

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA**

**“DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRANEA DE LA  
SUBCUENCA MOSCOBAMPO-BOCA ABIERTA, VALLE DE  
GUAYMAS, SONORA.”**

**TESIS**

**SILVIA SUGEY AROS BAÑUELOS**

**JUNIO DE 2012**

# Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos  
hará mi grandeza”



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

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA**

**“DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRANEA DE LA  
SUBCUENCA MOSCOBAMPO-BOCA ABIERTA, VALLE DE  
GUAYMAS, SONORA”**

**T E S I S**

**SILVIA SUGEY AROS BAÑUELOS**

**JUNIO DE 2012**

“DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRANEA DE LA SUBCUENCA  
MOSCOBAMPO-BOCA ABIERTA, VALLE DE GUAYMAS, SONORA.”

**TESIS**

Sometida a la consideración del  
Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

Silvia Sughey Aros Bañuelos

Como requisito parcial para obtener  
el título de Ingeniero Agrónomo

Junio de 2012

Esta tesis fue realizada bajo la Dirección del Consejo Particular aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

## INGENIERO AGRÓNOMO

### CONSEJO PARTICULAR:

DIRECTOR:

  
D.E.A. JOSÉ CASTILLO GURROLA

ASESOR:

  
MC. FRANCISCO ANTONIO PRECIADO FLORES

ASESOR:

  
DR. JULIO CESAR RODRIGUEZ

SUPLENTE:

  
DR. MARCO ANTONIO HUEZ LÓPEZ

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, por darme la oportunidad de vivir, darme salud y esta familia tan maravillosa y permitirme llegar a esta etapa de mi vida, terminar mi carrera profesional.

AL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, por su aceptación, formación y conocimientos adquiridos durante mi estancia.

A todos mis maestros que participaron en mi desarrollo profesional durante mi carrera.

A mis maestros DR. JOSE CASTILLO GURROLA, MC. FRANCISCO ANTONIO PRECIADO FLORES Y DR. JULIO CESAR RODRIGUEZ por haber confiado en mí y brindarme su apoyo para la elaboración de mi tesis.

## DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño.

A MIS PADRES LETICIA BAÑUELOS MALDONADO Y JESUS ALFREDO AROS GARCIA, que han estado conmigo en todo momento. Gracias papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi, aunque hemos pasado momentos difíciles han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado. Este trabajo es para ustedes, este es su esfuerzo y sacrificio, muchas gracias, los amo.

A MIS HERMANAS MARIA LOURDES Y KARINA GUADALUPE, gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, las quiero mucho.

A MI PRIMA ANGELICA, que ha sido como una hermana más y la traviesa de la familia.

A MI ABUELA, este logro lo quiero compartir contigo, gracias por tus consejos, cariño y esas pláticas que nunca olvidaré, siempre te llevaré en mi corazón.

A MI AMIGA, chaparra hermosa también va para ti, gracias por todos los momentos que hemos pasado juntas, porque has estado conmigo siempre, apoyándome y haciendo ver el lado lindo de la vida. Te quiero.

A MI NOVIO, por tu gran apoyo y paciencia, gracias por estos años juntos en los que hemos compartido tantas cosas y por acompañarme en este día tan importante. Recuerda que eres muy importante para mí.

A MIS MAESTROS, por ser parte de esta tesis, por su paciencia, dentro y fuera de clases, por enseñarme y formarme.

A todos ustedes que han estado siempre a mi lado, y motivarme para concluir mi Licenciatura, por eso y más, Gracias.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	<b>vi</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>viii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>LITERATURA REVISADA</b> .....	<b>4</b>
Aspectos que influyen en el Ciclo del Agua .....	5
Agua subterránea en México .....	8
Agua Subterránea en Sonora .....	13
Cuenca del Río Mátape .....	14
Balance de Aguas Subterráneas .....	18
Disponibilidad de Aguas Subterráneas .....	24
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>26</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>38</b>
Recomendaciones .....	39
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>40</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>42</b>



