzo de 2003. El primero tiene una extensión aproximada de 6 605.861 km², ocupa 100 por ciento del municipio de Empalme, 46.2 por ciento del municipio de Guaymas, 53.9 del municipio de La Colorada, 9.2 del municipio de Suaqui Grande y 2.3 por ciento del municipio de Bácum. El segundo tiene una extensión de 1 055.32 km², ocupa 13.3 por ciento del municipio de Guaymas. El DR 084 ocupa 27.6 por ciento del acuífero 2635 y 52.7 por ciento del 2636 (véase figura 9).

En cuanto al grado de sobreexplotación de los acuíferos Valle de Guaymas y San José de Guaymas ocupan el lugar 6 y 4 en el estado, respectivamente. Con una disponibilidad media anual de -12.62 millones de m³ para el primero y de -14.72 millones de m³ para el segundo acuífero según datos de 2002 de la Comisión Nacional del Agua.

Figura 9. Acuíferos explotados en el Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

III

COMPORTAMIENTO DEL ACUÍFERO

Registro de niveles estáticos

El monitoreo sistemático de la profundidad del nivel estático a través de una red de pozos es la base para detectar el comportamiento de un acuífero libre bajo diferentes condiciones de explotación. Con los registros históricos de estas variables es posible conocer su evolución temporal y con la componente de localización de los pozos su variación espacial (véase figura 10).

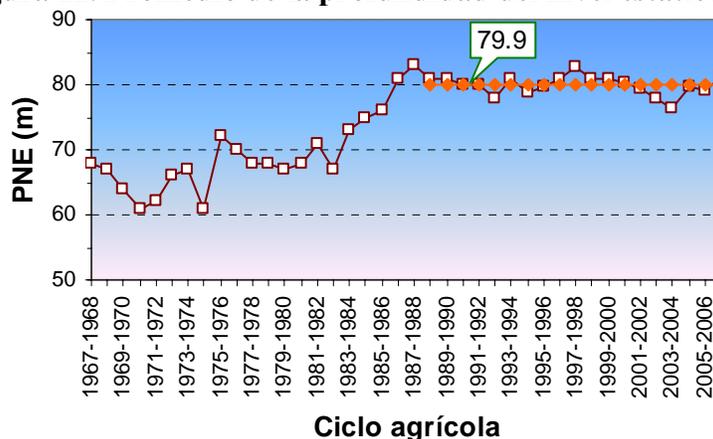
En el Distrito de Riego 084 el monitoreo del nivel estático se realiza anualmente en todos los pozos de bombeo para uso agrícola. En los dos últimos años se han incluido algunos pozos de uso público urbano. Para medir la profundidad del nivel estático se utiliza una sonda eléctrica y se realiza un paro general de bombeo con el fin de estabilizar los flujos en el acuífero, asumiendo que las perturbaciones son ocasionadas por el bombeo de pozos y que no existe un flujo regional.

Figura10. Monitoreo de niveles estáticos en pozos del DR 084



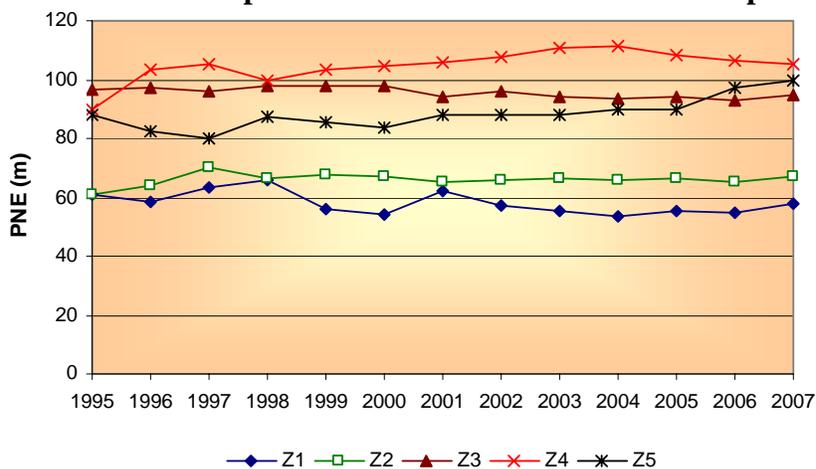
En el periodo de 1967 a 1988, en promedio, la profundidad del nivel estático descendió de 61 m a 80 m, lo que significa un abatimiento de 19 m. De 1989 a 2007 se tiene una tendencia de estabilización con un valor medio de 79.9 m (véase figura 11). Para este mismo periodo la profundidad del nivel estático varía por zonas (véase figura 12). La configuración de zonas con igual profundidad del nivel estático se obtiene a partir de la profundidad del nivel estático de cada pozo monitoreado. Su utilidad principal es la delimitación de áreas con diferente profundidad que faciliten la identificación de zonas con máximos abatimientos. Para 2007, como es de esperarse, la profundidad del nivel estático varía de sur a norte debido a la influencia de la topografía, con excepción de una pequeña área al oeste.

Figura 11. Promedio de la profundidad del nivel estático (m)



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

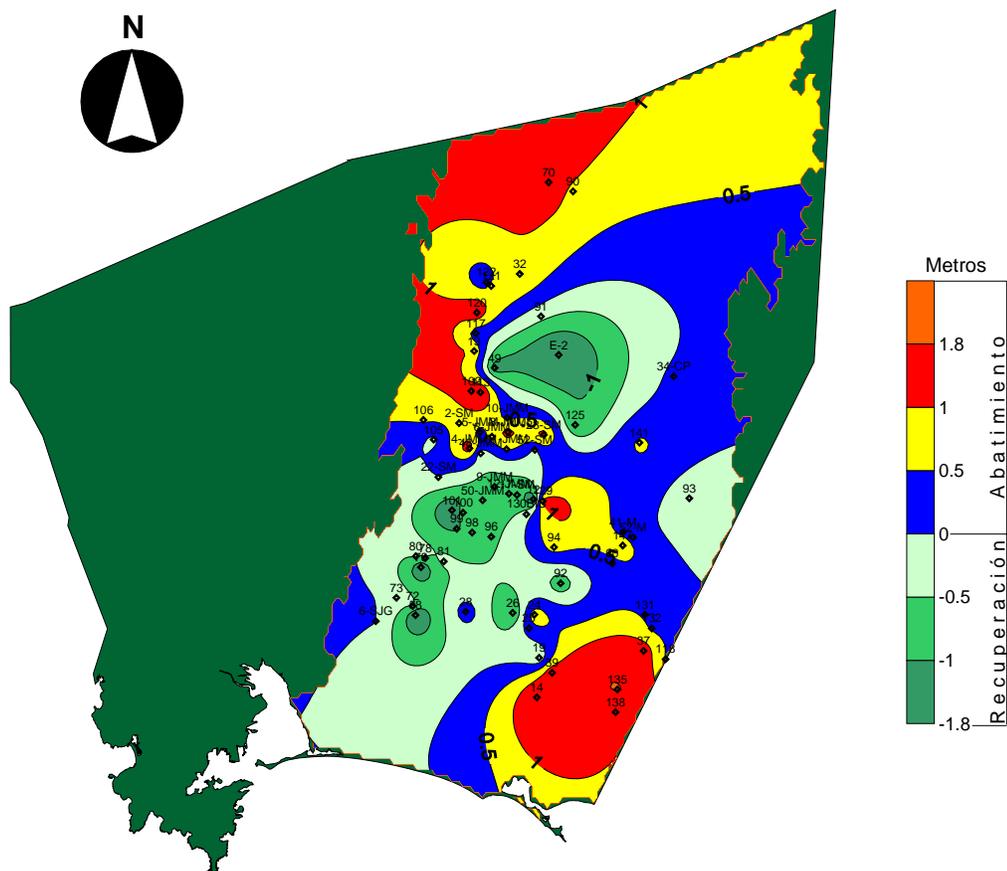
Figura 12. Evolución de la profundidad media del nivel estático por zonas (m)



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Al comparar dos años consecutivos de observación del nivel estático es posible delimitar zonas de abatimiento y recuperación. La utilidad de dicha configuración es identificar zonas que muestran continuos abatimientos así como recuperaciones para realizar una mejor planeación de las extracciones. Las zonas con abatimiento y recuperación entre 2006 y 2007 muestran que existe una zona muy grande de recuperación, que por su ubicación puede estar ligada con la intrusión del agua marina (véase figura 13).

Figura 13. Fluctuaciones del nivel estático (2006-2007)

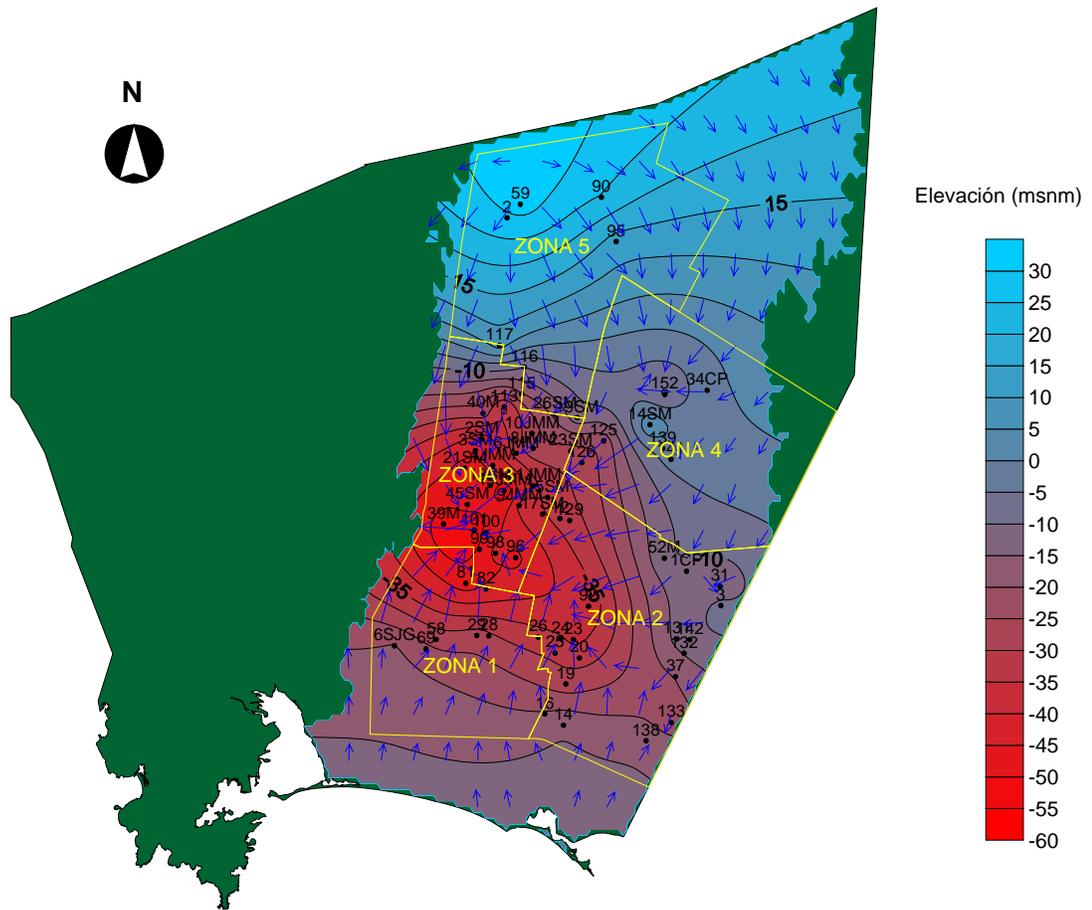


Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Elevación del nivel estático

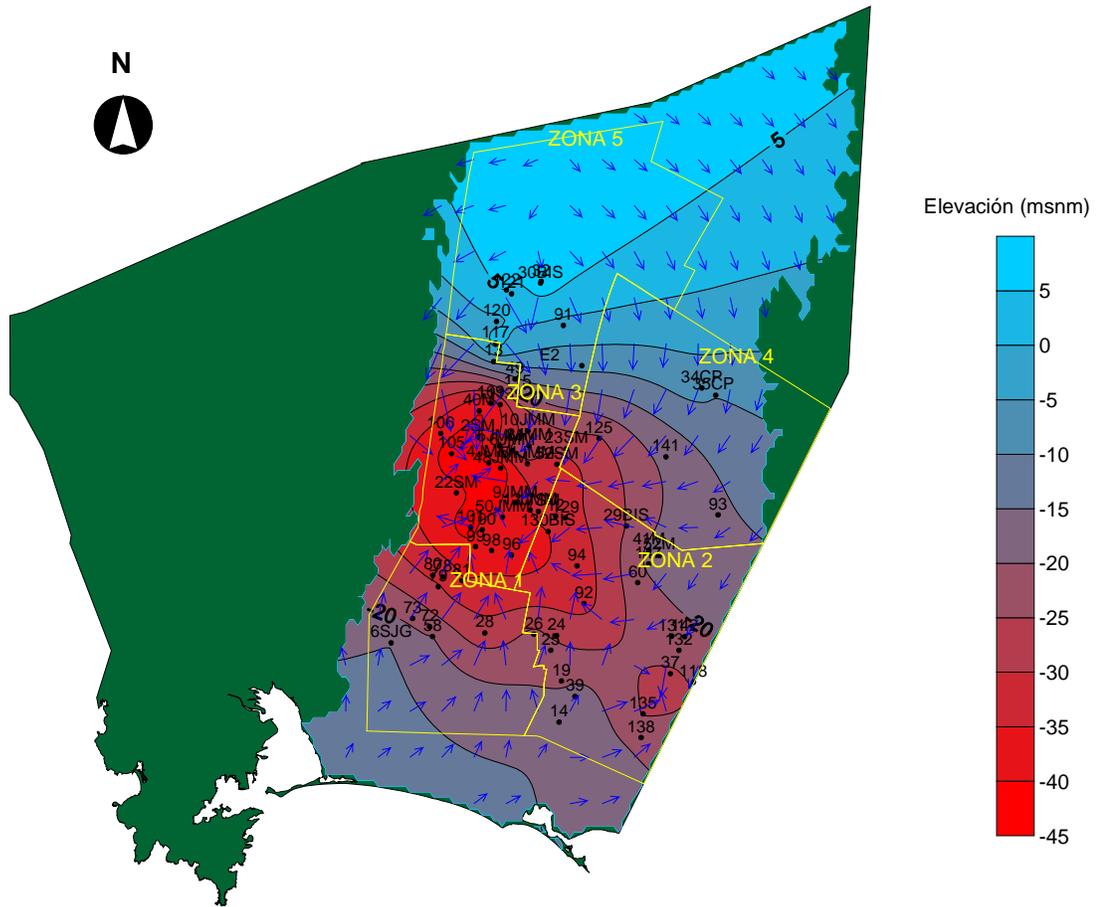
La dirección general del flujo subterráneo puede inferirse de la configuración espacial de la elevación del nivel estático. La dirección predominante del flujo es hacia la zona 3 donde se ha generado un cono de abatimiento a causa de las intensas extracciones (véanse figuras 14, 15, 16).

Figura 14. Elevación de la profundidad del nivel estático 1995



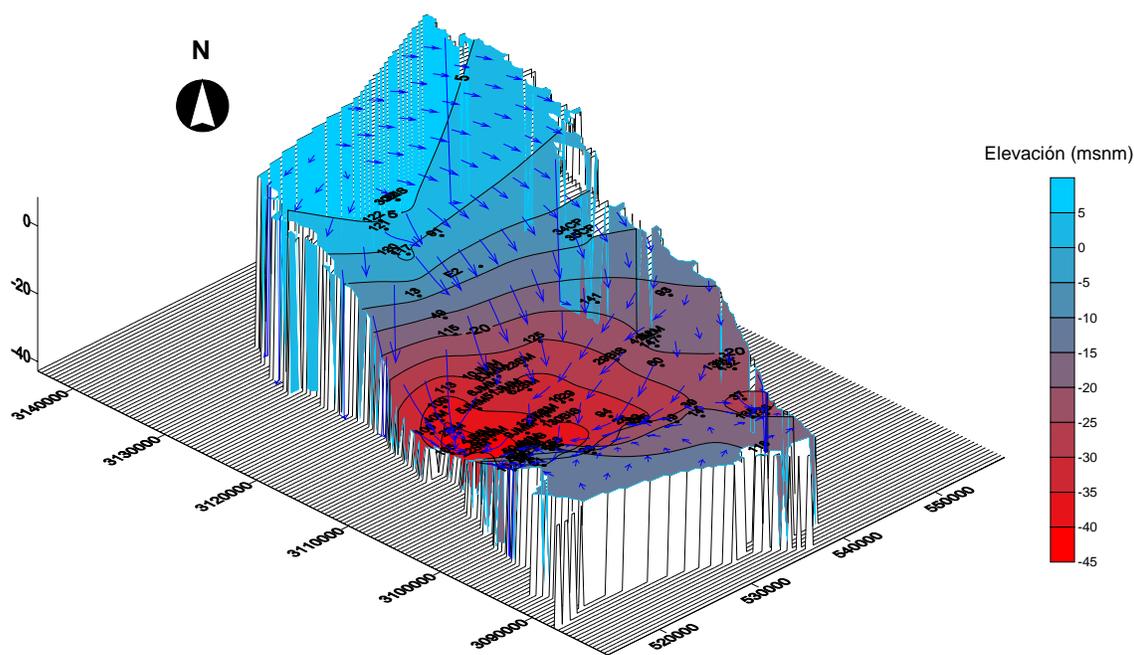
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 15. Elevación de la profundidad del nivel estático 2007



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 16. Vista en tercera dimensión de la elevación del nivel estático 2006

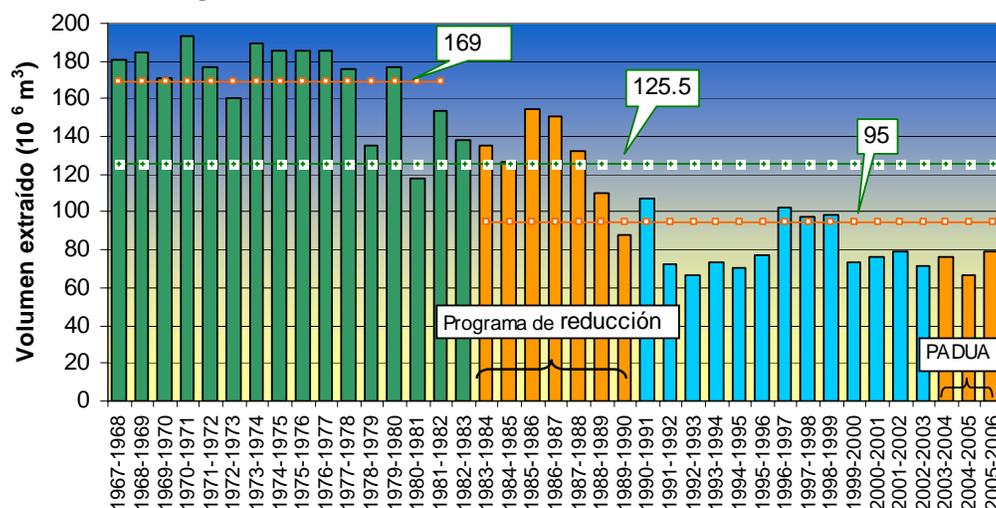


Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Extracción del agua subterránea

La descarga del acuífero se efectúa a través de los numerosos pozos que existen dentro del área del DR 084. El volumen extraído en promedio de 1967 a 2006 fue de 125.5 millones de m^3 (véase figura 17). Para los periodos de 1967-1983 y 1983-2006, los volúmenes medios extraídos fueron de 169 y 95 millones de m^3 , respectivamente. Se debe señalar que en el primer periodo no existió restricción en la extracción del agua del acuífero, no así en el segundo donde se implementó un programa de reducción del volumen bombeado y la cancelación de pozos con el Programa de Adquisición de Derechos de Uso de Agua (PADUA). La necesidad de implementar dichas estrategias obedeció a las consecuencias negativas que provocaba la sobreexplotación del acuífero sobre el ecosistema. Es importante mencionar que para buscar el equilibrio de un acuífero (extracción menor o igual a la recarga) es necesario implantar políticas de ordenamiento, reglamentación, medición y tecnificación. Para el caso del DR 084 los avances han sido significativos en cada una de estas políticas.

Figura 17. Evolución del volumen extraído, DR 084



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

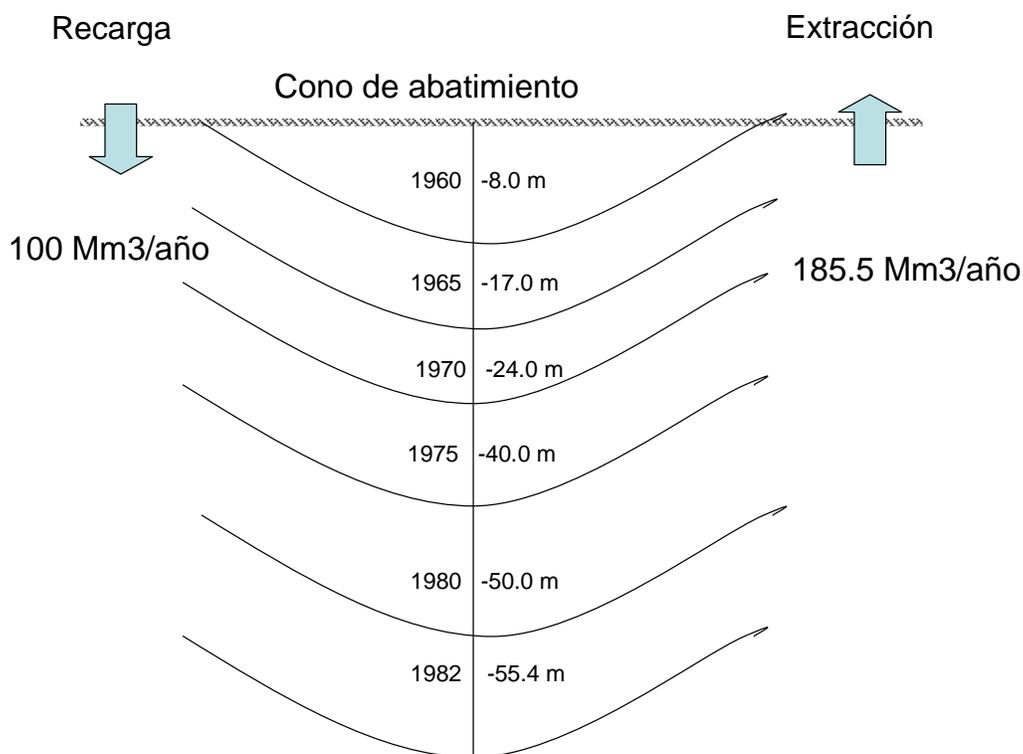
En cuanto al número de pozos inscritos en el REPDA, hasta mayo de 2007, se tenían 582 títulos de concesión de aprovechamiento del agua subterránea dentro del área delimitada por el distrito de riego, con un volumen total concesionado de 114.97605 millones de m³. El DR 084 tienen actualmente 140 pozos para uso agrícola con un volumen concesionado de 92.737 millones de m³, por lo tanto el volumen restante (22.24 millones de m³) se usa en la agricultura de la unidad de riego de San José de Guaymas y para uso público-urbano, pecuario y múltiple dentro del límite del distrito.

Disminución del volumen extraído

a) Programa de reducción de extracciones de agua

La agricultura del Valle de Guaymas basa su desarrollo exclusivamente en la explotación del agua del subsuelo. Hasta 1981 se tenían 159 pozos profundos, que en promedio extraían 185 millones de m³ al año, permitiendo la siembra de cerca de 22 000 ha. Al comparar el volumen extraído con la recarga estimada del orden de 100 millones de m³ (De la Peña y Rodríguez 1997) se tiene un déficit de 85 millones de m³ que significa una sobreexplotación de 85.5 por ciento de la capacidad del acuífero y que se manifiesta con el continuo descenso de los niveles estáticos (véase figura 18).

Figura 18. Cono de abatimiento generado por la extracción de agua del acuífero, DR 084



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

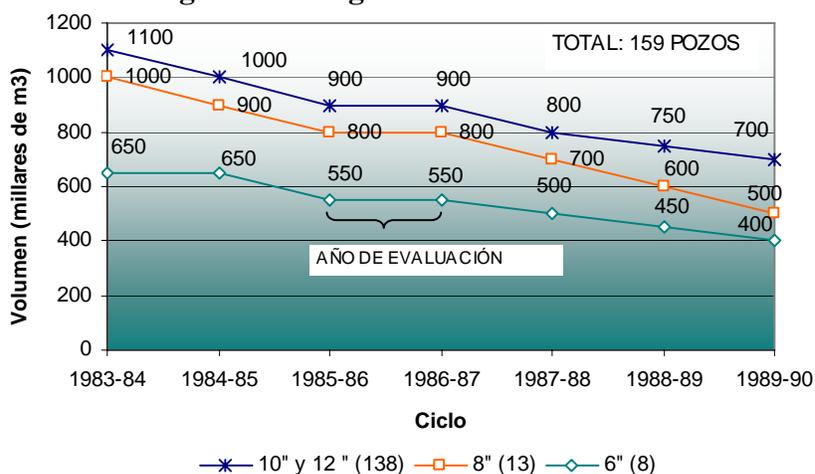
En la reunión del Comité Directivo del DR 084 realizada el 20 de junio de 1983, se acordó implementar un programa de reducción de extracciones, para alcanzar una extracción de 106.3 millones de m³, en siete ciclos agrícolas contados a partir del de 1983-1984, considerándose el ciclo 1986-1987 como un periodo de evaluación de resultados, independientemente de que en cada ciclo agrícola se realicen los estudios necesarios para conocer el comportamiento del programa antes citado y posteriormente a partir del ciclo 1987-1988 al 1989-1990 se continúe con la reducción y adecuaciones correspondientes (véanse cuadro 3 y figura 19).

Cuadro 3. Programa de reducción de extracciones de agua (20 de junio de 1983)

Diámetro de descarga (pulgadas)	Número de pozos	Extracción media anual (Millares de m ³)		Reducción (Millares de m ³)		
		Por pozo	Total	Por pozo	Volumen	Porcentaje
10 y 12	138	1,200	165,600	500	69,000	41.7
8	13	1,100	14,300	600	7,800	54.5
6	8	700	5,600	300	2,400	42.8
TOTAL	159	1,000	185,500	466.7	79,200	42.7

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 19. Programa de reducciones



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Paralelamente al programa de reducciones se plantearon acciones de apoyo como fueron: rehabilitación de obras de recarga y regulación (4 000 ha de bolseo), mejorar la eficiencia en el uso y manejo del agua a través de métodos avanzados de riego y compactación de áreas y diversificación de actividades agropecuarias.

El resultado final del programa de reducciones fue la disminución del volumen anual bombeado de 185.5 millones de m³ a 107.5 millones de m³, que representa 42 por ciento (véase cuadro 4). Al comparar la meta programada (106.3 millones de m³) con la alcanzada (107.5 millones de m³) se estima un déficit de -1.2 millones de m³, por lo que la meta se alcanzó en 98.5 por ciento. El volumen alcanzado con el programa de reducciones fue el concesionado a la Asociación de Usuarios de Agua para Fines Agropecuarios

(AUAFA) del Distrito de Riego 084 Guaymas-Empalme, con la transferencia del distrito de riego a los usuarios el 15 de mayo de 1996.

Cuadro 4. Resultado del programa de reducciones

Ciclo agrícola	Reducción (millones de m ³)	Volumen de extracción (millones de m ³)
1970-1983		185.5
1983-1984	15.5	170.0
1984-1985	15.1	154.9
1985-1986	15.9	139.0
1986-1987	AÑO DE EVALUACIÓN	
1987-1988	15.5	123.5
1988-1989	8.6	114.9
1989-1990	7.4	107.5
TOTAL	78.0	107.5

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

b) Cancelación de pozos mediante el programa federal PADUA

El objetivo principal del Programa de Adquisición de Derechos de Uso del Agua (PADUA) es promover la sustentabilidad de los distritos de riego con problemas de disponibilidad, promoviendo la recuperación de volúmenes de agua en beneficio de los acuíferos y cuencas hidrológicas, mediante la adquisición de los títulos de concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de agua para fines agrícolas, ganaderos o forestales expedidos por la CONAGUA.

El programa se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* el 12 de agosto de 2003 y se modificó el 23 de abril de 2004, denominándosele Programa de Adecuación de Derechos de Uso del Agua y Redimensionamiento de Distritos de Riego.

Con la puesta en marcha del PADUA, en el distrito de riego se cancelaron 13 pozos destinados al uso agrícola, con un volumen concesionado de 8.98 millones de m³. La mayoría de estos pozos tenían problemas de altas concentraciones de sales como consecuencia de la intrusión marina (véase cuadro 5). Por otra parte, en 2004 el Organismo de Cuenca Noroeste (antes Gerencia Regional del Noroeste) canceló un pozo que tenía un volumen concesionado de 0.7 millones de m³.

Con esta adquisición de derechos de uso del agua, el volumen concesionado pasó de 107.5 millones de m³ a 97.82 millones de m³, lo que significó una reducción de 9 por ciento (véase cuadro 6).

Cuadro 5. Cancelación de pozos mediante el PADUA y por el Organismo de Cuenca Noroeste

Pozo	Título	Volumen Concesionado Mm3	Volumen por desincorporar Mm3	Presupuesto requerido (Miles \$)	Precio otorgado (\$/Mm3)	Tipo de cancelación	Año de ejecución
1-JMM	1SON100632/09AMGE95	700.00	700.00			GR-Total	2004
Subtotal (1 pozo)		700.00	700.00				
25-M	1SON100706/09AMGE95	700.00	700.00	1712.50	2.45	PADUA_Parcial	2005
43-M	1SON100715/09AMGE95	700.00	700.00	1712.50	2.45	PADUA_Parcial	2005
66	1SON100774/09AMGE95	700.00	700.00	1712.50	2.45	PADUA_Parcial	2005
55	02SON100848/09AMGR05	700.00	700.00	1750.00	2.50	PADUA_Total	2005
57	02SON100725/09AMGR05	680.00	680.00	1700.00	2.50	PADUA_Total	2005
83	02SON100729/09AMGR05	700.00	700.00	1750.00	2.50	PADUA_Total	2005
84	02SON101012/09AMGR00	700.00	700.00	1750.00	2.50	PADUA_Total	2005
86	02SON100866/09AMGR05	700.00	700.00	1750.00	2.50	PADUA_Total	2005
87	02SON100605/09AMGR05	700.00	700.00	1750.00	2.50	PADUA_Total	2005
Subtotal (9 pozos)		6280.00	6280.00	15587.50	2.48		
27-M	1SON100707/09AMGE95	700.00	700.00	1750.00	2.50	PADUA_Total	2006
37-M	02SON100710/09AMGR06	600.00	600.00	1500.00	2.50	PADUA_Total	2006
38	02SON101418/09AMGR05	700.00	700.00	1712.50	2.45	PADUA_Parcial	2006
85	02SON100726/09AMGR05	700.00	700.00	1712.50	2.45	PADUA_Parcial	2006
Subtotal (4 pozos)		2700.00	2700.00	6675.00	2.48		
Total (14 Pozos)		9680.00	9680.00	22262.50	2.48		2004-2006

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Cuadro 6. Reducción de volumen con la cancelación de pozos

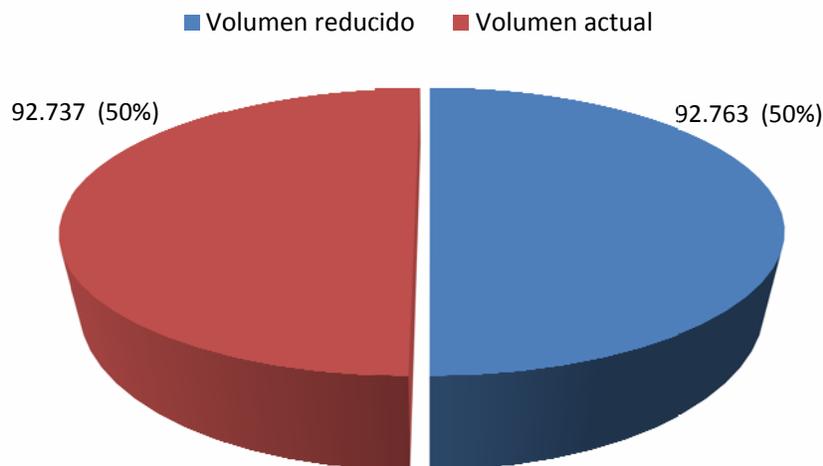
Ciclo agrícola	Reducción (millones de m ³)	Volumen de extracción (millones de m ³)
1990-2003		107.50
2003-2004	0.7	106.80
2004-2005	6.28	100.52
2005-2006	2.7	97.82
TOTAL	9.68	97.82

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

En resumen, con la implementación del Programa de Reducción y el PADUA, el volumen concesionado pasó de 185.5 millones de m³ a 97.82 millones de m³ que significa una reducción de 47.3 por ciento si se considera el título global y de 50 por ciento si se considera el volumen total concesionado por pozo (92.737 millones de m³) (véanse figuras 20 y 21). Es importante mencionar que el volumen concesionado por pozo se otorgó a

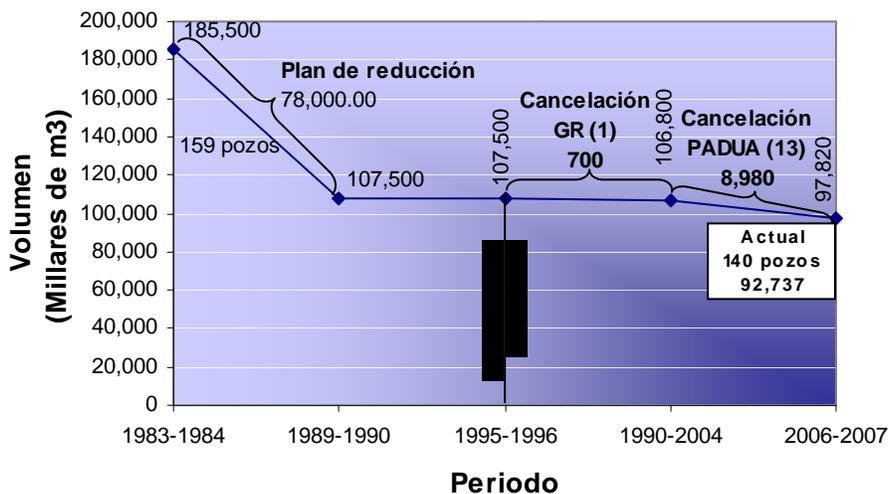
través de un programa de regularización emitido por decreto presidencial en 2000. La base para otorgar el volumen concesionado fueron las boletas de registro. Si se tiene como criterio rector la sustentabilidad del acuífero a fin de lograr su preservación, se hace necesario adecuar el volumen global al volumen total concesionado por pozo.

Figura 20. Distribución del volumen actual y reducido, DR 084



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 21. Evolución del volumen de extracción



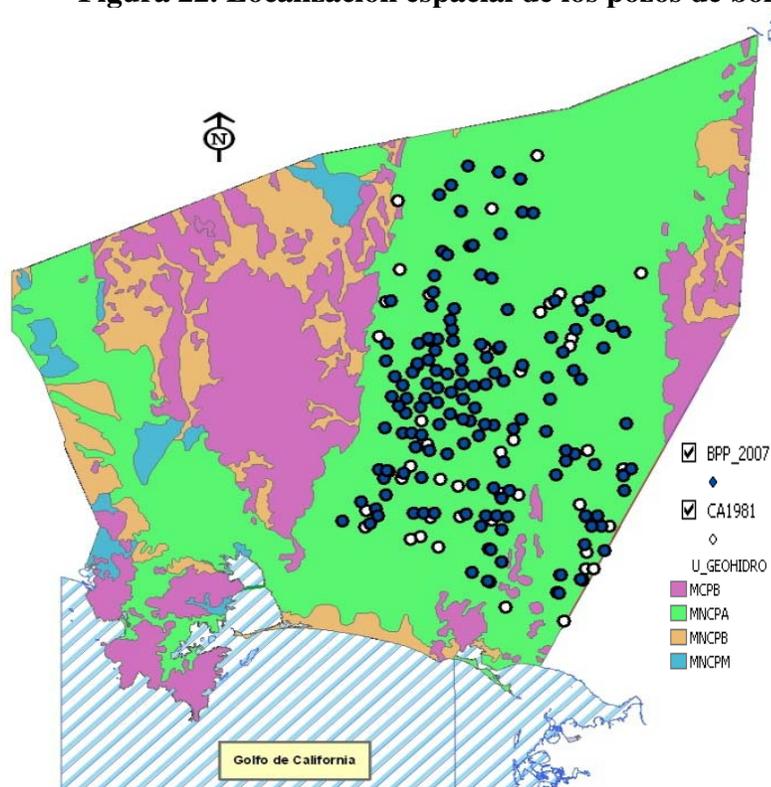
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Evolución de la superficie sembrada

El Valle de Guaymas basa su desarrollo agrícola en la explotación del agua subterránea por encontrarse en una zona con escasez de fuentes de almacenamiento de agua superficial y escasa precipitación. El acuífero, que es la fuente de agua subterránea, se ha visto sometido a diferentes regímenes de extracción a través del tiempo. El auge agrícola en el valle, según los registros, se alcanzó en la década de los años 50, llegándose a sembrar un poco más de 22 000 ha con alrededor de 159 pozos y un volumen de extracción de los 180 a 185 millones de m³. El resultado ha sido la disminución paulatina del almacenamiento y el deterioro de su calidad por intrusión del agua marina como consecuencia de la sobreexplotación del acuífero al extraer un volumen mayor a la recarga natural. No obstante que se han implementado acciones para reducir el volumen de extracción como la aplicación de un programa de reducciones efectuado de 1983 a 1990 y la cancelación de pozos con el Programa de Adquisición de Derechos de Uso del Agua y Redimensionamiento de Distritos de Riego (PADUA), los niveles estáticos continúan descendiendo lo que es un indicativo de que el acuífero aún se sigue sobreexplotando.

Con la sobreexplotación del acuífero se originaron conos de abatimiento que ocasionaron la inversión del gradiente y se propició la intrusión del agua marina. Los primeros pozos afectados fueron los más cercanos al golfo de California y gradualmente se fue incrementando la zona afectada.

Figura 22. Localización espacial de los pozos de bombeo

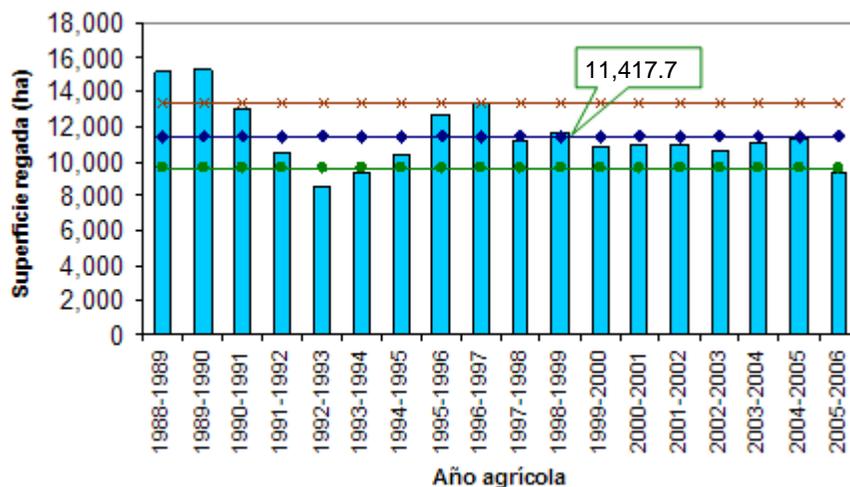


Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

En el distrito de riego son viables dos subciclos de cultivo: primavera-verano (P-V), que comprende del 1 de octubre al 31 de enero y otoño-invierno (O-I), que va del 1 de febrero al 30 de septiembre.

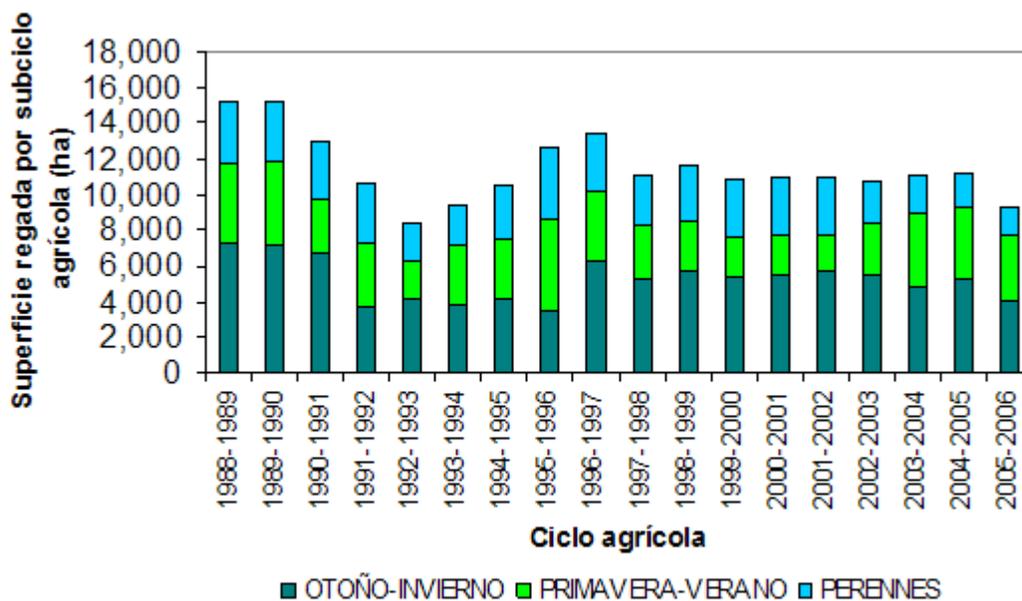
La superficie regada en el distrito 084 Valle de Guaymas, a través del tiempo, ha mostrado una tendencia a la baja (véanse figuras 23 y 24). El promedio anual, para el período de 1989 al 2006, fue de 11 471 ha por subciclo agrícola, 45.6 por ciento de la superficie se riega en otoño-invierno, 29.5 por ciento en primavera-verano y 24.9 por ciento durante todo el ciclo (perennes) (véase cuadro 7).

Figura 23. Evolución de la superficie regada en el DR 084, 1988-2005



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 24. Evolución de la superficie regada por subciclo, 1988-2005



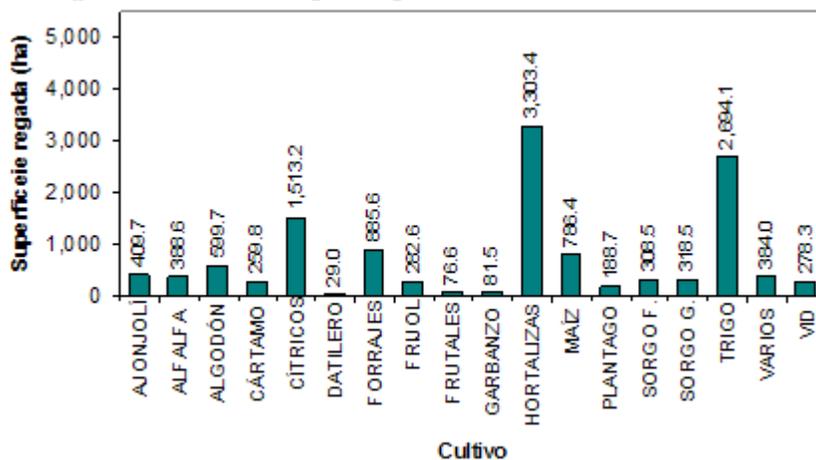
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Cuadro 7. Superficie regada por subciclo agrícola

CULTIVO	Superficie regada (ha)			
	O-I	P-V	Perennes	Total
1988-1989	7,269	4,489	3,438	15,196
1989-1990	7,131	4,800	3,316	15,247
1990-1991	6,804	2,874	3,372	13,050
1991-1992	3,712	3,612	3,260	10,584
1992-1993	4,200	2,009	2,272	8,481
1993-1994	3,846	3,280	2,293	9,419
1994-1995	4,195	3,285	2,939	10,419
1995-1996	3,455	5,240	3,979	12,674
1996-1997	6,297	3,956	3,129	13,382
1997-1998	5,233	3,022	2,905	11,160
1998-1999	5,730	2,809	3,077	11,616
1999-2000	5,339	2,373	3,130	10,842
2000-2001	5,453	2,367	3,122	10,942
2001-2002	5,803	1,999	3,227	11,029
2002-2003	5,468	2,940	2,280	10,688
2003-2004	4,854	4,075	2,205	11,134
2004-2005	5,296	4,005	1,985	11,286
2005-2006	4,044	3,718	1,580	9,342
PROMEDIO	5,229.39	3,380.72	2,861.61	11,471.72

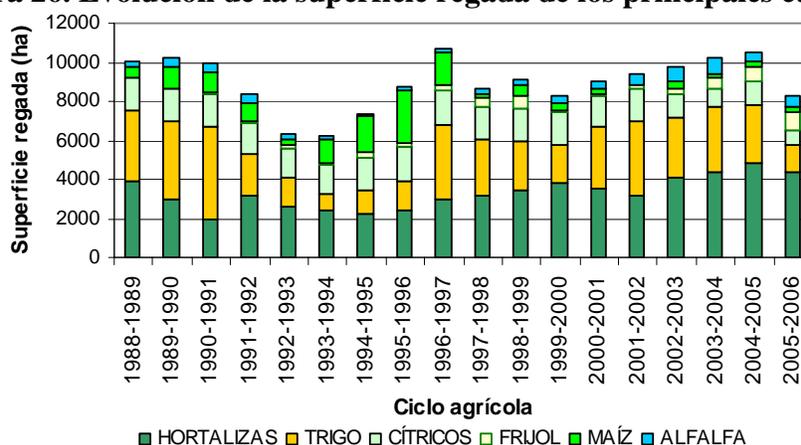
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 25. Cultivos principales en el DR 084, 1998-2005



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 26. Evolución de la superficie regada de los principales cultivos



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

La evolución de la superficie regada de hortalizas muestra una tendencia a la alza y de trigo a la baja. Durante el tiempo de operación del distrito de riego se ha llegado a regar 31.8 por ciento de la superficie susceptible de regarse y 16.9 por ciento más que la superficie media regada actualmente (véase figura 26).