## INDICE DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 1. Cálculo de Precipitación Efectiva (mm) .....</b>	<b>34</b>
<b>Cuadro 2. Entradas por flujo subterráneo horizontal de agua dulce, Ley de Darcy .....</b>	<b>35</b>
<b>Cuadro 3. Entradas por flujo subterráneo horizontal de agua salada, Ley de Darcy .....</b>	<b>36</b>
<b>Cuadro 4. Vértices del parteaguas de la Subcuenca Moscobampo Boca Abierta .....</b>	<b>43</b>
<b>Cuadro 5. Vértices del parteaguas de las Microcuencas de la Subcuenca Moscobampo Boca Abierta .....</b>	<b>44</b>
<b>Cuadro 6. Vértices de las corrientes principales de la Subcuenca Moscobampo Boca abierta .....</b>	<b>45</b>
<b>Cuadro 7. Paro de Bombeo 1996 y 2010.....</b>	<b>46</b>
<b>Cuadro 8. Análisis químico del Valle de Guaymas y Boca Abierta.....</b>	<b>47</b>
<b>Cuadro 9. Resultados del recorrido de campo .....</b>	<b>49</b>
<b>Cuadro 10. Datos recopilados durante el recorrido de campo .....</b>	<b>50</b>

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Evolución de la población urbana y rural de 1950 a 2050, (Millones de habitantes) .....	4
Figura 2. Distribución global del agua en el mundo, Estadísticas del agua en México, 2010 .....	5
Figura 3. Ciclo Hidrológico .....	7
Figura 4. Acuíferos sobreexplotados por Región Hidrológica- Administrativa .....	10
Figura 5. Aprovechamientos de Agua Subterránea en Sonora .....	13
Figura 6. Extracción anual de Agua Subterránea en Sonora para 1990 .....	14
Figura 7. Subcuencas Hidrológicas de la cuenca del Río Mátape .....	15
Figura 8. Diagrama de Wilcox para agua de riego .....	18
Figura 9. Cálculo con base en la Ley de Darcy .....	22
Figura 10. Plano Subcuenca Moscobampo Boca Abierta .....	30
Figura 11. Piezometría 1996 (surfer) .....	31
Figura 12. Piezometría 2011 (surfer) .....	32
Figura 13. Evolución de Niveles de 1996 a 2011 (surfer) .....	31
Figura 14. Balance de Agua Subterránea de la Subcuenca Moscobampo Boca Abierta.....	36
Figura 15. Plano de los niveles piezométricos del Valle de Guaymas .....	48
Figura 16. Microcuencas de la Subcuenca Moscobampo Boca Abierta .....	50
Figura 17. Pozos ubicados dentro de la Subcuenca Moscobampo Boca Abierta.....	51
Figura 18. Tipo de clima que predomina en la Subcuenca Moscobampo Boca Abierta.....	51
Figura 19. Tipo de vegetación de la Subcuenca Moscobampo Boca Abierta .....	52
Figura 20. Geología de la Subcuenca Moscobampo Boca Abierta .....	52

## RESUMEN

El agua subterránea es un recurso estratégico para el desarrollo, ya que juega un papel importante en el abastecimiento a la población y la contaminación. Su estudio es primordial para la realización de obras de ingeniería, y captación de agua, así como para investigaciones con fines de abastecimiento para satisfacer las necesidades del hombre.

La Subcuenca Moscobampo-Boca Abierta, la cual es objeto de estudio del presente trabajo, está ubicada dentro de la cuenca del Río Mátape en el Estado de Sonora. El objetivo principal es calcular la disponibilidad de agua subterránea en dicha Subcuenca. Igualmente analizar la evolución del comportamiento del acuífero para conocer el abatimiento del mismo y el avance de la intrusión del agua de mar y realizar el balance de agua subterránea, para conocer el cambio de almacenamiento del acuífero.

Este estudio muestra una importante particularidad con la que cuenta dicha Subcuenca, se diferencia en dos zonas: una de la parte alta, con pozos pecuarios y la otra en la parte baja con pozos agrícolas y de agua potable, lo cual influye a la formación de dos conos de abatimiento localizados en la parte inferior.

De acuerdo a los valores detectados por el trazador Bromuro y los conos de abatimiento mostrados en la piezometría se observa como existen los pozos que ya han sido afectados por la presencia de agua de mar, mostrando un gran avance de la intrusión salina.