IV

CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La calidad del agua se define por una o más características físicas, químicas o biológicas que puedan afectar su adaptabilidad a un uso específico. La comprensión de la relación causa y efecto entre un componente del agua y el problema resultante, permite evaluar su calidad y determinar su grado de aceptabilidad.

Todas las aguas subterráneas que se utilizan para riego de cultivos agrícolas contienen en solución mezclas de sales que proceden de la meteorización de los minerales y las rocas que constituyen la corteza terrestre. Los procesos de acumulación de estas sales es función de las condiciones climáticas, geomorfológicas, micromorfológicas, hidrogeológicas y biológicas de cada región, así como de su capacidad de migración. Tomando en cuenta esta última propiedad, Polynov (1956) y Kovda (1980), citado por González (1982), clasifican los elementos en cinco categorías: los no lavables (Si); poco lavables (Fe, Al, Si); lavables (Si, P y Mn); bastante lavables (Ca, Na, K, Mg, Cu, Co y Zn); y muy lavables (Cl, Br, I, S, C y B). Las dos últimas categorías se encuentran con mayor frecuencia en suelos y aguas, formando diversos tipos de sales como son el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl_2), cloruro de magnesio (MgCl_2), sulfato de magnesio (MgSO_4), sulfato de sodio (Na_2SO_4), sulfato de calcio (CaSO_4), sulfato de potasio (K_2SO_4), carbonato de sodio (Na_2CO_3), bicarbonato de sodio (NaHCO_3), carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3).

Las sales más solubles son el cloruro de calcio, cloruro de magnesio, carbonato de sodio y cloruro de sodio, y son removidas por completo de los suelos por los extractos acuosos (cuando se asegura una percolación de la solución del suelo). Las sales de más baja solubilidad, como el sulfato de sodio y bicarbonato de sodio, pasan de manera incompleta a los extractos acuosos, cuando se encuentran de manera considerable en los suelos. En

cambio, las sales como el sulfato de calcio, carbonato de calcio y carbonato de magnesio se disuelven en cantidades muy pequeñas.

En cuanto al grado de toxicidad fisiológica en los cultivos se tiene el siguiente orden de mayor a menor: $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgCl}_2 > \text{MgSO}_4$.

Los regímenes físico-químicos de las aguas de riego en zonas áridas son principalmente de carácter neutro ($\text{pH} \rightarrow 7$) y alcalino ($\text{pH} > 8 - 9$). En el primero predominan sales como el cloruro de sodio (NaCl), el sulfato de sodio (Na_2SO_4) y el sulfato de magnesio (MgSO_4), y en el segundo, compuestos formados por $\text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-} - \text{SiO}_3^{2-}$ (Ortega 1998).

Efecto de las sales en los cultivos

Los efectos de la alta concentración de sales en los cultivos provocan un retraso en su crecimiento y diferentes decoloraciones. Las tonalidades que se presentan bajo condiciones de alta salinidad son verde azuladas. Los daños también se presentan como quemaduras a lo largo de los bordes de las hojas o en sus extremidades, necrosis y caída de las hojas.

Figura 27. Afectación de los cultivos por el uso de agua de mala calidad, Predio “Porvenir”, municipio de Empalme, Sonora



También se presentan problemas de toxicidad cuando ciertos elementos del suelo o del agua son absorbidos por las plantas y acumulados en sus tejidos en concentraciones lo suficientemente altas, como para provocar daños y reducir sus rendimientos. La magnitud de los daños depende de la cantidad de iones absorbidos y de la tolerancia de las plantas. Los cultivos perennes son los más sensibles y los anuales los más tolerantes. Los iones de mayor importancia asociados con problemas de toxicidad y desbalances nutricionales son el cloro, el sodio y el boro.

Figura 28. Síntomas de fototoxicidad en cítricos, por el alto contenido de sales en la fuente de abastecimiento utilizada para el riego, Predio “Santa Amelia”, municipio de Empalme, Sonora



Directrices para interpretar la calidad del agua para riego y definición de la calidad del agua para uso agrícola, utilizando distintas clasificaciones

La clasificación agronómica del agua de riego está dada por la interacción de factores tales como: cantidad y tipo de sales en solución, el cultivo por regar (tolerancia a la salinidad de los cultivos), el suelo por regar (infiltración y percolación del agua en el suelo), las condiciones climatológicas (evaporación y precipitación), el método de riego (influyen en la acumulación diferencial de sales en el suelo y en las plantas), las condiciones de drenaje y las prácticas de manejo de agua, suelo y planta (mejores prácticas que eviten o reduzcan el efecto de la salinidad sobre los cultivos).

En la interpretación de la calidad del agua para riego se utilizan índices de primer y segundo grado, en los primeros se considera el pH, conductividad eléctrica (CE), cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio) y aniones (cloruros, sulfato, bicarbonato y carbonato), en los segundos la relación de adsorción de sodio (RAS), una relación de carbonato de sodio residual, dureza y el coeficiente alcalimétrico (índice de Scott).

a) Índices de primer grado

i) Sólidos totales disueltos

De acuerdo a la cantidad de sólidos totales disueltos, que es una medida de la cantidad de todas las sustancias disueltas en el agua sean o no volátiles, se tiene la siguiente clasificación de Scofield: clase 1 está entre 0 y 175 ppm; clase 2 entre 175-525 ppm; clase 3 de 525-1400 ppm; clase 4 de 1400-2100 ppm, y clase 5 mayor de 2100 ppm.

ii) ILRI (1977)

El Instituto Internacional para la Rehabilitación y Mejoramiento de Tierras (ILRI) clasifica las aguas para riego de acuerdo a la predominancia de algunos iones y las define de la siguiente manera:

- Clase I, si $Ca + Mg < HCO_3 + CO_3$;
- Clase II, si $Ca + Mg > HCO_3 + CO_3$ y $Ca < HCO_3 + CO_3 + SO_4$;
- Clase III, si $Ca + Mg > HCO_3 + CO_3$ y $Ca > HCO_3 + CO_3 + SO_4$;
- Clase IV, cuando $HCO_3 + CO_3 + SO_4$ es despreciable.

En la Clase I la concentración de calcio y magnesio favorece la formación de carbonatos, los cuales pasan a las capas más profundas del suelo; mientras que el sodio y el potasio permanecen en la solución del suelo aumentando el riesgo de sodificación. En el agua de Clase II la cantidad de calcio y magnesio es más importante que los carbonatos y bicarbonatos, esto permite la formación de carbonato y yeso que reducen el riesgo de sodificación del suelo. En el agua de Clase III no representa riesgo de sodificación del suelo, dado que el calcio y el magnesio superan a los carbonatos y bicarbonatos, además de

que el calcio es superior a los carbonatos y sulfatos. En el agua de Clase IV, los que predominan son los cloruros, y por ello no se esperan precipitaciones.

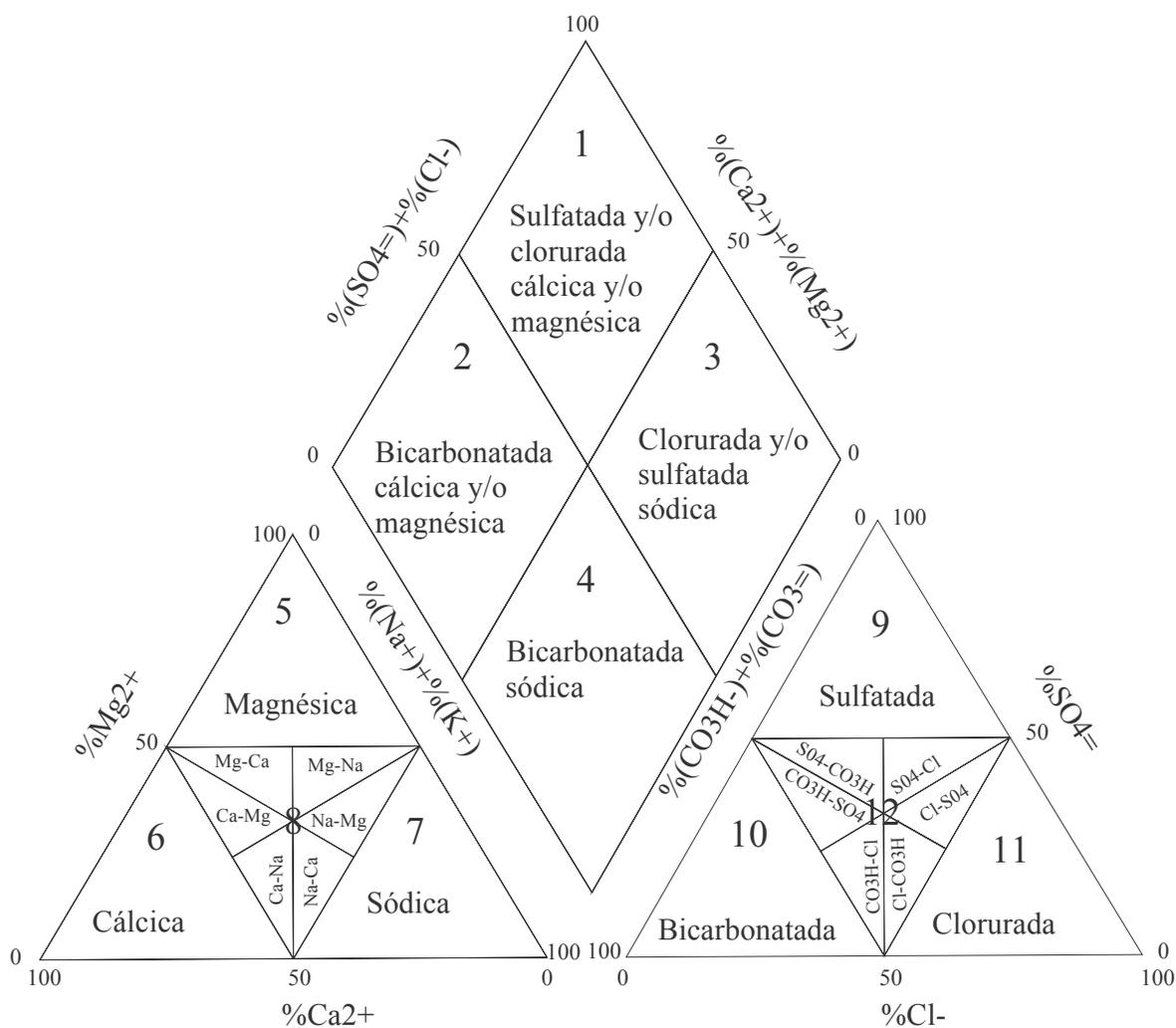
iii) Diagramas de Piper

Los diagramas hidroquímicos son representaciones gráficas que muestran sintéticamente las características químicas principales del agua, facilitando su clasificación. Existen distintos diagramas, entre los que se pueden mencionar el Diagrama de Piper, de Schoeller, columnar de Collins y de Stiff.

Los Diagramas de Piper o Triangulares son ideales para representar tres componentes (aniones y/o cationes) en forma simultánea. La utilidad de éstos es la posibilidad de representar muchos análisis en un mismo gráfico, sin ocasionar confusiones. Las aguas químicamente semejantes se encontrarán agrupadas, y pueden clasificarse por su ubicación en el diagrama.

El diagrama de Piper consta de dos triángulos equiláteros en su parte inferior y un rombo en la parte superior, se dibujan los contenidos en meq/l de los cationes en un triángulo y los aniones en otro, como porcentaje del total y sólo se pueden analizar contenidos en el agua de seis elementos a la vez, tres aniones y tres cationes. La clasificación del agua según el diagrama de Piper se muestra en la figura 29.

Figura 29. Familias de aguas según Piper



En general, se puede decir que los análisis químicos de las muestras de agua se agrupan en una zona del diagrama, todas pertenecerán a una misma familia, si sucede lo contrario, se puede inferir que existe la posibilidad de alguna otra fuente de recarga del acuífero. La mezcla de dos aguas distintas representadas en los diagramas, tendrá características medias de los análisis individuales; sin embargo, una media en los diagramas no necesariamente representará una mezcla, ya que las características químicas pueden ser modificadas por una diversa variedad de factores.

Los diagramas hidrogeoquímicos incluyen el estudio de las familias de agua, así como posibles orígenes del agua subterránea. Los mapas con curvas de igual valor de iones analizados, proporcionan una idea de las direcciones del flujo subterráneo, y están íntimamente ligados con las diferentes familias de agua. Finalmente, es conveniente analizar el tipo de roca por la que atraviesa o tiene contacto el agua subterránea según su calidad y los elementos que constituyen la roca.

b) Índices de segundo grado

i) USDA (1974)

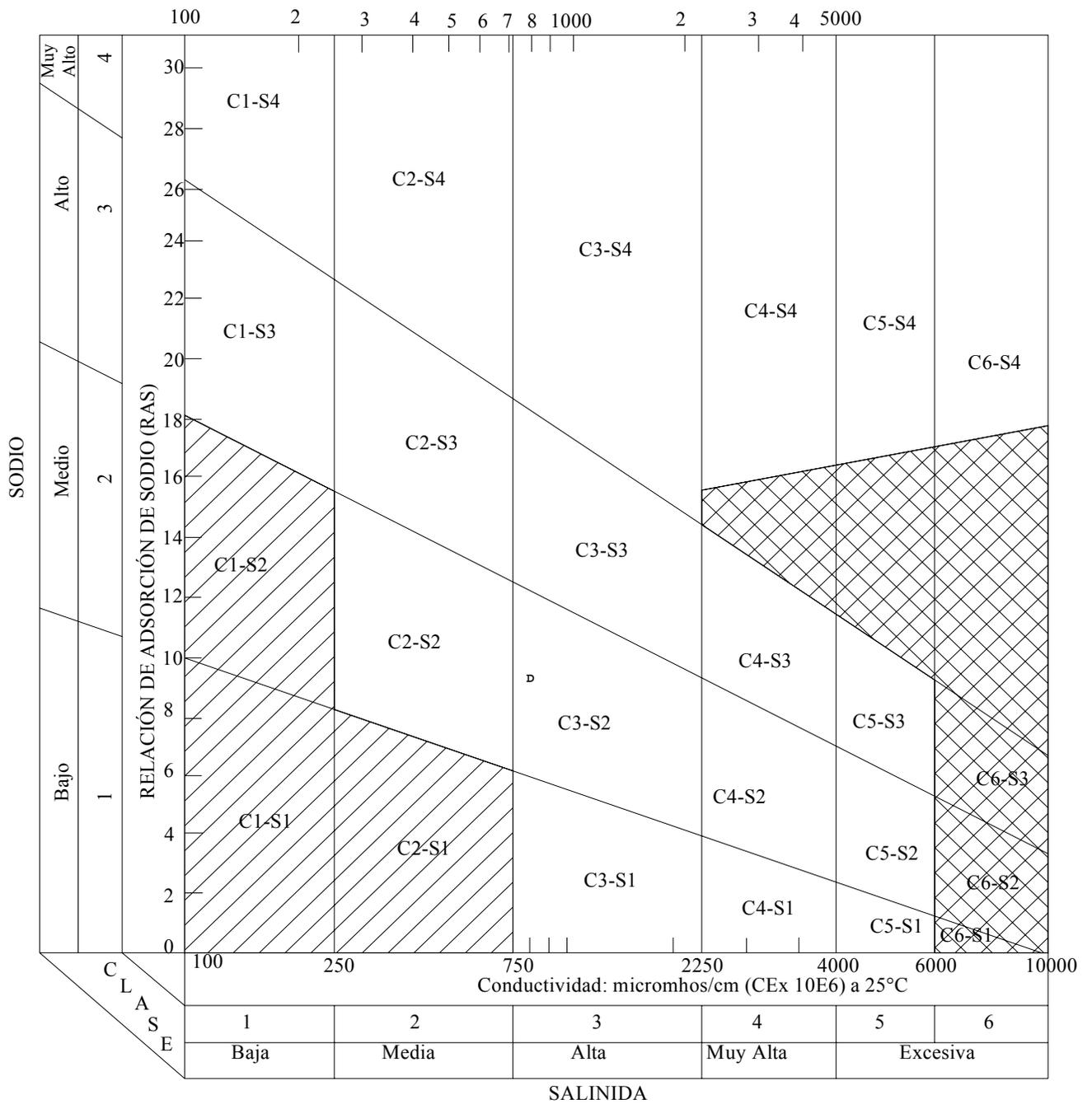
El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA por sus siglas en inglés, (1974), para la clasificación del agua con fines de riego considera la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio (véase figura 30).

Los tipos de agua, su calidad y normas de uso se definen de acuerdo al contenido de sales y sodio; se clasifican en agua de baja salinidad (C1), apta para el riego en todos los casos y con posibilidad de problemas en suelos de baja permeabilidad; agua de salinidad media (C2), apta para el riego, en ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad; agua de salinidad alta (C3), puede utilizarse para riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizar cultivos muy tolerantes a la salinidad; agua de salinidad muy alta (C4), en muchos casos no es apta para el riego y sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizar cultivos muy tolerantes a la salinidad; agua de salinidad excesiva (C5), que sólo debe emplearse en casos muy especiales, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente, y agua de salinidad excesiva, no aconsejables para riego (C6).

Según el contenido de sodio, se clasifican en agua con bajo contenido en sodio (S1), apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas en cultivos muy sensibles al sodio. Agua con contenido medio de sodio (S2), con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosa y franco-arcillosa) y de baja permeabilidad. Agua con alto contenido en sodio

(S3) y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo y agua con contenido muy alto de sodio (S4), no aconsejable para el riego, excepto en casos de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Figura 30. Diagrama para clasificar el agua con fines de riego



- Aguas de buena calidad aptas para riego
- Aguas utilizables para riego con precauciones
- Aguas no aptas para riego

Fuente: USDA (1974).

ii) Relación Cl/HCO₃

El agua de mar tiene como característica interesante su bajo contenido del ión bicarbonato. En virtud de que el contenido de HCO₃ es un valor relativamente constante en las aguas subterráneas al relacionarlo con el contenido de cloro, se puede definir un indicador de la concentración de sales en el sentido del flujo subterráneo. Un incremento rápido de la relación Cl/HCO₃ puede estar relacionado con la intrusión del agua marina. En aguas continentales alcanza valores de 0.1 a 5.0 y para aguas de mar varía de 2.0 a 5.0. Si el incremento de cloruros es debido a concentración de sales en zonas de regadío, la relación crece mucho menos para el mismo incremento en cloruros que cuando se produce por intrusión marina.

iii) Ayers y Westcot (1987)

Ayers y Westcot (1987) definen tres grados de severidad en cuanto a su clasificación en la restricción de uso del agua para riego: ninguna, ligera a moderada y severa (véase cuadro 9). En la primera no se presentan o identifican problemas en los cultivos o en el suelo, en el caso de la restricción ligera a moderada se requiere un cuidado gradualmente mayor en la selección de los cultivos y de las alternativas de manejo, para alcanzar el potencial máximo de rendimiento. La restricción severa implica la aparición de problemas de suelo y de cultivo y reducción en los rendimientos, y la necesidad de contar con un manejo hábil y efectivo para lograr rendimientos aceptables. Los límites presentados son en cierto modo arbitrarios puesto que en realidad los cambios son graduales y no existe una división abrupta. Una variación de 10 a 20 por ciento, por encima o por debajo de los valores dados, tiene poca importancia, si se consideran juntos y en relación con otros factores que puedan afectar los rendimientos. Los valores indicados son aplicables a las condiciones normales de las áreas regadas en las zonas áridas y semiáridas.

Cuadro 8. Valores normales de algunos iones en aguas de riego

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor normal*
Salinidad			
Conductividad eléctrica	CE	dS/m	0-3
Sólidos totales en solución	STD	mg/l	0-2000
Cationes y aniones			
Calcio	Ca ²⁺	me/l	0-20
Magnesio	Mg ²⁺	me/l	0-5
Sodio	Na ⁺	me/l	0-40
Carbonatos	CO ²⁻	me/l	0-0.1
Bicarbonato	HCO ⁻	me/l	0-10
Cloro	Cl ⁻	me/l	0-30
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	me/l	0-20
Varios			
Boro	B	mg/l	0-2
Potasio	K ⁺	mg/l	0-2
Acidez	pH		6-8.5

* Aguas de riego

Cuadro 9. Directrices para interpretar la calidad del agua de riego

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguna	Ligera a Moderada	Severa
Salinidad (afecta agua para el cultivo)				
CEar (o)	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
STD	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
(Reduce infiltración; evaluar usando a la vez la CEar y el RAS)				
RAS = 0 - 3 y CEar =		> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
= 3 - 6 =		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
= 6 - 12 =		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
= 12 - 20 =		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
= 20 - 40 =		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Sodio				
Riego superficial	RAS	<3	3-9	>9
Riego por aspersión	me/l	<3	>3	
Cloro				
Riego superficial	me/l	<4	4-10	>10
Riego por aspersión	me/l	<3	>3	< 0.3
Boro	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Bicarbonato (aspersión foliar)	me/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Amplitud normal 6.5-8.4		

CEar=Conductividad eléctrica del agua de riego

STD=Sólidos totales disueltos

Según el contenido de sales, efecto probable del sodio y elementos tóxicos

En general, existen tres criterios principales para juzgar la conveniencia o limitación del empleo del agua con fines de riego de los cultivos agrícolas. Estos criterios son el contenido de sales solubles, el efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos y el contenido de elementos tóxicos. Para cada uno de estos criterios se tienen diferentes índices.

a) Sales solubles

Para medir el efecto de las sales solubles en el agua de riego se tienen los siguientes índices: conductividad eléctrica, salinidad efectiva y salinidad potencial.

- Conductividad eléctrica (CE). Es una medida indirecta de la presión osmótica en la solución del suelo que está en contacto con las raíces de las plantas. La presión osmótica y la conductividad eléctrica pueden correlacionarse con la siguiente fórmula empírica:

$$PO = 0.36 CE \times 10^3 \quad 3 < CE \times 10^3 < 30$$

- Salinidad efectiva (SE). Es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, puesto que toma en cuenta la precipitación ulterior de las sales menos solubles: carbonato de calcio y magnesio, y sulfato de calcio, que dejan de participar en la elevación de la presión osmótica de la solución del suelo. Este proceso es más notable cuando las aguas tienen un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos. La salinidad efectiva (SE) se calcula:

i) Si $Ca > CO_3 + HCO_3 + SO_4$;

$$SE = \sum \text{Cationes}^* - (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$$

ii) Si $Ca < CO_3 + HCO_3 + SO_4$; pero $Ca > CO_3 + HCO_3$;

$$SE = \sum \text{Cationes}^* - Ca$$

iii) Si $Ca < CO_3 + HCO_3$; pero $Ca + Mg > CO_3 + HCO_3$;

$$SE = \sum \text{Cationes}^* - (CO_3 + HCO_3)$$

iv) Si $Ca + Mg < CO_3 + HCO_3$;

$$SE = \sum \text{Cationes}^* - (Ca + Mg)$$

Donde todos los iones se expresan en me/l. Si la suma de cationes es menor que la de aniones, deberá emplearse la suma de aniones (*).

- Salinidad potencial (SP). Cuando la humedad aprovechable del suelo disminuye a niveles inferiores a 50 por ciento, las últimas sales en solución son los cloruros y

parte de los sulfatos. La salinidad potencial es un índice para estimar el peligro de estas sales que quedan en solución, a bajos niveles de humedad y que, aumentan la presión osmótica. Este índice es uno de los mejores estimadores del efecto de las sales sobre las plantas. Se calcula mediante:

$$SP = Cl + 1/2 SO_4$$

Donde los iones están en me/l.

b) Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo

Para estimar el efecto probable del sodio se han propuesto los siguientes índices: relación de adsorción de sodio, carbonato de sodio residual y por ciento de sodio posible.

- Relación de adsorción de sodio (RAS). Es el índice más difundido para estimar el peligro de sodificación del suelo que presenta el agua de riego. En opinión de algunos investigadores, la RAS está correlacionada con el porcentaje del sodio intercambiable (PSI) del suelo que está en equilibrio con el agua de riego. Por lo que entre mayor sea la RAS es de esperarse mayor valor del PSI del suelo y un mayor peligro de sodificación del suelo.
- Carbonato de sodio residual (CSR). Cuando en el agua de riego el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el de calcio y magnesio, existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio, debido a que, por su alta solubilidad, puede permanecer en solución aún después de que se han precipitado los carbonatos de calcio y magnesio. En estas condiciones, la concentración total y relativa de sodio puede ser suficiente para desplazar al calcio y al magnesio del complejo de intercambio, produciendo la defloculación del suelo. Se calcula mediante:

$$CSR = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$$

Donde la concentración de los iones está en me/l.

- Por ciento de sodio posible (PSP). El peligro del desplazamiento del calcio y magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio, inicia cuando el contenido de sodio en solución representa más de la mitad de los cationes disueltos. El porcentaje de sodio en solución en el agua de riego no es suficientemente representativo de este peligro, debido a que, las sales menos solubles precipitan ($CaCO_3$, $MgCO_3$ y $CaSO_4$) y el porcentaje de sodio en solución aumenta relativamente. El PSP está referido a la salinidad efectiva y se calcula:

$$PSP = Na/SE \times 100$$

Donde la SE y el Na se expresan en me/l.

c) Elementos tóxicos

Dentro de los elementos que contienen en solución las aguas de riego, existen algunos que son tóxicos para las plantas, aún en pequeñas cantidades. Normalmente la toxicidad resulta cuando ciertos iones son tomados por la planta de la solución del suelo y se acumula en las hojas con la transpiración provocándole daño a la planta. La magnitud del daño depende del tiempo de contacto, concentración, sensibilidad del cultivo y cantidad de agua que requiere el cultivo. El sodio y el cloro pueden también ser absorbidos directamente por la planta a través de las hojas en riego por aspersión. Esto ocurre durante periodos de altas temperaturas y baja humedad. Los elementos que con mayor frecuencia se presentan son: el boro, el cloro, litio y sodio, aunque el efecto de estos últimos no ha sido suficientemente estudiado.

- Boro

El boro es un microelemento indispensable para el buen desarrollo de las plantas, sin embargo, a muy bajas concentraciones, apenas superiores a las indispensables, empieza a ser tóxico para la mayoría de los cultivos (véase cuadro 10). Para algunos cultivos una concentración del 0.2 mg/l de boro en el agua es esencial y de 1 a 2 mg/l puede ser tóxico. Los síntomas de toxicidad del boro en las plantas son un amarillamiento de las hojas más viejas, manchas o secado en bordes de las hojas. El secado y la clorosis frecuentemente progresan hacia el centro de la hoja.

Cuadro 10. Tolerancia de algunos cultivos a la presencia del boro

Tolerantes (2-4 ppm)	Semi-tolerantes (1-2 ppm)	Sensibles (0.3-1 ppm)
Espárrago	Papa	Nogal
Palma datilera	Algodón	Frijol Navy
Remolacha azucarera	Tomate	Ciruelo
Remolacha forrajera	Rábano	Peral
Betabel	Chícharo	Manzano
Alfalfa	Olivo	Vid
Frijol	Cebada	Cerezo
Cebolla	Trigo	Durazno
Nabo	Maíz	Chabacano
Col	Sorgo	Zarzamora
Lechuga	Avena	Naranja
Zanahoria	Calabaza	Aguacate
	Pimiento	Toronja
	Camote	Limón

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

- Cloro

La toxicidad más común en el agua de riego es debido al cloro. Este elemento no es adsorbido o retenido por el suelo, por lo que se mueve con facilidad en la solución del suelo, es tomado por el cultivo y con la transpiración de la planta se acumula en las hojas. Si la concentración de cloro en las hojas excede la tolerancia del cultivo, algunos síntomas como quemaduras o secado aparecen en la hoja. Normalmente, los daños en la planta ocurren primero en la punta de la hoja y progresa hacia los bordes como se incrementa. Una necrosis excesiva es frecuentemente acompañada con la caída temprana de la hoja o defoliación. Para cultivos sensibles, estos síntomas ocurren cuando las hojas acumulan de 0.3 a 1 por ciento de cloro del peso seco variando sensiblemente con el cultivo. Algunos árboles, por ejemplo, muestran daños con alrededor de 0.3 por ciento de cloro (peso seco). Según algunos investigadores el ión cloruro es especialmente tóxico en árboles frutales, como cítricos y en algunos otros cultivos como la fresa (véase cuadro 11).

Cuadro 11. Tolerancia de algunos cultivos al cloro en el extracto de saturación del suelo

Cultivo	Concentración permisible de Cl (me/l)
Limonero	25
Mandarina	25
Naranja agrio	15
Naranja dulce	10
Frutales de hueso	7-25
Aguacate	5-8
Vid rosa negra	10
Zarzamora	10
Frambuesa	5
Fresa larssen	8

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Clasificación del agua

La clasificación de las aguas de acuerdo a los índices anteriores puede ser buena, condicionada y no recomendable.

El agua se considera de *buena* calidad si los índices tienen los valores mostrados en el cuadro 12. Estas aguas pueden ser utilizadas para el riego de la gran mayoría de los cultivos, en la generalidad de los suelos y con el mínimo de cuidados en el manejo de suelos y agua.

Cuadro 12 . Valores de los índices para una agua buena

Aguas < 20% CO ₃ + HCO ₃	Aguas > CO ₃ + HCO ₃
a) C1S1	a) CEx10 ⁶ < 250, o SE < 3 meq/l
b) SP < 3 me/l	b) SP < 3 me/l
c) CSR < 1.25 me/l	c) CSR < 1.25 me/l
d) B < 0.3 ppm	d) PSP < 50%
e) Cl* < 1 me/l	e) B < 0.3 ppm
	f) Cl* < 1 me/l

*Sólo se empleará si se tienen cultivos sensibles con tolerancias conocidas.

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

El agua se considera *no recomendable* si uno o más índices rebasan los valores del cuadro 13; no se recomiendan para ser empleadas directamente y de manera permanente en el riego de la mayoría de los suelos y cultivos bajo las prácticas usuales de manejo; a menos que sean mezcladas con otras de mejor calidad, de manera que los índices de la mezcla no rebasen los valores señalados.

Cuadro 13. Valores de los índices para una agua no recomendable

Aguas < 20% CO ₃ + HCO ₃	Aguas > CO ₃ + HCO ₃
a) C4Si y/o CiS4 i=1,2,3,4 y/o	a) SE > 15 me/l
b) SP > 15 me/l y/o	b) SP > 15 me/l
c) CSR > 2.5 me/l y/o	c) CSR > 2.5 me/l
d) B > 4 ppm y/o	d) B < 0.3 ppm
e) Cl* > 5 me/l	e) Cl* < 1 me/l

*Sólo se empleará si se tienen cultivos sensibles con tolerancias conocidas.

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

El agua se considera *condicionada* cuando los valores de los índices estén comprendidos entre los extremos señalados antes, la calidad del agua no puede definirse con base sólo en sus características químicas, puesto que requiere información adicional sobre cultivos y suelos en los que será empleada, así como sobre las condiciones de manejo del suelo y agua y condiciones climatológicas. Definidas las condiciones, de acuerdo a la tolerancia de los cultivos, la permeabilidad y condiciones de drenaje del subsuelo, podrá finalmente decidirse si el agua es buena o no recomendable para el riego en esas condiciones.

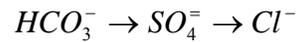
Dureza

La dureza mide la capacidad del agua para consumir jabón o producir incrustaciones y está ligada al contenido de iones alcalinotérreos, esencialmente Ca²⁺ + Mg²⁺. La dureza total es la suma del contenido total de Ca²⁺ + Mg²⁺. Generalmente varía entre 10 y 300 ppm de CaCO₃ pudiendo llegar a 1 000. El agua de mar tiene 1 500 ppm de CaCO₃. Según su dureza total, expresada como CaCO₃:

Dureza total (mg/l)	Nombre
De 0 a 60	Agua blanda
De 61 a 120	Moderadamente dura
De 121 a 180	Dura
Mayor de 180	Muy dura

Relación entre iones

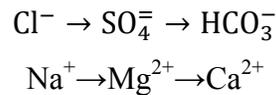
En general, las aguas de circulación regional tienden a aumentar su mineralización hasta saturarse con los diferentes iones. Para el caso de los aniones, primero se satura el HCO_3^- , incluso ya de la infiltración y después el SO_4^{2-} , el ión cloruro no llega a saturarse normalmente. Para el caso de los cationes, primero se satura el ion calcio, más difícilmente el ión magnesio y el sodio no llega a saturarse. Por estos procesos el agua puede tener una composición diferente a la de la roca por donde circula, sobre todo cuanto más se aleja del lugar de infiltración, rocas con contenido muy bajo de cloruros y ricas en otras sales solubles pueden dar origen a aguas predominantemente cloruradas si ha transcurrido el tiempo suficiente como para ir tomando a lo largo del recorrido esas pequeñas cantidades, mientras los otros aniones permanecen casi constantes por estar saturados. Así, la evolución natural de agua de circulación regional, en cuanto a dominancia, está dada por:



Este comportamiento tan sencillo admite excepciones. Si suponemos que en el agua infiltrada dominan los iones HCO_3^- y Ca^{2+} , entonces puede empezarse la secuencia en un lugar más avanzado o sufrir un retroceso para luego tomar la evolución normal. Si el medio es fuertemente reductor se puede tener una reducción bacteriana del SO_4^{2-} mucho más rápida que su disolución en cuyo caso este ion no rebasa unas pocas ppm. Si en el acuífero se aporta CO_2 , ya sea de los propios procesos de reducción de los sulfatos o de otro origen, el contenido de HCO_3^- y Ca^{2+} puede aumentar de forma inesperada.

Al incrementarse la concentración de sales, aumenta la fuerza iónica y por lo tanto las solubilidades se van incrementando ligeramente y los iones que antes saturaban pueden aumentar su concentración ligeramente.

Los cambios de bases pueden alterar la evolución de los cationes, no sólo en relación con los alcalinos y alcalinotérreos, sino también entre el Ca^{2+} y Mg^{2+} . Según Schoeller con un contenido total de iones de 60 me/l se tiene que el ión menos abundante es el HCO_3^- y mayor de 360 me/l se tiene siempre que:



Y en general siempre y cuando la salinidad sea superior a 180 me/l. En este caso, el índice de bases siempre es positivo.

En acuíferos costeros no se produce mezcla notable entre el agua dulce del acuífero y el agua marina, sólo se tiene una zona de transición, llamada interfase de ancho variable.

Si el agua dulce circula por sedimentos inicialmente en contacto con agua marina, los minerales arcillosos tienen una composición iónica en equilibrio con el agua de mar y además pueden retener una mayor cantidad de iones. El agua dulce incrementa notablemente su contenido de cloruros y en sodio por lavado de material y como las aguas dulces tienen una relación $(\text{Na} + \text{K})/(\text{Ca} + \text{Mg})$ por lo general menor que las aguas marinas, tomarán alcalino y cederán alcalinotérreos, es decir se ablandarán y su índice de cambio de bases disminuirá respecto al valor inicial. Si era inicialmente positivo disminuirá e incluso se hará negativo y si era negativo se hará más negativo. El agua no responderá a una mezcla de agua dulce y agua marina sino que tendrá menor contenido de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

Si se produce una intrusión de agua salada en un acuífero que contenía agua dulce, el agua marina encuentra sedimentos en equilibrio con un agua de relación $(\text{Na} + \text{K})/(\text{Ca} + \text{Mg})$ en general menor, el agua marina cede iones alcalinos al terreno contra iones alcalinotérreos para tender a acercarse a la dulce. El agua salada aumentará su dureza y el índice de cambio de bases se hará más positivo.

Lo que más delata la intrusión de agua marina es la rápida elevación del contenido del ión cloruro. Disponer de índices que permitan identificar el agua marina es difícil, puesto que hay aguas saladas y salmueras que no tienen relación con el agua marina actual y pueden parecerse en su composición química.

El agua de mar tiene como característica interesante su bajo contenido en ion bicarbonato. La relación Cl/HCO_3 se emplea como un índice cuya rápida elevación puede traducirse en signo de intrusión de agua marina. El alto valor de la relación Mg/Ca (≈ 5) y el bajo valor para las aguas dulces (0.2 a 1) es también un posible índice.

La relación entre los iones disueltos en el agua puede guardar cierta relación con el medio de donde procede el agua. Es frecuente designar a estas relaciones con el nombre de índices hidrogeoquímicos. Algunos de ellos son:

a) Mg/Ca

En las aguas continentales varía entre 0.3 y 1.5, los valores próximos a uno indican la posible influencia de terrenos dolomíticos o con serpentina, y los valores superiores a 1 generalmente están relacionados con silicatos magnésicos como los gabros y basaltos. Sin embargo, es preciso actuar con gran precaución ya que cuando se produce una precipitación de CO_3Ca en el agua aumenta la relación Mg/Ca sin que ello indique nada sobre los terrenos atravesados.

Como el agua de mar tiene una Mg/Ca alrededor de 5, las aguas que circulan por terrenos de formación marina o que han sufrido mezcla con el agua de mar tienen también una relación muy elevada. Una elevación del contenido en cloruros y de la relación Mg/Ca puede ser un buen indicio de contaminación marina.

En los procesos de intercambio iónico que producen ablandamiento del agua, el Ca^{2+} es más fijado que el Mg^{2+} y también aumenta la relación, pero no puede tomarse como una regla general, ya que depende de la proporción inicial entre esos iones. En los procesos de reducción de sulfatos suele crecer la relación Mg/Ca , en especial si el contenido del ion

sulfato que reducido a unas pocas ppm, pero la presencia simultánea de cambio iónico $Mg^{2+} \leftrightarrow Ca^{2+}$ puede permitir que la precipitación posible de CO_3Ca se realice a expensas del Mg^{2+} .

b) K/Na

En aguas dulces puede variar entre 0.001 y 1 siendo lo más frecuente que varíe entre 0.004 y 0.3, mientras que para el agua marina está entre 0.02 y 0.025. Debido a la fijación preferente de K en el medio esta relación es menor en el agua que la roca origen tanto menor cuanto más concentrada en sales está el agua.

En general, es una relación de utilidad limitada, si existen aportes artificiales de K, se puede seguir su disminución en el sentido del flujo y la relación puede ser de interés.

c) Cl/HCO₃

El agua de mar tiene como característica interesante su bajo contenido del ión bicarbonato. En virtud de que el contenido de HCO₃ es un valor relativamente constante en las aguas subterráneas al relacionarlo con el contenido de cloro, se puede definir un indicador de la concentración de sales en el sentido del flujo subterráneo. Un incremento rápido de la relación Cl/HCO₃ puede estar relacionado con la intrusión del agua marina. En aguas continentales alcanza valores de 0.1 a 5.0 y para aguas de mar varía de 20 a 50. Si el incremento de cloruros es debido a concentración de sales en zonas de regadío, la relación crece mucho menos para el mismo incremento en cloruros que cuando se produce por intrusión marina.

Si existen fenómenos de reducción de sulfatos o aportes exteriores de CO₂ puede aumentar el contenido de HCO₃ y en este caso no conviene utilizar esta relación si no se toman precauciones. La precipitación de CO_3Ca también puede influir.

d) SO₄/Cl

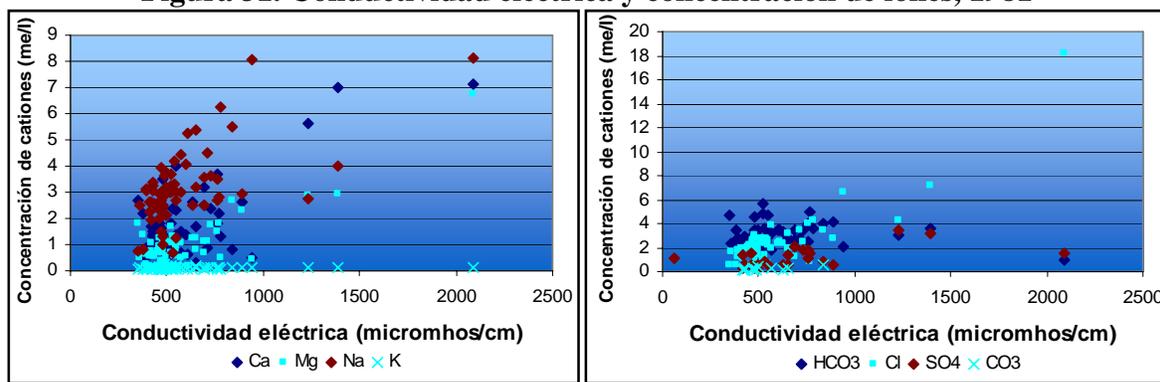
En aguas algo salinas el contenido del ión SO₄ tiende a ser constante y entonces tiene un interés similar al de la relación Cl/HCO₃, no siendo de utilidad cuando se produce

reducción de sulfatos. En aguas poco salinas la relación SO_4/Cl puede ser similar a la de la roca acuífera y su valor se mantiene aproximadamente constante al irse concentrando el agua. Cuando satura el ion sulfato la relación deja de ser útil en este sentido, aunque esto sucede cuando la salinidad es muy elevada.