## INTRODUCCION

Un número creciente de regiones en México experimentan problemas de escasez de agua, lo cual se complicará con el crecimiento demográfico y conforme mejoren los niveles de vida de la población. Esto ha ocasionado la existencia de grandes disparidades en la oferta y desequilibrios regionales importantes de demanda con respecto a los recursos disponibles.

En nuestro país, la situación cobra mucho más importancia debido a que las aguas superficiales no son suficientes, por lo tanto, se recurre al uso de las aguas subterráneas para satisfacer las necesidades humanas.

Las actividades agrícolas, el incremento tanto de la población como industrial, durante las últimas décadas, en varias zonas del norte del país, ha provocado el aumento en la demanda de agua; este requerimiento se hace indispensable para poder sostener el desarrollo y la continuidad de estas actividades.

Una de las regiones que presenta esta situación es la localizada en el Estado de Sonora, específicamente en el Valle de Guaymas, donde, sin conocerse la potencialidad del acuífero, se inició su explotación y los efectos se reflejaron con el rápido abatimiento de los niveles piezométricos, que en condiciones naturales, se encontraban varios metros por arriba del nivel del mar.

Gran parte del desarrollo agrícola de esta región se sustenta en la extracción de agua para el riego de cultivos, por lo que es de suma importancia la estimación de la disponibilidad de agua subterránea en la zona de Boca Abierta, misma que es considerada como una Subcuenca de la cuenca del Río Mátape. En dicha cuenca, las condiciones climatológicas son adversas, debido a esto, el recurso agua representa una limitante para desarrollar actividades agropecuarias, por ello, el agua subterránea es una

de las fuentes más importantes, siendo la parte baja de la cuenca, la zona donde más se hace uso del recurso.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Calcular la disponibilidad de agua subterránea en la zona de Boca Abierta, considerada como una Subcuenca de la cuenca del Rio Mátape.

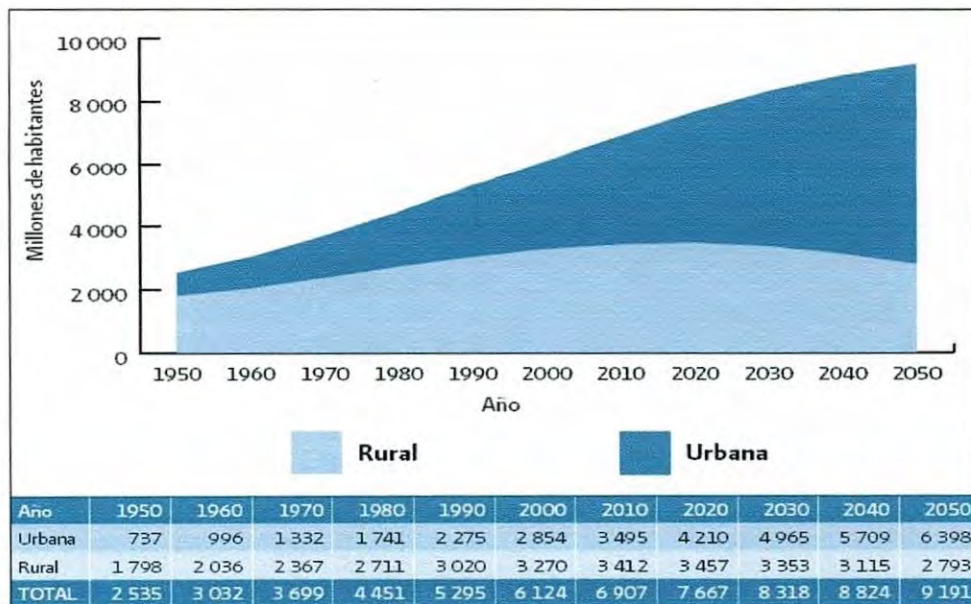
### **Específicos**

1. Analizar la evolución del comportamiento del acuífero para conocer el abatimiento del mismo y el avance de la intrusión del agua de mar.
2. Realizar el balance de agua subterránea, para conocer el cambio de almacenamiento, entradas y salidas subterráneas del acuífero.