Resultados

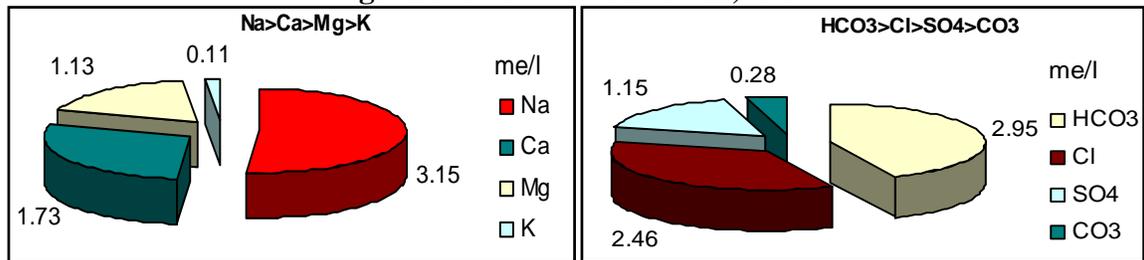
Con el fin de conocer la evolución de la calidad del agua de los pozos se analizó el contenido de los diferentes iones en aguas muestreadas en 1981, 2007 y 2008. El número de pozos muestreados en 1981 fue de 55, 63 para 2007 y 57 para 2008. Los valores de 1981 corresponden a los reportados por INEGI en la carta de Aguas Subterráneas, y los de 2007 y 2008 a los proporcionados por el Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 31. Conductividad eléctrica y concentración de iones, 1981



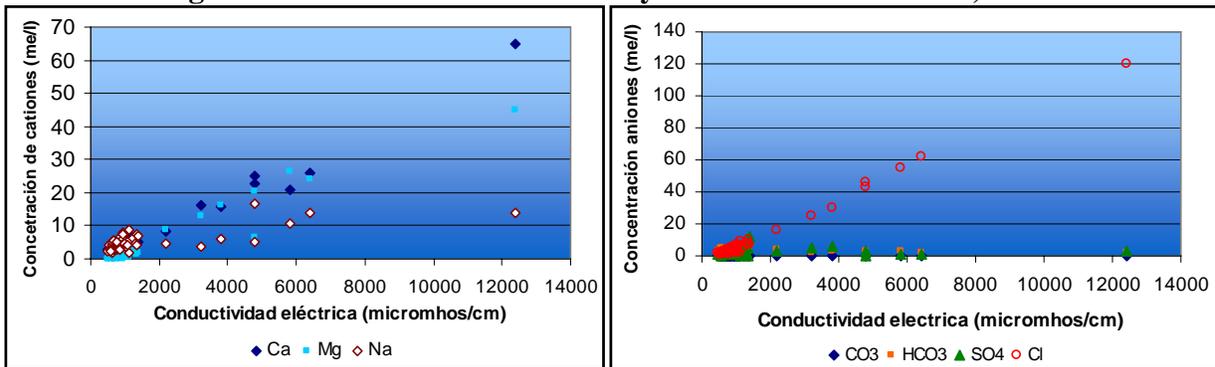
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 32. Dominancia iónica, 1981



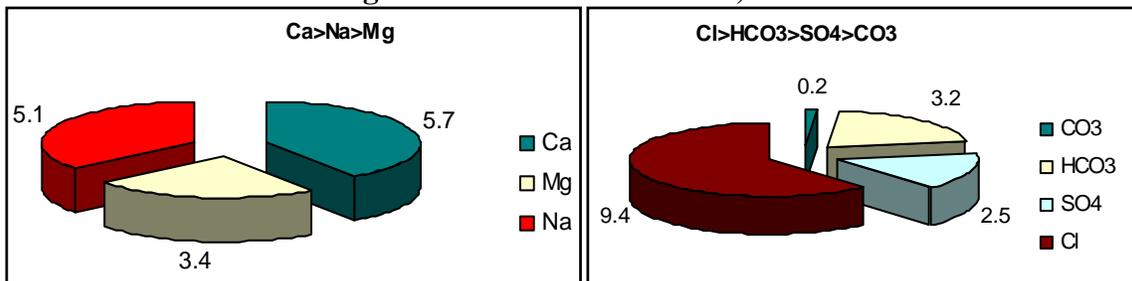
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 33. Conductividad eléctrica y concentración de iones, 2007



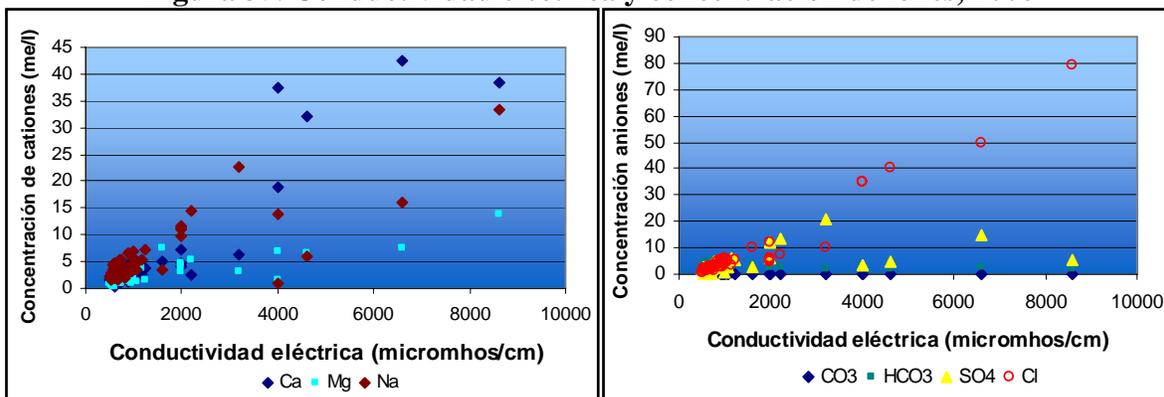
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 34. Dominancia iónica, 2007



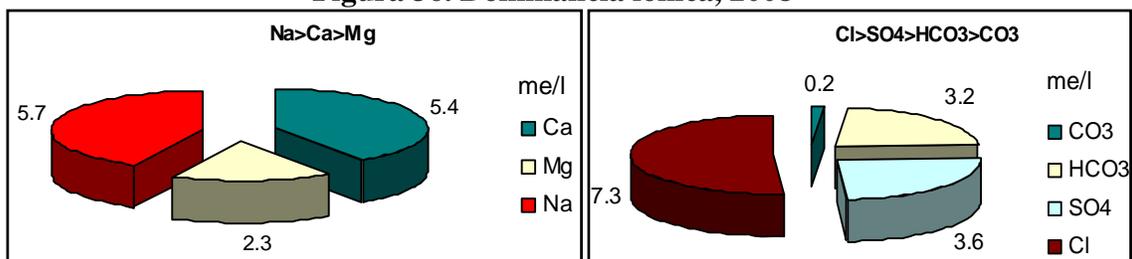
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 35. Conductividad eléctrica y concentración de iones, 2008



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 36. Dominancia iónica, 2008

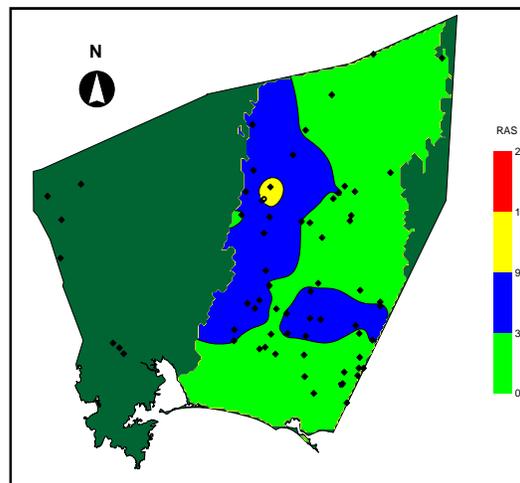
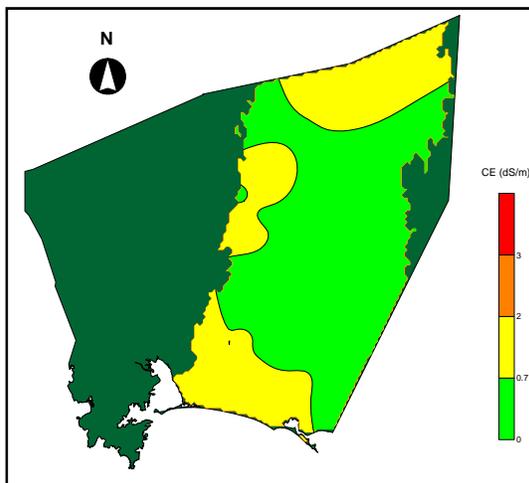


Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 37. Delimitación de zonas según la CE y el RAS, 1981

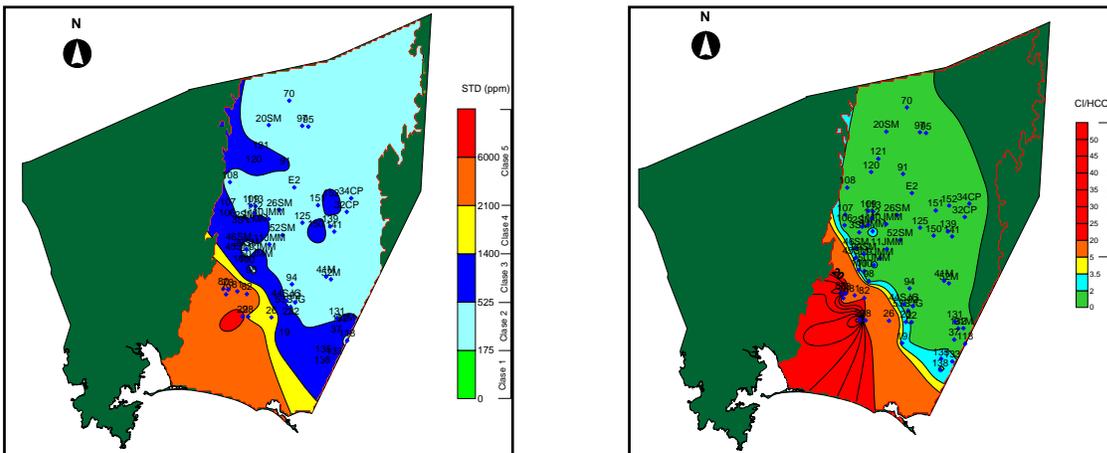
a) CE

b) RAS



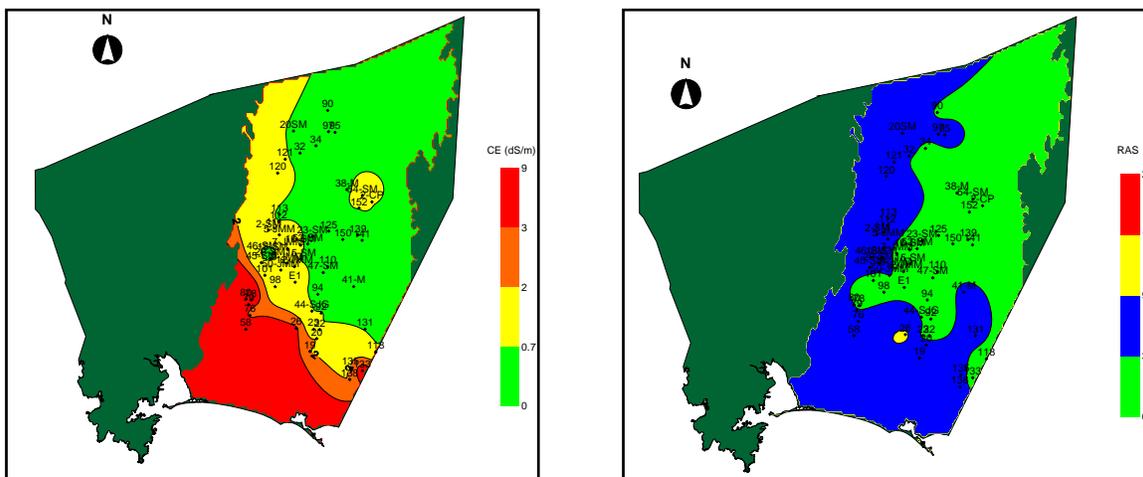
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 40. Delimitación de zonas según clases de agua y Cl/HCO₃, 2007
 a) Scofield b) Cl/HCO₃



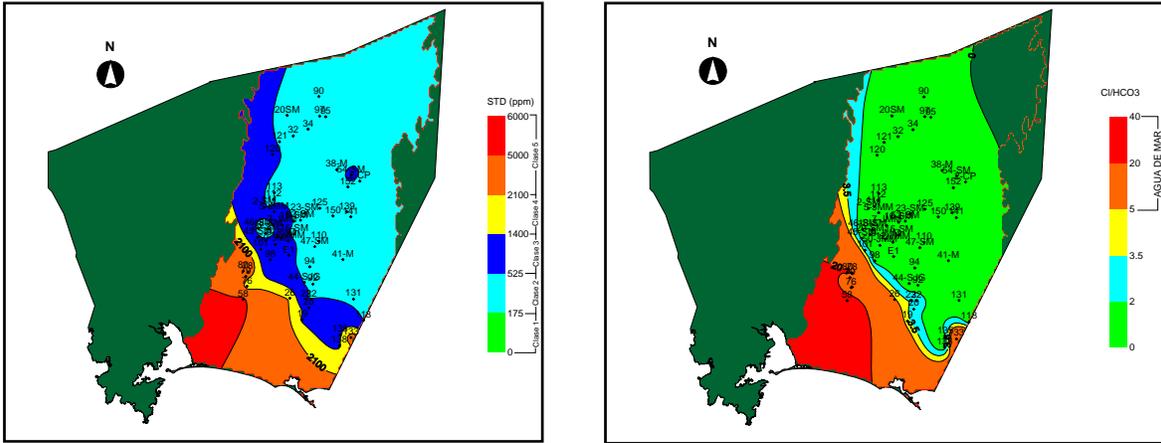
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 41 Delimitación de zonas según la CE y el RAS, 2008
 a) CE b) RAS



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 42 Delimitación de zonas según clases de agua y Cl/HCO_3 , 2008
 a) Scofield b) Cl/HCO_3



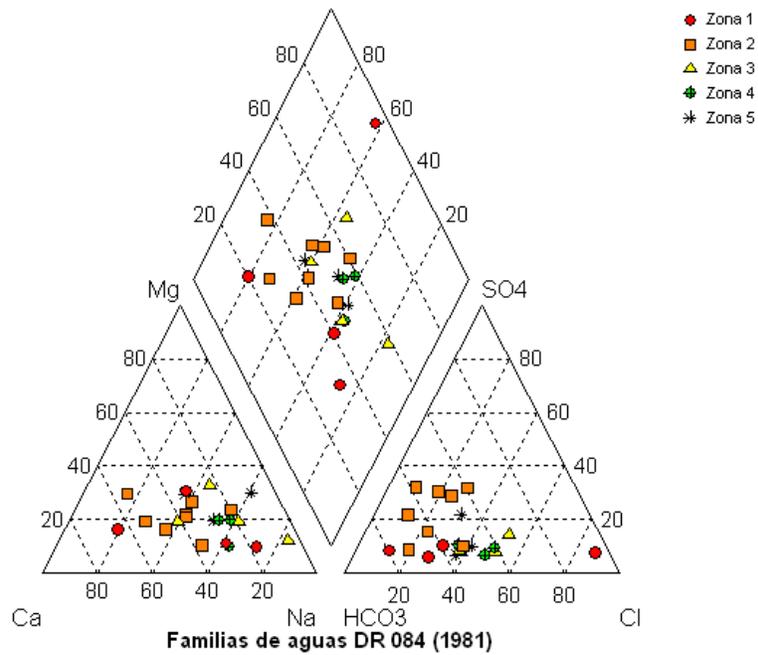
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 43. Clasificación del agua según el ILRI (1977)
 a) 2007 b) 2008



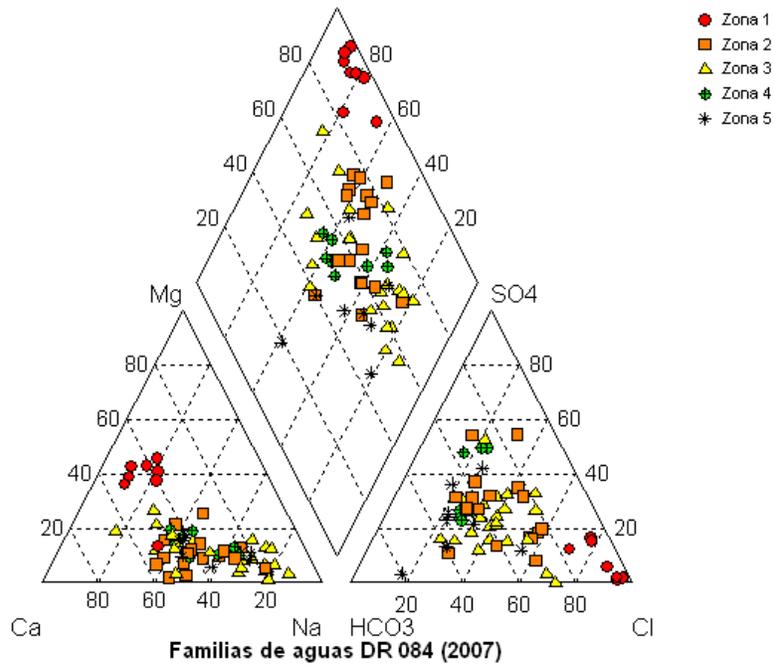
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 44. Familias de aguas según el triángulo de Piper, 1981



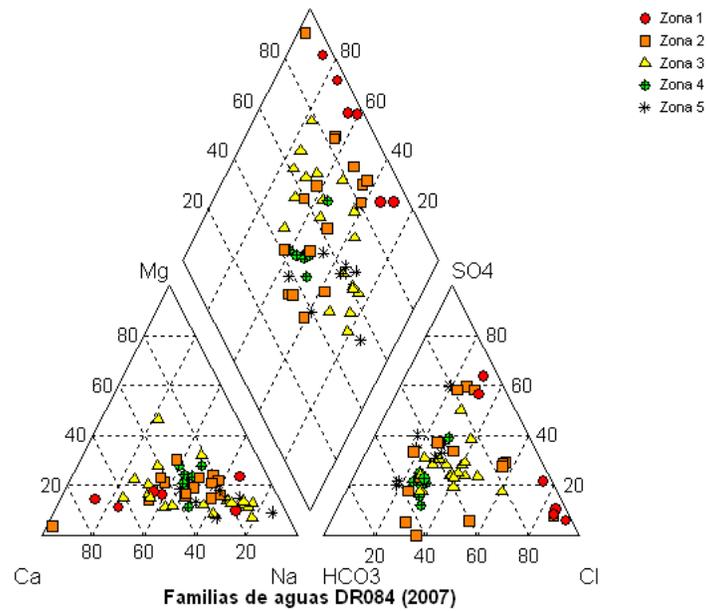
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 45. Familias de aguas según el triángulo de Piper, 2007



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

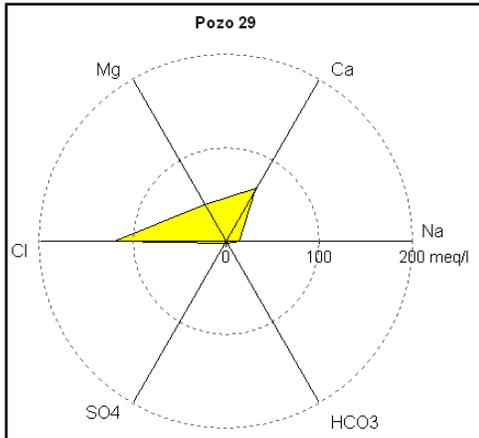
Figura 46. Familias de aguas según el triángulo de Piper, 2008



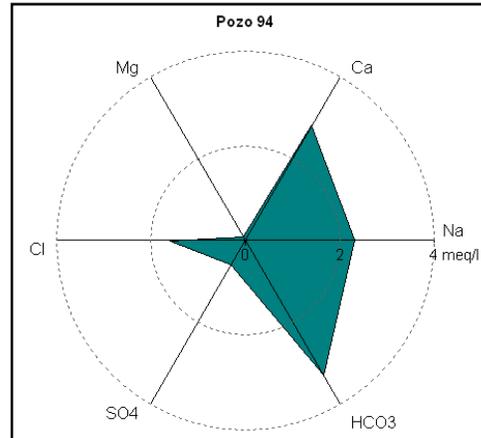
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 47. Valores extremos de la CE en el agua, 2007

a) CE 12.4 dS/m



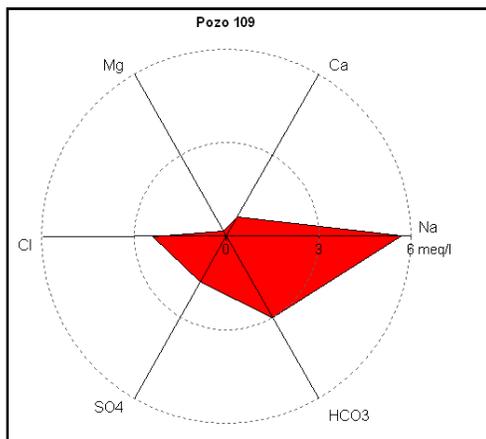
b) CE 0.48 dS/m



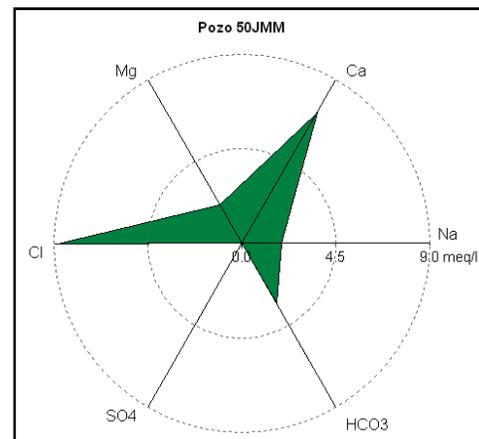
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 48. Valores extremos de la RAS, 2007

a) RAS 8.5 (me/l)^{1/2}



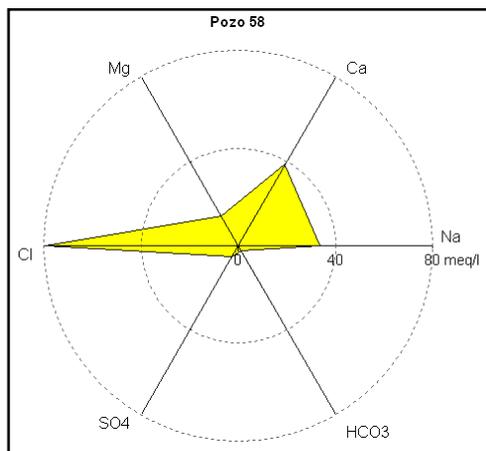
b) RAS 0.9(me/l)^{1/2}



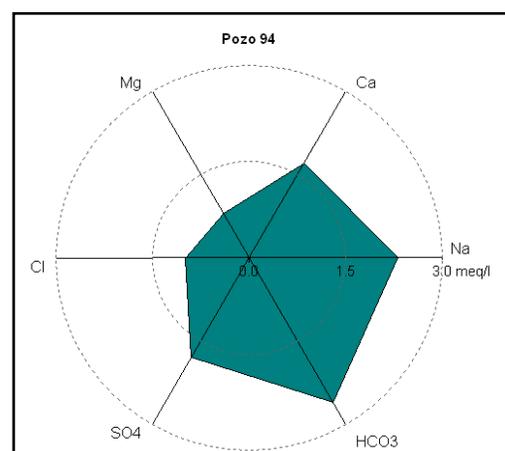
Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 49. Valores extremos de la CE en el agua, 2008

a) CE 8.6 dS/m



b) CE 0.48 dS/m

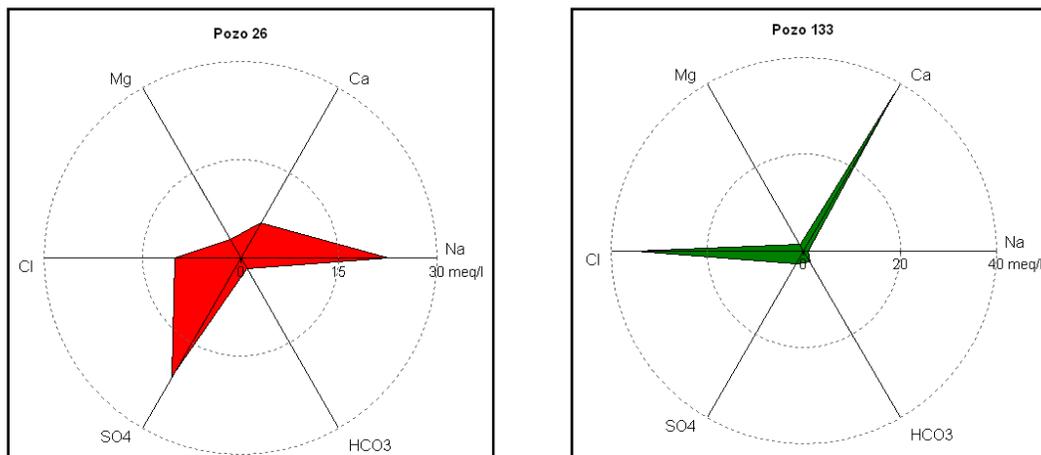


Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Figura 50. Valores extremos de la RAS, 2008

a) RAS 10.4 (me/l)^{1/2}

b) RAS 0.2 (me/l)^{1/2}



Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Cuadro 14. Resultados de análisis de laboratorio de muestras de agua de pozo, 1981

Pozo	UTM X	UTM Y	CE*	pH	Ca (me/l)	Mg (me/l)	Na (me/l)	K (me/l)	SO ₄ (me/l)	HCO ₃ (me/l)	CO ₃ (me/l)	Cl (me/l)
9	535677.21	3095754.87	530	8.3	2.40	1.34	0.66	0.06	0.87	3.60		1.35
10	543857.73	3095432.85	690	8.5	3.20	1.15	2.52	0.09	2.10	3.50		1.30
14	543725.89	3093903.23	420	8.1	1.70	1.03	1.93	0.04	1.31	2.15		1.10
15	544407.97	3093866.89	350	8.2	2.70	1.82	0.76	0.08		4.65		0.60
19	541349.22	3091648.79	520	8.2	0.60	1.68	3.67	0.05		4.80		1.00
189	528097.65	3128835.56	570	8.4	0.70	0.53	4.43	0.13		3.20	0.30	1.90
191	535904.03	3128038.59	650	8.1	1.70	1.25	3.21	0.17	1.32	2.80		1.90
195	534058.70	3124479.90	710	8.3	0.90	1.10	4.50	0.12		2.70		3.50
201	548374.92	3121932.37	550	8.2	2.30	0.84	2.70	0.14		3.40		2.60
202	502863.65	3120297.16	470	8.2	1.50	2.10	1.53	0.13		2.60	0.20	1.80
203	541647.05	3120000.02	480	8.1	1.20	0.90	2.46	0.08	0.26	2.10		2.20
205	527092.30	3119188.09	650	8.3	0.30	0.84	5.36	0.13	0.53	2.60	0.30	3.20
206	540748.79	3119034.25	430	8.1	1.40	0.54	3.22	0.06	0.53	2.50	0.20	1.70
207	543152.07	3119208.12	470	8.0	1.40	0.88	2.66	0.11		2.20		2.50
209	497949.03	3118545.44	550	8.2	1.40	0.99	2.99	0.17		2.90		2.20
210	539983.08	3118215.95	450	8.0	1.10	0.76	2.37	0.08		2.00		2.15
213	526467.20	3115889.16	760	8.2	1.80	2.64	3.52	0.04	1.05	2.50		4.00
214	542611.19	3115785.95	500	8.0	1.20	1.08	3.21	0.11	0.53	2.20		2.70
216	530610.07	3115586.59	610	8.5	0.60	0.17	5.24	0.05		3.40		2.50
217	499997.60	3115180.70	510	8.9	1.10	1.05	3.01	0.15		2.60		2.40
218	535299.20	3114927.11	420	8.2	0.80	0.78	2.61	0.14	0.26	2.15	0.20	1.50
219	536525.59	3114738.58	630	8.4	2.60	1.23	2.48	0.08	0.53	3.30	0.20	2.30
220	542426.27	3115005.75	480	8.0	1.40	1.10	2.52	0.07		2.10		3.00
223	538334.32	3112611.05	500	8.5	2.10	1.15	2.12	0.05		2.70	0.40	2.00
228	499843.23	3109672.93	490	8.4	0.80	0.35	3.65	0.22		2.60	0.20	1.90
231	530031.26	3107890.47	600	8.3	1.40	0.55	4.04	0.11		3.45		2.30
232	530555.02	3105706.55	460	8.2	1.00	0.94	2.61	0.11		2.50		2.00
233	537753.91	3106069.99	440	7.9	1.20	0.56	2.57	0.10		2.40		2.10
235	543921.13	3105058.58	410	8.1	0.90	0.71	2.26	0.11		2.25		1.50
236	536631.55	3104897.44	430	8.1	1.30	0.56	3.08	0.11		2.95	0.20	1.90
238	529114.29	3103623.87	470	8.3	0.80	0.40	3.91	0.04		2.90	0.30	1.60
239	546875.11	3103373.83	460	8.0	1.00	1.22	2.92	0.14	0.53	2.60		1.90
241	527338.47	3103155.86	540	8.2	0.70	0.55	4.18	0.11		2.50		2.70
242	528414.94	3102457.81	500	8.2	0.90	0.54	3.78	0.08	0.26	3.40		1.40
243	546861.44	3102767.77	360	8.1	0.70	0.51	2.47	0.11		2.30		1.65
244	531586.15	3102385.09	470	8.1	1.60	0.96	2.36	0.11		2.80		1.90
245	533128.11	3101701.58	430	8.3	1.50	0.63	3.35	0.11	0.53	2.90	0.30	1.50
247	536565.14	3101027.91	390	8.0	0.90	0.63	3.12	0.11		2.70		1.80
249	538107.11	3100853.39	390	8.3	0.50	0.25	3.09	0.09		2.70		1.30
251	543267.42	3099972.82	470	8.1	0.90	0.68	2.97	0.11		2.10		2.60
253	525417.31	3099383.76	540	8.4	1.00	0.71	3.32	0.11		2.80		2.30
254	530804.59	3098759.22	480	8.2	1.30	0.83	2.84	0.09		2.25		2.80
255	533233.92	3098861.02	480	8.0	1.10	0.69	2.98	0.11		2.10		2.95
256	543777.48	3098832.37	570	8.0	1.50	1.09	2.98	0.12		1.80		3.80
257	535939.63	3098482.91	520	8.0	1.00	0.68	3.03	0.11		2.10		2.70
258	545714.45	3097918.14	410	8.1	0.80	0.55	2.61	0.11		2.10		2.00
260	507572.64	3097476.86	500	8.3	0.60	0.29	3.73	0.14		2.80		1.80
6	509150.37	3095955.52	1390	8.4	7.00	2.91	3.97	0.14	3.15	3.55		7.20
16	541578.58	3093290.95	480	8.2	2.50	0.93	1.34	0.17	0.43	3.45		0.90
17	535759.50	3092648.10	770	8.5	2.20	1.83	2.82	0.11	1.57	4.90		0.85
18	543555.80	3092811.53	460	8.2	1.80	0.96	1.99	0.08	1.57	2.90		0.50
20	537095.32	3090261.16	690	8.4	2.50	0.70	3.57	0.10	2.11	2.65		1.90
166	545865.85	3138954.69	760	8.1	3.70	1.50	2.66	0.10	1.84	4.00		1.80
167	555970.47	3138378.37	730	8.1	2.40	1.74	3.63	0.14	1.84	3.50		2.50
182	539757.22	3133099.96	890	8.0	2.60	2.34	2.92	0.15	0.53	4.20		2.80
200	528253.36	3122273.17	840	8.4	0.80	2.69	5.51	0.15	0.79	4.05	0.60	3.40
204	530711.81	3119867.32	940	8.2	0.50	0.45	8.06	0.11		2.05		6.60
222	529751.48	3113224.36	780	8.5	1.30	0.49	6.24	0.08		3.60		4.30
259	525358.93	3097798.92	2090	7.7	7.10	6.73	8.14	0.15	1.58	1.00		18.25
1	529935.77	3096887.57	550	8.1	4.00	0.96	1.23	0.08	0.53	4.70		0.70
2	508520.92	3096788.30	1230	7.8	5.60	2.89	2.73	0.15	3.42	3.10		4.30
4	529120.84	3096636.89	480	8.2	3.50	0.90	1.03	0.08		4.60		0.80
7	531462.75	3095904.00	520	8.0	1.80	1.04	3.25	0.16		5.60		0.60
23	541953.03	3088880.33	380	8.3	2.20	1.35	0.83	0.06		3.50		0.60
	Máximo		2,090.0	8.9	7.1	6.7	8.1	0.2	3.4	5.6	0.6	18.3
	Mínimo		350.0	7.7	0.3	0.2	0.7	0.0	0.3	1.0	0.2	0.5
	Media		588.9	8.2	1.7	1.1	3.1	0.1	1.2	3.0	0.3	2.5
	Variancia		71,638.5	0.0	1.9	0.9	2.0	0.0	0.7	0.8	0.0	5.5
	Desv est		267.7	0.2	1.4	0.9	1.4	0.0	0.9	0.9	0.1	2.3

*Micromohos/cm

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Cuadro 15. Clasificación del agua, 1981

Pozo	UTM X	UTM Y	STD (mg/l)	SCOFIELD	USDA	RAS	CEar	CEar y RAS	Mg/Ca	Cl/HCO3
9	535677.21	3095754.87	339.2	2	C2-S1	0.5	Ninguna	Ligera a moderada	0.6	0.4
10	543857.73	3095432.85	441.6	2	C2-S1	1.7	Ligera a moderada	Ligera a moderada	0.4	0.4
14	543725.89	3093903.23	268.8	2	C2-S1	1.7	Ninguna	Ligera a moderada	0.6	0.5
15	544407.97	3093866.89	224	2	C2-S1	0.5	Ninguna	Ligera a moderada	0.7	0.1
19	541349.22	3091648.79	332.8	2	C2-S1	3.4	Ninguna	Ligera a moderada	2.8	0.2
189	528097.65	3128835.56	364.8	2	C2-S1	5.7	Ninguna	Ligera a moderada	0.8	0.6
191	535904.03	3128038.59	416	2	C2-S1	2.6	Ligera a moderada	Ligera a moderada	0.7	0.7
195	534058.70	3124479.90	454.4	2	C2-S1	4.5	Ligera a moderada	Ligera a moderada	1.2	1.3
201	548374.92	3121932.37	352	2	C2-S1	2.2	Ninguna	Ligera a moderada	0.4	0.8
202	502863.65	3120297.16	300.8	2	C2-S1	1.1	Ninguna	Ligera a moderada	1.4	0.7
203	541647.05	3120000.02	307.2	2	C2-S1	2.4	Ninguna	Ligera a moderada	0.8	1.0
205	527092.30	3119188.09	416	2	C2-S1	7.1	Ligera a moderada	Ligera a moderada	2.8	1.2
206	540748.79	3119034.25	275.2	2	C2-S1	3.3	Ninguna	Ligera a moderada	0.4	0.7
207	543152.07	3119208.12	300.8	2	C2-S1	2.5	Ninguna	Ligera a moderada	0.6	1.1
209	497949.03	3118545.44	352	2	C2-S1	2.7	Ninguna	Ligera a moderada	0.7	0.8
210	539983.08	3118215.95	288	2	C2-S1	2.5	Ninguna	Ligera a moderada	0.7	1.1
213	526467.20	3115889.16	486.4	2	C3-S1	2.4	Ligera a moderada	Ligera a moderada	1.5	1.6
214	542611.19	3115785.95	320	2	C2-S1	3.0	Ninguna	Ligera a moderada	0.9	1.2
216	530610.07	3115586.59	390.4	2	C2-S1	8.5	Ninguna	Ligera a moderada	0.3	0.7
217	499997.60	3115180.70	326.4	2	C2-S1	2.9	Ninguna	Ligera a moderada	1.0	0.9
218	535299.20	3114927.11	268.8	2	C2-S1	2.9	Ninguna	Ligera a moderada	1.0	0.7
219	536525.59	3114738.58	403.2	2	C2-S1	1.8	Ninguna	Ligera a moderada	0.5	0.7
220	542426.27	3115005.75	307.2	2	C2-S1	2.3	Ninguna	Ligera a moderada	0.8	1.4
223	538334.32	3112611.05	320	2	C2-S1	1.7	Ninguna	Ligera a moderada	0.5	0.7
228	499843.23	3109672.93	313.6	2	C2-S1	4.8	Ninguna	Ligera a moderada	0.4	0.7
231	530031.26	3107890.47	384	2	C2-S1	4.1	Ninguna	Ligera a moderada	0.4	0.7
232	530555.02	3105706.55	294.4	2	C2-S1	2.6	Ninguna	Ligera a moderada	0.9	0.8
233	537753.91	3106069.99	281.6	2	C2-S1	2.7	Ninguna	Ligera a moderada	0.5	0.9
235	543921.13	3105058.58	262.4	2	C2-S1	2.5	Ninguna	Ligera a moderada	0.8	0.7
236	536631.55	3104897.44	275.2	2	C2-S1	3.2	Ninguna	Ligera a moderada	0.4	0.6
238	529114.29	3103623.87	300.8	2	C2-S1	5.0	Ninguna	Ligera a moderada	0.5	0.6
239	546875.11	3103373.83	294.4	2	C2-S1	2.8	Ninguna	Ligera a moderada	1.2	0.7
241	527338.47	3103155.86	345.6	2	C2-S1	5.3	Ninguna	Ligera a moderada	0.8	1.1
242	528414.94	3102457.81	320	2	C2-S1	4.5	Ninguna	Ligera a moderada	0.6	0.4
243	546861.44	3102767.77	230.4	2	C2-S1	3.2	Ninguna	Ligera a moderada	0.7	0.7
244	531586.15	3102385.09	300.8	2	C2-S1	2.1	Ninguna	Ligera a moderada	0.6	0.7
245	533128.11	3101701.58	275.2	2	C2-S1	3.2	Ninguna	Ligera a moderada	0.4	0.5
247	536565.14	3101027.91	249.6	2	C2-S1	3.6	Ninguna	Ligera a moderada	0.7	0.7
249	538107.11	3100853.39	249.6	2	C2-S1	5.1	Ninguna	Ligera a moderada	0.5	0.5
251	543267.42	3099972.82	300.8	2	C2-S1	3.3	Ninguna	Ligera a moderada	0.8	1.2
253	525417.31	3099383.76	345.6	2	C2-S1	3.6	Ninguna	Ligera a moderada	0.7	0.8
254	530804.59	3098759.22	307.2	2	C2-S1	2.8	Ninguna	Ligera a moderada	0.6	1.2
255	533233.92	3098861.02	307.2	2	C2-S1	3.2	Ninguna	Ligera a moderada	0.6	1.4
256	543777.48	3098832.37	364.8	2	C2-S1	2.6	Ninguna	Ligera a moderada	0.7	2.1
257	535939.63	3098482.91	332.8	2	C2-S1	3.3	Ninguna	Ligera a moderada	0.7	1.3
258	545714.45	3097918.14	262.4	2	C2-S1	3.2	Ninguna	Ligera a moderada	0.7	1.0
260	507572.64	3097476.86	320	2	C2-S1	5.6	Ninguna	Ligera a moderada	0.5	0.6
6	509150.37	3095955.52	889.6	3	C3-S1	1.8	Ligera a moderada	Ninguna	0.4	2.0
16	541578.58	3093290.95	307.2	2	C2-S1	1.0	Ninguna	Ligera a moderada	0.4	0.3
17	535759.50	3092648.10	492.8	2	C3-S1	2.0	Ligera a moderada	Ninguna	0.8	0.2
18	543555.80	3092811.53	294.4	2	C2-S1	1.7	Ninguna	Ligera a moderada	0.5	0.2
20	537095.32	3090261.16	441.6	2	C2-S1	2.8	Ligera a moderada	Ligera a moderada	0.3	0.7
166	545865.85	3138954.69	486.4	2	C3-S1	1.7	Ninguna	Ninguna	0.4	0.5
167	555970.47	3138378.37	467.2	2	C2-S1	2.5	Ligera a moderada	Ligera a moderada	0.7	0.7
182	539757.22	3133099.96	569.6	3	C3-S1	1.9	Ligera a moderada	Ninguna	0.9	0.7
200	528253.36	3122273.17	537.6	3	C3-S1	4.2	Ligera a moderada	Ligera a moderada	3.4	0.8
204	530711.81	3119867.32	601.6	3	C3-S3	11.7	Ligera a moderada	Ligera a moderada	0.9	3.2
222	529751.48	3113224.36	499.2	2	C3-S2	6.6	Ligera a moderada	Ligera a moderada	0.4	1.2
259	525358.93	3097798.92	1337.6	3	C3-S1	3.1	Ligera a moderada	Ninguna	0.9	18.3
1	529935.77	3096887.57	352	2	C2-S1	0.8	Ninguna	Ligera a moderada	0.2	0.1
2	508520.92	3096788.30	787.2	3	C3-S1	1.3	Ligera a moderada	Ninguna	0.5	1.4
4	529120.84	3096636.89	307.2	2	C2-S1	0.7	Ninguna	Ligera a moderada	0.3	0.2
7	531462.75	3095904.00	332.8	2	C2-S1	2.7	Ninguna	Ligera a moderada	0.6	0.1
23	541953.03	3088880.33	243.2	2	C2-S1	0.6	Ninguna	Ligera a moderada	0.6	0.2
	Máximo		1,337.6	3.0		11.7			3.4	18.3
	Mínimo		224.0	2.0		0.5			0.2	0.1
	Media		376.9	2.1		3.1			0.8	1.1
	Variancia		29,343.1	0.1		3.7			0.3	5.0
	Desv est		171.3	0.3		1.9			0.6	2.2

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Cuadro 16. Resultados de análisis de laboratorio de muestras de agua de pozo, 2007

POZO	XUTM (m)	YUTM (m)	ZONA	CE*	pH	Ca (me/l)	Mg (me/l)	Na (me/l)	SUMACAT	CO3 (me/l)	HCO3 (me/l)	SO4 (me/l)	Cl (me/l)	SUMAAN
E2	537269	3118502	5	520		1.9	0.3	3	5.2	0.3	3.1	1.5	1.3	6.2
9JMM	532432	3108557	3	880	7.72	4.1	1.1	3.6	8.8	0.1	3.1	2.6	4	9.8
5JMM	531320	3112671	3	1360	8.19	4.7	1.5	7.4	13.6	0.2	2.6	4.7	7.1	14.6
53SJG	536706	3100583	2	740	7.82	3.5	0.2	3.7	7.4	0.2	3.4	1.1	3.7	8.4
52SM	535462	3111352	3	580	7.86	2.6	1	2.2	5.8	0.3	3.6	1	1.9	6.8
52M	542884	3104747	2	680	8.07	2	0.8	4	6.8	0.3	3.5	2.3	2.7	8.8
50JMM	531523	3107539	3	1120	7.63	7.2	2.1	1.9	11.2	0.1	3.3	0	8.8	12.2
46SM	528813	3110086	3	960	7.72	1.8	0.1	7.7	9.6	0.3	2.7	5.4	2.2	10.6
45SM	528706	3108630	3	980		2.6	0.5	6.7	9.8	0.3	2.2	2.8	5.5	10.8
44SJG	536070	3101549	2	680	7.73	2.6	0.6	3.6	6.8	0.3	2.6	2.4	2.5	7.8
41M	542135	3105138	2	780	8.14	2.1	0.7	5	7.8	0.2	3.2	3.2	2.2	8.8
3SM	529282	3112524	3	820	8.15	1	1	6.2	8.2	0.3	2.5	2.9	3.5	9.2
34CP	545964	3116883	4	540		2.3	0.5	2.6	5.4	0.3	3	1.4	1.7	6.4
32CP	545276	3114851	4	780	8.15	2.5	0.8	4.5	7.8	0.2	3.1	4.1	1.4	8.8
31M	545085	3097918	2	1120	8.16	2	0.6	8.6	11.2	0.2	3.6	6.5	1.9	12.2
2SM	529751	3113357	3	940	7.96	1.3	1.2	6.9	9.4	0.2	3	1.6	5.6	10.4
29SM	529971	3109241	3	640	8.11	1.1	1	4.3	6.4	0.4	3	1.1	2.9	7.4
26SM	535022	3115161	3	560	8.01	2.5	0.8	2.3	5.6	0.3	3.8	1	1.5	6.6
20SM	533380	3127847	5	520		0.9	0.2	4.1	5.2	0.5	3.1	1.3	1.3	6.2
11JMM	533482	3109970	3	640	7.99	3	1.7	1.7	6.4	0.3	3.4	1.3	2.4	7.4
10JMM	533372	3113769	3	780	8.06	4.2	0.9	2.7	7.8	0.2	4.2	1	3.4	8.8
152	542914	3116579	4	1000	7.8	2.5	1	6.5	10	0.3	3.1	5.3	2.3	11
151	540878	3115850	4	720	7.9	3.2	1.4	2.6	7.2	0.3	3.6	2.1	2.2	8.2
150	540566	3112010	4	1000	7.74	2.5	1.3	6.2	10	0.5	2.8	5.2	2.5	11
141	543362	3111893	4	720	7.87	3.3	1	2.9	7.2	0.2	3.5	2.1	2.4	8.2
139	542761	3112668	4	720	7.91	3	1.2	3	7.2	0.1	3.3	1.6	1.8	6.8
138	541562	3091566	2	1200	7.68	3.9	3.3	5.8	13	0.1	3	4.5	5.4	13
135	541705	3093278	2	1400	7.74	5.1	2	6.9	14	0.1	3	11.9	7	22
133	543384	3092867	2	1280	7.81	6.2	2	4.6	12.8	0.2	3.3	2.5	7.8	13.8
132	544298	3097885	2	1080	7.83	4.5	2.3	4	10.8	0.2	3.3	1.9	6.4	11.8
131	543791	3098915	2	720	8	2.3	0.7	4.2	7.2	0.2	3.3	2.5	2.2	8.2
125	538517	3113231	4	680	8.03	2.5	1.3	3	6.8	0.3	3.6	2	1.9	7.8
121	532181	3123705	5	920	7.98	2.2	1	6	9.2	0.2	4.6	3.6	1.8	10.2
120	531091	3121697	5	960	7.83	2.1	0.8	6.7	9.6	0.3	4.7	2.2	3.4	10.6
118	545347	3095562	2	620	8.12	1.4	0.8	4	6.2	0.2	3.3	2.2	1.5	7.2
113	531359	3115683	3	640	8.21	0.9	0.4	5.1	6.4	0.3	3.2	2.2	1.7	7.4
112	531221	3114621	3	760	7.9	1.9	0.6	5.1	7.6	0.3	3	2	3.3	8.6
111	530618	3113652	3	820	7.92	1.7	0.7	5.8	8.2	0.2	3.4	1.9	3.7	9.2
109	530668	3115779	3	660	8.02	0.7	0.2	5.7	6.6	0.5	3	1.7	2.4	7.6
108	527465	3119315	3	660	8.21	1.3	0.5	5.7	7.5	0.2	3	1.5	2.9	7.6
107	527160	3115221	3	940	8.04	2.5	0.3	6	8.8	0.2	3.3	3.2	3.7	10.4
106	527050	3113597	3	940	7.96	1.7	0.4	7.3	9.4	0.3	3.9	2.9	3.3	10.4
101	529214	3106789	3	1360	7.73	6.6	2.9	4.1	13.6	0.3	4.4	0.5	10.4	15.6
100	530055	3106611	3	840	7.84	3.2	1.3	3.9	8.4	0.2	3.4	1.4	4.4	9.4
98	530730	3105112	3	880	7.6	4.6	0.3	4.2	9.1	0.2	3.6	2.1	3.9	9.8
97	538483	3127737	5	620	7.78	2.8	0.6	2.8	6.2	0.3	4.1	0.9	1.9	7.2
95	539415	3127633	5	740	8.08	1.5	0.8	5.1	7.4	0.3	2.6	3.4	2.1	8.4
94	536921	3104004	2	480	7.97	2.8	0.1	2.3	5.2	0.3	3.3	0.6	1.6	5.8
92	537424	3101274	2	560	7.88	2.4	0.6	2.6	5.6	0.4	2.8	1.7	1.7	6.6
91	535928	3121412	5	860	7.84	2.7	1.1	2.8	6.6	0.3	3.1	1.1	5.1	9.6
82	530043	3102526	1	5800	7.32	21	26.5	10.5	58	0.1	2.7	1.2	55	59
81	528591	3102933	1	4800	7.45	25	6.5	16.5	48	0.1	3	2.9	43	49
80	526478	3103322	1	6400	7.4	26	24	14	64	0.2	1.6	1.2	62	65
79	526873	3102494	1	3800	7.5	15.6	16.4	6	38	0.2	2.6	6	30.2	39
78	527195	3103192	1	4800	7.38	22.5	20.5	5	48	0.1	2.4	0.5	46	49
70	536510	3131516	5	580	7.85	2.5	0.9	2.4	5.8	0.2	5.3	0.2	1.1	6.8
37	543683	3096194	2	1080	7.8	4.4	1.3	5.1	10.8	0.1	2.7	3.7	5.3	11.8
29	529381	3099169	1	12400	7.3	65	45	14	124	0.1	2.2	2.7	120	125
28	530242	3099137	1	2200	7.58	8.4	9	4.6	22	0.3	3.7	2.8	16.2	23
26	533798	3099049	1	3200	7.6	16.2	12.8	3.8	32.8	0.2	2.2	5.4	25.2	33
23	536333	3098880	2	1040	7.64	5.8	0.7	3.9	10.4	0.2	3.4	0.9	6.9	11.4
22	537215	3098850	2	980	7.76	4.5	0.7	4.6	9.8	0.3	2.9	1.7	5.9	10.8
19	535794	3095664	2	1080	7.7	5.6	1	4.2	10.8	0.2	2.6	2.3	6.7	11.8
	Máximo			12,400.0	8.21	65	45	16.5	124	0.5	5.3	11.9	120	125
	Mínimo			480.0	7.3	0.7	0.1	1.7	5.2	0.1	1.6	0	1.1	5.8
	Media			1,421.6	7.8	5.7	3.4	5.1	14.2	0.2	3.2	2.5	9.4	15.3
	Variancia			3,520,326.5	0.1	90.0	58.5	8.0	352.6	0.0	0.4	3.6	361.6	352.9
	Desv est			1,876.3	0.2	9.5	7.6	2.8	18.8	0.1	0.6	1.9	19.0	18.8

Cuadro 17. Clasificación del agua, 2007

POZO	XUTM	YUTM	ZONA	STD (mg/l)	SCOFIELD	ILRI	FAMILIA	USDA	RAS	CEar	CEar y RAS	SE	SP	CSR	PSP	Clasificación*	Mg/Ca	ClHCO3	SO4/Cl
E2	537269	3118502	5	332.8	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	2.9	Ninguna	Ligera a moderada	4.0	2.1	1.2	75	Condicionada	0.2	0.4	1.2
9JMM	532432	3108557	3	563.2	3	2	Cloruro-Sódica	C2 S1	2.2	Ligera a moderada	Ninguna	5.7	5.3	-2.0	63	Condicionada	0.3	1.3	0.7
5JMM	531320	3112671	3	870.4	3	2	Cloruro-Sódica	C2 S1	4.2	Ligera a moderada	Ninguna	9.9	9.5	-3.4	75	Condicionada	0.3	2.7	0.7
53S.JG	536706	3105683	2	473.2	2	2	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	2.7	Ligera a moderada	Ninguna	4.8	4.3	-0.1	77	Condicionada	0.1	1.1	0.3
52SM	535462	3111352	3	371.2	2	1	Bicarbonato-Cálcica	C1 S1	1.6	Ninguna	Ligera a moderada	3.2	2.4	0.3	69	Condicionada	0.4	0.5	0.5
52M	542884	3104747	2	435.2	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	3.4	Ninguna	Ligera a moderada	6.0	3.9	1.0	67	Condicionada	0.4	0.8	0.9
50JMM	531523	3107539	3	716.8	3	3	Cloruro-Cálcica	C2 S1	0.9	Ligera a moderada	Ninguna	8.8	8.8	-5.9	22	Condicionada	0.3	2.7	0.0
46SM	528813	3110066	3	614.4	3	1	Sulfato-Sódica	C2 S2	7.9	Ligera a moderada	Ligera a moderada	8.7	4.9	1.1	89	Condicionada	0.1	0.8	2.5
45SM	528706	3108630	3	627.2	3	2	Cloruro-Sódica	C2 S1	5.4	Ligera a moderada	Ligera a moderada	8.2	6.9	-0.6	82	Condicionada	0.2	2.5	0.5
44S.JG	536070	3101549	2	435.2	2	2	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	2.8	Ninguna	Ligera a moderada	4.9	3.7	-0.3	73	Condicionada	0.2	1.0	1.0
41M	542135	3105138	2	499.2	2	1	Bicarbonato-Sódica	C2 S1	4.2	Ligera a moderada	Ligera a moderada	6.0	3.8	0.6	83	Condicionada	0.3	0.7	1.5
35M	529282	3112524	3	524.8	2	1	Cloruro-Sódica	C2 S2	6.2	Ligera a moderada	Ligera a moderada	7.2	5.0	0.8	86	Condicionada	1.0	1.4	0.8
34CP	545964	3116883	4	345.6	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	2.2	Ninguna	Ligera a moderada	3.6	2.4	0.5	72	Condicionada	0.2	0.6	0.8
32CP	545276	3114851	4	499.2	2	1	Sulfato-Sódica	C2 S1	3.5	Ligera a moderada	Ligera a moderada	5.5	3.5	0.0	82	Condicionada	0.3	0.5	2.9
31M	545085	3097918	2	716.8	3	1	Sulfato-Sódica	C2 S1	7.5	Ligera a moderada	Ligera a moderada	9.6	5.2	1.2	90	Condicionada	0.3	0.5	3.4
25M	529751	3113357	3	601.6	3	1	Cloruro-Sódica	C2 S2	6.2	Ligera a moderada	Ligera a moderada	7.9	6.4	0.7	87	Condicionada	0.9	1.9	0.3
28SM	529971	3109241	3	409.6	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	4.2	Ninguna	Ligera a moderada	5.3	3.5	1.3	81	Condicionada	0.9	1.0	0.4
26SM	535022	3115161	3	358.4	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	1.8	Ninguna	Ligera a moderada	3.3	2.0	0.8	70	Condicionada	0.3	0.4	0.7
20SM	533380	3127847	5	332.8	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	5.5	Ninguna	Ligera a moderada	5.1	2.0	2.5	80	Condicionada	0.2	0.4	1.0
11JMM	533482	3109970	3	409.6	2	2	Bicarbonato-Cálcica	C1 S1	1.1	Ninguna	Ligera a moderada	3.7	3.1	-1.0	46	Condicionada	0.6	0.7	0.5
10JMM	533372	3113769	3	499.2	2	2	Carbonato-Cálcica	C2 S1	1.7	Ligera a moderada	Ninguna	4.4	3.9	-0.7	61	Condicionada	0.2	0.8	0.3
152	542914	3116579	4	640.0	3	2	Sulfato-Sódica	C2 S1	4.9	Ligera a moderada	Ligera a moderada	7.6	5.0	-0.1	86	Condicionada	0.4	0.7	2.3
151	540878	3115850	4	460.8	2	2	Bicarbonato-Cálcica	C1 S1	1.7	Ligera a moderada	Ligera a moderada	4.3	3.3	-0.7	60	Condicionada	0.4	0.6	1.0
150	540566	3112010	4	640.0	3	2	Sulfato-Sódica	C2 S1	4.5	Ligera a moderada	Ligera a moderada	7.7	5.1	-0.5	81	Condicionada	0.5	0.9	2.1
141	543352	3111893	4	460.8	2	2	Bicarbonato-Cálcica	C1 S1	2.0	Ligera a moderada	Ligera a moderada	4.5	3.5	-0.6	64	Condicionada	0.3	0.7	0.9
139	542761	3112688	4	460.8	2	2	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	2.1	Ligera a moderada	Ligera a moderada	3.4	2.6	-0.8	88	Condicionada	0.4	0.5	0.9
138	541562	3091566	2	768.0	3	2	Cloruro-Sódica	C2 S1	3.1	Ligera a moderada	Ligera a moderada	8.1	7.7	-4.1	64	Condicionada	0.8	1.8	0.8
135	541705	3093278	2	896.0	3	2	Sulfato-Sódica	C2 S1	3.7	Ligera a moderada	Ninguna	16.9	13.0	-4.0	41	No recomendable	0.4	2.3	1.7
133	543384	3092867	2	819.2	3	3	Cloruro-Cálcica	C2 S1	2.3	Ligera a moderada	Ninguna	7.8	9.1	-4.7	59	Condicionada	0.3	2.4	0.3
132	544298	3097885	2	691.2	3	2	Cloruro-Cálcica	C2 S1	2.3	Ligera a moderada	Ninguna	7.3	7.4	-3.3	55	Condicionada	0.5	1.9	0.3
131	543791	3098915	2	460.8	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	3.4	Ligera a moderada	Ligera a moderada	5.2	3.5	0.5	81	Condicionada	0.3	0.7	1.1
125	538517	3113231	4	435.2	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	2.2	Ninguna	Ligera a moderada	4.0	2.9	0.1	75	Condicionada	0.5	0.5	1.1
121	532181	3123705	5	588.8	3	1	Bicarbonato-Sódica	C2 S1	4.7	Ligera a moderada	Ligera a moderada	7.0	3.6	1.6	86	Condicionada	0.5	0.4	2.0
120	531091	3121697	5	614.4	3	1	Bicarbonato-Sódica	C2 S2	5.6	Ligera a moderada	Ligera a moderada	7.7	4.5	2.1	87	Condicionada	0.4	0.7	0.6
118	545347	3095652	2	396.8	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	3.8	Ninguna	Ligera a moderada	5.0	2.6	1.3	80	Condicionada	0.6	0.5	1.5
113	531359	3115683	3	409.6	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	6.3	Ninguna	Ligera a moderada	6.1	2.8	2.2	84	Condicionada	0.4	0.5	1.3
112	531221	3114621	3	486.4	2	1	Cloruro-Sódica	C2 S1	4.6	Ligera a moderada	Ligera a moderada	6.1	4.3	0.8	84	Condicionada	0.3	1.1	0.6
111	530618	3113652	3	524.8	2	1	Cloruro-Sódica	C2 S1	5.5	Ligera a moderada	Ligera a moderada	6.8	4.7	1.2	85	Condicionada	0.4	1.1	0.5
109	530668	3115779	3	422.4	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	8.5	Ninguna	Ligera a moderada	6.7	3.3	2.6	85	Condicionada	0.3	0.8	0.7
108	527465	3119315	3	422.4	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	6.0	Ninguna	Ligera a moderada	5.8	3.7	1.4	96	Condicionada	0.4	1.0	0.5
107	527160	3115221	3	601.6	3	1	Cloruro-Sódica	C2 S1	5.1	Ligera a moderada	Ligera a moderada	7.6	5.3	0.7	79	Condicionada	0.1	1.1	0.9
106	527090	3113597	3	601.6	3	1	Bicarbonato-Sódica	C2 S1	7.1	Ligera a moderada	Ligera a moderada	8.3	4.8	2.1	88	Condicionada	0.2	0.8	0.9
101	529214	3106789	3	870.4	3	3	Cloruro-Cálcica	C2 S1	1.9	Ligera a moderada	Ninguna	10.4	10.7	-4.8	39	Condicionada	0.4	2.4	0.0
100	530055	3106611	3	537.6	3	2	Bicarbonato-Sódica	C2 S1	2.6	Ligera a moderada	Ninguna	5.8	5.1	-0.9	67	Condicionada	0.4	1.3	0.3
98	530730	3105112	3	563.2	3	2	Cloruro-Cálcica	C2 S1	2.7	Ligera a moderada	Ninguna	5.2	5.0	-1.1	81	Condicionada	0.1	1.1	0.5
97	538483	3127737	5	396.8	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	2.1	Ninguna	Ligera a moderada	3.8	2.4	1.0	74	Condicionada	0.2	0.5	0.5
95	539415	3127633	5	473.2	2	1	Sulfato-Sódico	C1 S1	4.8	Severa	Ligera a moderada	6.1	3.8	0.6	84	Condicionada	0.5	0.8	1.6
94	536921	3104004	2	307.2	2	1	Bicarbonato-Cálcica	C1 S1	1.9	Ninguna	Ligera a moderada	2.9	1.9	0.7	79	Condicionada	0.0	0.5	0.4
92	537424	3101274	2	358.4	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	2.1	Ninguna	Ligera a moderada	3.6	2.6	0.2	72	Condicionada	0.3	0.6	1.0
91	536928	3121412	5	550.4	3	2	Cloruro-Sódico	C2 S1	2.0	Ligera a moderada	Ninguna	6.2	5.7	-0.4	45	Condicionada	0.4	1.6	0.2
82	530043	3102526	1	3,712.0	5	3	Cloruro-Cálcica	FC	2.2	Severa	Ninguna	55.0	55.6	-44.7	19	No recomendable	1.3	20.4	0.0
81	528591	3102933	1	3,072.0	5	3	Cloruro-Cálcica	C5 S1	4.2	Severa	Ninguna	43.0	44.5	-28.4	38	No recomendable	0.3	14.3	0.1
80	526478	3103322	1	4,096.0	5	3	Cloruro-Cálcica	FC	2.8	Severa	Ninguna	62.0	62.6	-48.2	29	No recomendable	0.9	38.8	0.0
79	526873	3102494	1	2,432.0	5	3	Cloruro-Cálcica	C4 S1	1.5	Severa	Ninguna	30.2	33.2	-29.2	20	No recomendable	1.1	11.6	0.2
78	527195	3103192	1	3,072.0	5	3	Cloruro-Cálcica	C5 S1	1.1	Severa	Ninguna	46.0	46.3	-40.5	11	No recomendable	0.9	19.2	0.0
70	536510	3131516	5	371.2	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	1.8	Ninguna	Ligera a moderada	3.4	1.2	2.1	71	Condicionada	0.4	0.2	0.2
57	543683	3096194	2	691.2	3	2	Cloruro-Sódica	C2 S1	3.0	Ligera a moderada	Ninguna	7.4	7.2	-2.9	69	Condicionada	0.3	2.0	0.7
29	529381	3099169	1	7,936.0	5	3	Cloruro-Cálcica	FC	1.9	Severa	Ninguna	120.0	121.4	-107.7	12	No recomendable	0.7	54.5	0.0
28	530242	3099137	1	1,408.0	4	3	Cloruro-Cálcica	C3 S1	1.6	Ligera a moderada	Ninguna	16.2	17.6	-13.4	28	No recomendable	1.1	4.4	0.2
26	533798	3099049	1	2,048.0	4	3	Cloruro-Cálcica	C4 S1	1.0	Severa	Ninguna	25.2	27.9	-26.6	15	No recomendable	0.8	11.5	0.2
23	536333	3098880	2	865.6	3	3	Cloruro-Cálcica	C2 S1	2.2	Ligera a moderada	Ninguna	6.9	7.4	-2.9	57	Condicionada	0.1	2.0	0.1
22	537215	3098850	2	627.2	3	2	Cloruro-Sódica	C2 S1	2.9	Ligera a moderada	Ninguna	6.3	6.8	-2.0	75	Condicionada	0.2	2.0	0.3
19	536794	3095604	2	691.2	3	3	Cloruro-Cálcica	C2 S1	2.3	Ligera a moderada	Ninguna	6.7	7.9	-3.8	63	Condicionada	0.2	2.6	0.3
	Máximo			7,936.0					8.5			120.0	121.4	2.6	89.3		1.3	54.5	3.4
	Mínimo			307.2					0.9			2.9	1.2	-107.7	10.9		0.0	0.2	0.0
	Media			909.8					3.4			11.8	10.6	-5.7	66.3		0.4	3.7	0.8
	Variancia			1,441,925.7					3.4			334.8	362.3	295.4	505.8		0.1	80.0	0.5
	Dev est			1,200.6					1.9			18.3	19.0	17.2	22.5		0.3	8.9	0.7

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Cuadro 18. Resultados de análisis de laboratorio de muestras de agua de pozo, 2008

POZO	XUTM	YUTM	ZONA	CE*	pH	Ca (me/l)	Mg (me/l)	Na (me/l)	SUMACAT	CO3 (me/l)	HCO3 (me/l)	SO4 (me/l)	Cl (me/l)	SUMAAN
E1	533633	3105783	2	1,000	7.3	4.2	2.3	3.5	10.0	0.3	4.3	0.6	5.8	11.0
9-JMM	532432	3108557	3	1,000	7.4	4.3	1.2	4.5	10.0	0.1	4.1	2.5	4.3	11.0
7-JMM	532562	3110647	3	1,080	7.4	4.4	3.0	3.4	10.8	0.1	4.1	2.9	4.7	11.8
5-JMM	531320	3112671	3	1,240	7.4	3.8	1.5	7.1	12.4	0.1	3.1	5.1	5.1	13.4
54-SM	543412	3118436	4	960	7.4	3.3	2.0	4.3	9.6	0.4	3.2	4.0	3.0	10.6
52-SM	535462	3111352	3	600	7.5	3.0	1.0	2.0	6.0	0.1	3.7	1.2	2.0	7.0
50-JMM	531523	3107539	3	1,160	7.4	2.5	3.7	5.4	11.6	0.4	2.6	6.1	3.5	12.6
47-SM	537706	3107185	2	560	7.4	1.8	1.7	2.1	5.6	0.4	3.6	1.1	1.5	6.6
46-SM	528813	3110086	3	620	7.4	1.2	0.8	4.2	6.2	0.4	3.6	1.2	2.0	7.2
45-SM	528706	3108630	3	940	7.4	2.7	0.8	5.9	9.4	0.1	2.9	2.4	5.0	10.4
44-SJG	536070	3101549	2	740	7.4	2.0	1.7	3.7	7.4	0.1	5.3	0.0	3.0	8.4
41-M	542135	3105138	2	680	7.4	1.8	1.0	4.0	6.8	0.1	5.0	0.0	2.8	7.9
38-M	541163	3119302	4	620	7.5	2.3	0.7	3.2	6.2	0.1	3.9	1.1	2.1	7.2
2-SM	529751	3113357	3	900	7.4	1.3	1.2	6.5	9.0	0.1	3.9	3.0	3.0	10.0
2-CP	544786	3117489	4	720	7.4	1.7	2.0	3.5	7.2	0.3	3.9	1.8	2.2	8.2
29-SM	529971	3109241	3	640	7.5	1.3	0.9	4.2	6.4	0.1	2.9	1.4	3.0	7.4
23-SM	536149	3112477	3	540	7.5	2.6	1.1	1.7	5.4	0.4	2.6	1.7	1.7	6.4
20SM	533380	3127847	5	600	7.6	0.3	0.5	4.8	5.6	0.1	3.2	2.4	1.3	7.0
18-SM	530354	3110017	3	560	7.5	0.8	0.4	4.4	5.6	0.4	3.1	1.5	1.6	6.6
16-SM	534414	3111180	3	800	7.4	4.2	1.8	2.0	8.0	0.1	3.4	2.5	3.0	9.0
15-SM	534474	3109151	3	660	7.6	4.0	1.0	1.6	6.6	0.1	2.4	2.1	3.0	7.6
12-JMM	533517	3108044	3	1,080	7.3	5.0	1.2	4.6	10.8	0.1	3.9	2.8	5.1	11.9
152	542914	3116579	4	700	7.4	2.3	1.4	3.3	7.0	0.5	3.9	1.5	2.1	8.0
150	540566	3112010	4	680	7.4	2.3	1.3	3.2	6.8	0.1	3.8	1.6	2.3	7.8
141	543362	3111893	4	680	7.4	2.2	1.9	2.7	6.8	0.3	4.2	0.9	2.4	7.8
139	542761	3112668	4	680	7.5	2.0	1.6	3.2	6.8	0.2	3.8	1.9	1.9	7.8
138	541562	3091566	2	2,000	7.4	4.0	4.4	11.6	20.0	0.2	3.9	12.1	4.8	21.0
135	541705	3093278	2	2,000	7.4	4.2	4.8	11.0	20.0	0.3	3.0	12.3	5.4	21.0
133	543384	3092867	2	4,000	7.1	37.5	1.5	1.0	40.0	0.3	2.6	3.1	35.0	41.0
131	543791	3098915	2	680	7.4	1.5	1.1	4.2	6.8	0.1	3.9	1.8	2.0	7.8
130				940	7.4	3.3	2.8	3.3	9.4	0.1	3.6	2.6	4.1	10.4
125	538517	3113231	4	620	7.5	2.0	1.5	2.7	6.2	0.2	3.8	1.5	1.7	7.2
121	532181	3123705	5	760	7.4	1.7	1.5	4.4	7.6	0.4	1.7	4.9	1.6	8.6
120	531091	3121697	5	1,000	7.5	1.5	1.5	7.0	10.0	0.3	3.7	3.9	3.1	11.0
118	545347	3095562	2	800	7.4	3.3	1.7	3.0	8.0	0.1	2.9	3.0	3.0	9.0
113	531359	3115683	3	620	7.6	0.7	0.8	4.7	6.2	0.1	3.2	2.2	1.7	7.2
112	531221	3114621	3	720	7.4	1.0	0.8	5.4	7.2	0.3	3.0	1.9	3.0	8.2
111	530618	3113652	3	740	7.4	1.2	0.9	5.3	7.4	0.4	3.1	1.9	3.0	8.4
110	538368	3108039	2	520	7.4	1.7	1.0	2.5	5.2	0.4	3.8	0.3	1.7	6.2
101	529214	3106789	3	1,600	7.3	5.0	7.4	3.6	16.0	0.3	3.6	2.9	10.2	17.0
98	530730	3105112	3	800	7.3	4.0	1.2	2.8	8.0	0.4	2.6	2.5	3.5	9.0
97	538483	3127737	5	600	7.3	1.7	0.4	3.9	6.0	0.3	2.5	2.2	2.0	7.0
95	539415	3127633	5	620	7.3	1.3	0.9	4.0	6.2	0.1	2.9	2.2	2.0	7.2
94	536921	3104004	2	480	7.3	1.7	0.8	2.3	4.8	0.4	2.6	1.8	1.0	5.8
92	537424	3101274	2	740	6.9	2.3	1.4	3.7	7.4	0.3	3.0	3.0	2.1	8.4
90	538348	3130835	5	540	7.4	1.8	0.7	2.9	5.4	0.4	2.6	2.4	1.0	6.4
80	526478	3103322	1	6,600	6.7	42.5	7.5	16.0	66.0	0.1	2.4	14.5	50.0	67.0
79	526873	3102494	1	4,000	6.9	19.0	7.0	14.0	40.0	0.1	2.4	3.5	35.0	41.0
78	527195	3103192	1	4,600	6.8	32.0	6.5	6.0	44.5	0.1	2.0	4.9	40.0	47.0
76	527069	3100927	1	2,200	7.0	2.4	5.2	14.4	22.0	0.1	2.6	13.3	7.6	23.6
58	526457	3098880	1	8,600	6.9	38.5	14.0	33.5	86.0	0.1	2.2	5.2	79.5	87.0
34	536658	3125690	5	600	7.4	2.2	1.1	2.7	6.0	0.5	4.0	1.3	1.2	7.0
32	534327	3124610	5	560	7.4	1.2	1.0	3.4	5.6	0.1	3.9	1.4	1.2	6.6
26	533798	3099049	1	3,200	6.8	6.2	3.2	22.6	32.0	0.1	1.9	21.0	10.0	33.0
23	536333	3098880	2	920	7.0	4.7	1.3	3.2	9.2	0.4	1.6	2.7	5.5	10.2
22	537215	3098850	2	840	7.3	4.0	1.5	2.9	8.4	0.4	1.4	2.6	5.0	9.4
20	536773	3097542	2	2,000	7.3	4.6	4.2	11.2	20.0	0.2	2.5	12.1	6.2	21.0
19	535794	3095664	2	2,000	7.3	7.2	3.2	9.6	20.0	0.1	3.0	6.1	11.8	21.0
	Máximo			8,600	7.6	42.5	14.0	33.5	86.0	0.5	5.3	21.0	79.5	87.0
	Mínimo			480	6.7	0.3	0.4	1.0	4.8	0.1	1.4	0.0	1.0	5.8
	Media			1,333.4	7.3	5.4	2.3	5.7	13.3	0.2	3.2	3.6	7.3	14.3
	Variancia			2,257,352.8	0.0	85.8	5.6	29.7	224.2	0.0	0.6	16.0	187.9	225.9
	Devst			1,502.4	0.2	9.3	2.4	5.4	15.0	0.1	0.8	4.0	13.7	15.0

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

Cuadro 19. Clasificación del agua, 2008

POZO	XUTM	YUTM	ZONA	STD (mg/l)	SCOFIELD	ILRI	FAMILIA	USDA	RAS	CEar	CEar y RAS	SE	SP	CSR	PSP	Clasificación'	Mg/Ca	Cl/CO3	SO4/Cl
E1	533633	3105783	2	640.0	3	2	Carbonato-Cálcica	C2 S1	1.9	Ligera a moderada	Ninguna	6.4	6.1	-1.9	54.7	Condicionada	0.5	1.3	0.1
9-JMM	532432	3108557	3	640.0	3	2	Carbonato-Sódica	C2 S1	2.7	Ligera a moderada	Ninguna	6.7	5.6	-1.3	67.2	Condicionada	0.3	1.0	0.6
7-JMM	532562	3110647	3	691.2	3	2	Carbonato-Cálcica	C2 S1	1.8	Ligera a moderada	Ninguna	7.4	6.2	-3.2	45.9	Condicionada	0.7	1.1	0.6
5-JMM	531320	3112671	3	793.6	3	2	Sulfato-Sódica	C2 S1	4.4	Ligera a moderada	Ninguna	9.6	7.7	-2.1	74.0	Condicionada	0.4	1.6	1.0
54-SM	543412	3118436	4	614.4	3	2	Carbonato-Sódica	C2 S1	2.6	Ligera a moderada	Ninguna	7.0	5.0	-1.7	61.4	Condicionada	0.6	0.9	1.3
52-SM	535462	3111352	3	384.0	2	2	Carbonato-Cálcica	C1 S1	1.4	Ninguna	Ligera a moderada	3.2	2.6	-0.2	62.5	Condicionada	0.3	0.5	0.6
50-JMM	531523	3107539	3	742.4	3	2	Sulfato-Sódica	C2 S1	3.1	Ligera a moderada	Ligera a moderada	9.6	6.6	-3.2	56.3	Condicionada	1.5	1.3	1.7
47-SM	537706	3107185	2	358.4	2	2	Carbonato-Sódica	C1 S1	1.6	Ninguna	Ligera a moderada	3.1	2.1	0.5	67.7	Condicionada	0.9	0.4	0.7
46-SM	528813	3110086	3	396.8	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	4.2	Ninguna	Ligera a moderada	5.2	2.6	2.0	80.8	Condicionada	0.7	0.6	0.6
45-SM	528706	3108630	3	601.6	3	2	Cloruro-Sódica	C2 S2	4.5	Ligera a moderada	Ligera a moderada	7.4	6.2	-0.5	79.7	Condicionada	0.3	1.7	0.5
44-SJG	536070	3101549	2	473.6	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	2.7	Ligera a moderada	Ligera a moderada	4.7	3.0	1.7	78.7	Condicionada	0.9	0.6	0.0
41-M	542135	3105138	2	435.2	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	3.4	Ninguna	Ligera a moderada	5.1	2.8	2.3	78.4	Condicionada	0.6	0.6	0.0
38-M	541163	3119302	4	396.8	2	1	Carbonato-Sódica	C2 S1	2.6	Ninguna	Ligera a moderada	4.2	2.7	1.0	76.2	Condicionada	0.3	0.5	0.5
2-SM	529751	3113357	3	576.0	3	1	Carbonato-Sódica	C2 S1	5.8	Ligera a moderada	Ligera a moderada	7.5	4.5	1.5	86.7	Condicionada	0.9	0.8	1.0
2-CP	544786	3117489	4	460.8	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	2.6	Ligera a moderada	Ninguna	4.5	3.1	0.5	77.8	Condicionada	1.2	0.6	0.8
29-SM	529971	3109241	3	409.6	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	4.0	Ninguna	Ligera a moderada	5.2	3.7	0.8	80.8	Condicionada	0.7	1.0	0.5
23-SM	536149	3112477	3	345.6	2	2	Carbonato-Cálcica	C1 S1	1.2	Ninguna	Ligera a moderada	3.4	2.6	-0.7	50.0	Condicionada	0.4	0.7	1.0
20SM	533380	3127847	5	384.0	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	7.6	Ninguna	Ligera a moderada	6.2	2.5	2.5	77.4	Condicionada	1.7	0.4	1.8
18-SM	530354	3110017	3	358.4	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	5.7	Ninguna	Ligera a moderada	5.4	2.4	2.3	81.5	Condicionada	0.5	0.5	0.9
16-SM	534414	3111180	3	512.0	2	2	Carbonato-Cálcica	C1 S1	1.2	Ligera a moderada	Ninguna	4.8	4.3	-2.5	41.7	Condicionada	0.4	0.9	0.8
15-SM	534474	3109151	3	422.4	2	3	Carbonato-Cálcica	C1 S1	1.0	Ninguna	Ligera a moderada	3.6	4.1	-2.5	44.4	Condicionada	0.3	1.3	0.7
12-JMM	533517	3108044	3	691.2	3	2	Carbonato-Sódica	C2 S1	2.6	Ligera a moderada	Ninguna	6.9	6.5	-2.2	66.7	Condicionada	0.2	1.3	0.5
152	542914	3116579	4	448.0	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	2.4	Ninguna	Ligera a moderada	4.3	2.9	0.7	76.7	Condicionada	0.6	0.5	0.7
150	540566	3112010	4	435.2	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	2.4	Ninguna	Ligera a moderada	4.2	3.1	0.3	76.2	Condicionada	0.6	0.6	0.7
141	543362	3111893	4	435.2	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	1.9	Ninguna	Ligera a moderada	3.7	2.9	0.4	73.0	Condicionada	0.9	0.6	0.4
139	542761	3112658	4	435.2	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	2.4	Ninguna	Ligera a moderada	4.2	2.9	0.4	76.2	Condicionada	0.8	0.5	1.0
138	541562	3091566	2	1,280.0	3	2	Sulfato-Sódica	C3S2	5.7	Ligera a moderada	Ninguna	16.9	10.9	-4.3	68.6	No recomendada	1.1	1.2	2.5
135	541705	3093278	2	1,280.0	3	2	Sulfato-Sódica	C3 S2	5.2	Ligera a moderada	Ninguna	16.8	11.6	-5.7	65.5	No recomendada	1.1	1.8	2.3
133	543384	3092867	2	2,560.0	5	3	Cloruro-Cálcica	C5 S1	0.2	Severa	Ninguna	35.0	36.6	-36.1	2.9	No recomendada	0.0	13.5	0.1
131	543791	3098915	2	435.2	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	3.7	Ninguna	Ligera a moderada	5.2	2.9	1.4	80.8	Condicionada	0.7	0.5	0.9
130				601.6	3	2	Carbonato-Sódica	C2 S1	1.9	Ligera a moderada	Ninguna	6.7	5.4	-2.4	49.3	Condicionada	0.8	1.1	0.6
125	538517	3113231	4	396.8	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	2.0	Ninguna	Ligera a moderada	3.7	2.5	0.5	73.0	Condicionada	0.8	0.4	0.9
121	532181	3123705	5	486.4	2	2	Sulfato-Sódica	C2 S1	3.5	Ligera a moderada	Ligera a moderada	6.5	4.1	-1.1	67.7	Condicionada	0.9	0.9	3.1
120	531091	3121697	5	640.0	3	1	Carbonato-Sódica	C2 S1	5.7	Ligera a moderada	Ligera a moderada	8.0	5.1	1.0	87.5	Condicionada	1.0	0.8	1.3
118	545347	3095562	2	512.0	2	2	Carbonato-Sódica	CE-S1	1.9	Ligera a moderada	Ninguna	5.7	4.5	-2.0	52.6	Condicionada	0.5	1.0	1.0
113	531359	3115683	3	396.8	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S2	5.4	Ninguna	Ligera a moderada	5.7	2.8	1.8	82.5	Condicionada	1.1	0.5	1.3
112	531221	3114621	3	460.8	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S2	5.7	Ligera a moderada	Ligera a moderada	6.4	4.0	1.5	84.4	Condicionada	0.8	1.0	0.6
111	530618	3113652	3	473.6	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S2	5.2	Ligera a moderada	Ligera a moderada	6.3	4.0	1.4	84.1	Condicionada	0.8	1.0	0.6
110	530368	3108039	2	332.8	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	2.2	Ninguna	Ligera a moderada	3.5	1.9	1.5	71.4	Condicionada	0.6	0.4	0.2
101	529214	3106789	3	1,024.0	3	3	Cloruro-Cálcica	C3 S1	1.4	Ligera a moderada	Ninguna	12.0	11.7	-8.5	30.0	Condicionada	1.5	2.8	0.3
98	530730	3105112	3	512.0	2	2	Carbonato-Cálcica	C2 S1	1.7	Ligera a moderada	Ninguna	5.0	4.8	-2.2	56.0	Condicionada	0.3	1.3	0.7
97	538483	3127737	5	384.0	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	3.8	Ninguna	Ligera a moderada	4.9	3.1	0.7	79.6	Condicionada	0.2	0.8	1.1
95	539415	3127633	5	396.8	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	3.8	Ninguna	Ligera a moderada	5.0	3.1	0.8	80.0	Condicionada	0.7	0.7	1.1
94	536921	3104004	2	307.2	2	1	Bicarbonato-Sódica	C1 S1	2.1	Ninguna	Ligera a moderada	3.3	1.9	0.5	69.7	Condicionada	0.5	0.4	1.8
92	537424	3101274	2	473.6	2	2	Carbonato-Sódica	C2 S1	2.7	Ligera a moderada	Ninguna	5.1	3.6	-0.4	72.5	Condicionada	0.6	0.7	1.4
90	538348	3130835	5	345.6	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	2.6	Ninguna	Ligera a moderada	3.9	2.2	0.5	74.4	Condicionada	0.4	0.4	2.4
80	526478	3103322	1	4,224.0	5	3	Cloruro-Cálcica	FC	3.2	Severa	Ninguna	50.0	57.3	-47.5	32.0	No recomendada	0.2	20.8	0.3
79	526873	3102494	1	2,560.0	5	3	Cloruro-Cálcica	C5 S1	3.9	Severa	Ninguna	35.0	36.8	-23.5	40.0	No recomendada	0.4	14.6	0.1
78	527195	3103192	1	2,944.0	5	3	Cloruro-Cálcica	C5 S1	1.4	Severa	Ninguna	40.0	42.5	-36.4	15.0	No recomendada	0.2	20.0	0.1
76	527069	3100927	1	1,408.0	4	2	Sulfato-Sódica	C4S2	7.4	Ligera a moderada	Ninguna	20.9	14.3	-4.9	68.9	No recomendada	2.2	2.9	1.8
58	526457	3098880	1	5,504.0	5	3	Cloruro-Cálcica	FC	6.5	Severa	Ninguna	79.5	82.1	-50.2	42.1	No recomendada	0.4	36.1	0.1
34	536658	3125690	5	384.0	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	2.1	Ninguna	Ligera a moderada	3.7	1.9	1.2	73.0	Condicionada	0.5	0.3	1.1
32	534327	3124610	5	358.4	2	1	Carbonato-Sódica	C1 S1	3.2	Ninguna	Ligera a moderada	4.4	1.9	1.8	77.3	Condicionada	0.8	0.3	1.2
26	533798	3099049	1	2,048.0	4	2	Sulfato-Sódica	C4 S3	10.4	Severa	Ninguna	26.8	20.5	-7.4	84.3	No recomendada	0.5	5.3	2.1
23	536333	3098880	2	588.8	3	3	Cloruro-Cálcica	C2 S1	1.8	Ligera a moderada	Ninguna	5.5	6.9	-4.0	58.2	Condicionada	0.3	3.4	0.5
22	537215	3098850	2	537.6	3	3	Cloruro-cálcica	C2 S1	1.7	Ligera a moderada	Ninguna	5.4	6.3	-3.7	53.7	Condicionada	0.4	3.6	0.5
20	536773	3097542	2	1,280.0	3	2	Sulfato-Sódica	C3-S2	5.3	Ligera a moderada	Ninguna	16.4	12.3	-6.1	68.3	No recomendada	0.9	2.5	2.0
19	535794	3095664	2	1,280.0	3	3	Cloruro-sódica	C3-S1	4.2	Ligera a moderada	Ninguna	13.8	14.9	-7.3	69.6	Condicionada	0.4	3.9	0.5
Máximo				5,504					10.4			79.5	82.1	2.5	87.5		2.2	36.1	3.1
Mínimo				307					0.2			3.1	1.9	-50.2	2.9		0.0	0.3	0.0
Media				853.4					3.7			10.5	9.1	-4.2	65.6		0.7	2.9	0.9
Variancia				924,611.7					3.4			179.2	208.4	129.2	319.2		0.2	38.2	0.5
Desv est				961.6					1.9			13.4	14.4	11.4	17.9		0.4	6.2	0.7

Fuente: Distrito de Riego 084 Valle de Guaymas.

V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En 1981 en la concentración de sales dominaban los bicarbonatos sobre los cloruros, sulfatos y carbonatos en el caso de los aniones y el sodio tenía dominancia sobre calcio y magnesio en el caso de los cationes.

Para 2008 los análisis de agua en laboratorio, manifiestan que los cloruros son dominantes sobre los sulfatos, bicarbonatos y carbonatos, y el sodio es dominante sobre el calcio y magnesio, siendo más representativos estos parámetros en las zonas 1 y 2, localizadas en la parte suroeste y sureste del distrito de riego.

Estos valores medios en el agua indican un incremento en el contenido de sales en las aguas, un cambio de régimen físico-químico de las aguas de alcalino a neutro y un incremento en la concentración de sodio y cloro.

A principios de los años 60 y hasta 1985 la tendencia de la intrusión salina se manifestó sobre todo en la parte occidental del distrito de riego, debido a la sobreexplotación del manto y a la presencia de conos de abatimiento según se demuestra en los estudios de piezometría realizados en el distrito de riego. Esto provocó la inversión del gradiente hidráulico y el agua de mar avanzó aproximadamente 15 km tierra adentro, contaminando el agua para el uso agrícola y saturando los suelos de sales.

Con el paso del tiempo, la calidad del agua subterránea del Valle de Guaymas ha mostrado un deterioro progresivo y ha obligado a los usuarios a abandonar amplias extensiones de terrenos, localizadas en los ejidos Maytoarena, San José de Guaymas, Comunidad San Fernando, Predios San Antonio, Santa Fe, El Bateve, San Isidro y Santa Amelia. También ha obligado a relocalizar pozos en la zona norte del distrito así como a

cancelar pozos a través del Programa de adecuación de derechos de usos del agua y redimensionamiento de distritos de riego.

En fechas recientes también se ha observado deterioro de la calidad del agua en pozos localizados en la parte sureste del distrito de riego, debido a conos de abatimiento que se han generado por la sobreexplotación del acuífero. Las áreas más afectadas son: zona de captación Boca Abierta (pozos destinados al uso público-urbano de las poblaciones de Guaymas y Empalme, Los Venados, Los Hoyos, El Palmar, Los Chiltepines y Ejido Cruz de Piedra).

Derivado de lo anterior, es recomendable realizar las siguientes acciones:

- Promover la realización de un balance hidráulico actualizado del acuífero, el cual determine la recarga actual.
- Promover que conjuntamente personal del distrito de riego y autoridades de la Asociación de Usuarios reglamenten las extracciones de agua, para todos los usos, no permitiéndose extracciones en volúmenes mayores a los concesionados en sus respectivos títulos de concesión y turnar a la autoridad competente las anomalías que se presenten para que sean sancionadas con apego a la normatividad vigente en materia de aguas.
- Observar el cumplimiento estricto del programa de supervisión de la operación de obras de infraestructura hidroagrícola, en relación a la medición volumétrica en forma coordinada con autoridades de la CONAGUA y asociaciones civiles de usuarios.
- Continuar con los estudios de piezometría del acuífero por parte del personal especializado de la Comisión Nacional del Agua, realizando paros generales de bombeo por lo menos una vez al año, que permitan evaluar el comportamiento de los niveles estáticos y difundir los resultados a los usuarios.

- Continuar con los estudios de calidad del agua, realizándose un monitoreo anual de todos los aprovechamientos hidráulicos del distrito de riego e intensificar el monitoreo y análisis físico-químico del agua, de los pozos localizados cerca de la zona costera, con el propósito de evaluar el grado de avance del proceso de intrusión salina.
- Promover ante las autoridades competentes la realización de programas que permitan reducir la capacidad instalada de volúmenes de agua del acuífero, para lograr el equilibrio entre las extracciones y la recarga del acuífero (Programa de Adquisición de Derechos de Usos del Agua y Redimensionamiento de Distritos de Riego).
- Promover ante las diversas instancias de gobierno la realización de proyectos ejecutivos y la realización de obras hidráulicas que propicien la retención y almacenamiento de aguas provenientes de escurrimientos pluviales, para favorecer la recarga de los mantos acuíferos y controlar el abatimiento de los mismos, así como detener el avance del agua marina.

VI BIBLIOGRAFÍA

Ayers, R.S. y D. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO. Riego y Drenaje, Rev. 29. Roma.

Barojas, O. 2002. *Balance Hídrico Integral y Alternativas de Balance de Agua: Caso Guaymas*. Tesis Profesional, Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

Canales, E. 2005. *Manual de Hidrología Subterránea*. Cd. Obregón: Instituto Tecnológico de Sonora.

De la Peña I., Rodríguez J. 1977. *Evolución de la calidad del agua de riego y del comportamiento del acuífero del Distrito de Riego 084, Guaymas, Sonora, México*. C.N.A. Gerencia Regional Noroeste, Subgerencia de Riego y Drenaje, Cd. Obregón.

Comisión Nacional del Agua. 2007. *Plan Director del Distrito de Riego No. 084 Valle de Guaymas*. Informe final, México.

Flores, O. 2008. *Programa de Gestión del Agua para la Cuenca del Río Mátape*. Tesina de la Especialidad en Gestión Integrada de Cuencas Hidrológicas, El Colegio de Sonora. Hermosillo.

Gonzalez, del C.R. 1982. Establecimiento de las relaciones funcionales entre láminas de lavado, sales desplazadas y sales residuales en los suelos salinos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos.

Martínez, D., Castillo J. y Ríos M. 1997. Primer Seminario Acuíferos Costeros de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. Hermosillo.

Martínez, D., Castillo, J., Ríos M. y Ávila J. 2002. Sexto Seminario Acuíferos Costeros de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora.

Martínez, S. 2007. *Modelo geoelectrico del acuífero del Valle de Guaymas y su intrusión salina, usando sondeos electromagnéticos transitorios*. Tesis Profesional, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Programa de Postgrado en Ciencias de la Tierra. Ensenada.

Ortega, M. 1998. Las variaciones de la relación de adsorción de sodio RAS durante las mezclas de agua de los diferentes recursos hidráulicos de la margen izquierda del Valle de Mexicali. Informe. Colegio de Postgraduados. Montecillos.

Ruiz, F. 2008. *Actualización del Balance Hídrico de la Cuenca del Río Mátape y sus acuíferos Mátape, Valle de Guaymas y San José de Guaymas*. Tesis Profesional, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

Ruiz L. Jorge, Lázaro Ch. R. Pedro, López H. Julio, Zatarain M. Felipe, Cisneros E. X. Olga. 2007. *Estrategias implementadas en el Distrito de Riego 084 para reducir el volumen bombeado*. Jiutepec.

Sortillón, Córdova y Salmón. 1977. Evolución de la piezometría del acuífero del valle de Guaymas, Sonora, desde 1977 a 1995. Primer seminario de acuíferos costeros de Sonora. Hermosillo.

Tapia, Vega y Castillo. 2002. Simulación del comportamiento hidrodinámico del acuífero de Guaymas Empalme, Sonora. Sexto seminario acuíferos costeros de Sonora, Poblado Morelos, La Atravesada, Municipio de Empalme.

Vega y Castillo. 1997. Evolución de la calidad del agua subterránea del valle de Guaymas, Sonora. Primer seminario de acuíferos costeros de Sonora. Hermosillo.