## LITERATURA REVISADA

La cantidad de agua existente en nuestro planeta es de aproximadamente 1,400 millones km<sup>3</sup>, cantidad que no ha variado desde hace 3,000 millones de años debido al ciclo hidrológico.

La distribución del agua dulce es heterogénea en cada continente, lo más sobresaliente es su disponibilidad por persona en cada país, esto último ha llevado hacia el problema mundial de la escasez, donde el crecimiento acelerado de la población hará que la demanda de agua se duplique en los próximos años (Fig. 1), pues con ella también aumentará el desarrollo de sus actividades domésticas, agropecuarias, industriales y mineras, lo cual, dará como resultado su disminución de la reserva, ya que, este no aumenta en cantidad, mientras que la demografía y sus actividades, continúan creciendo, provocando de esta manera la escasez del recurso. (Retamal 2006).

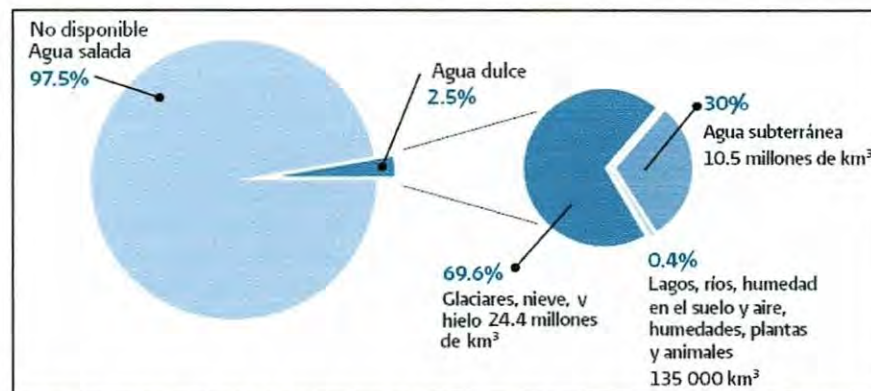


**Figura 1:** Evolución de la población urbana y rural mundial, de 1950 a 2050, (Millones de habitantes), CONAGUA.

La rápida expansión de las áreas urbanas da como resultado el uso de los suministros

del agua subterránea y provoca su agotamiento y contaminación. En Etiopía, gran cantidad de la población depende exclusivamente de la ayuda alimentaria para su supervivencia, pues ha perdido su ganado y cultivos por la sequía. Mientras que en China el río Amarillo, uno de los más grandes del norte está casi siempre seco y algunas ciudades como Shangai se hundieron debido a la gran cantidad de agua subterránea que se extrae. En total, dos tercios de las ciudades chinas padecen grave escasez de agua (Ruiz, 2007).

Las reservas subterráneas que son las que suministran el 30% del agua dulce del mundo, misma que desciende hasta un metro por año en partes de China, India, México y Yemen. El 69.6% representa los glaciares, nieve y hielo, mientras que el 0.4% es de lagos, ríos, humedad en el suelo y aire (Fig. 2) (Estadísticas del agua en México, 2010).



**Figura 2:** Distribución global del agua en el mundo, Estadísticas del agua en México, 2010.

Aunque el agua es un elemento importante en todas las regiones del mundo, este patrimonio tiene una importancia extraordinaria en regiones áridas y semiáridas debido a su insuficiencia e irregular distribución (Mayer, 1997).

### Aspectos que influyen en el Ciclo del Agua

#### Radiación Solar

Cuando la energía solar choca con las capas superiores de la atmósfera con una intensidad de más de tres focos de  $100 \text{ w m}^{-2}$ , un tercio de la cual regresa al espacio, el



resto calienta la Tierra y sirve de combustible al motor del clima.

### **Atmosfera**

Capa de gas con una mezcla de nitrógeno (78%), oxígeno (21%), y otros gases (1%) que rodea la Tierra. Se divide en cinco capas y la mayor parte de los estados del tiempo y nubes se encuentran en la primera de ellas.

### **Océanos**

Estos cubren el 70% de la superficie terrestre, son la principal fuente del vapor de agua de la atmósfera. Almacenan calor y lo transportan miles de kilómetros. Al depositarse agua caliente en un lugar, pueden aumentar la evaporación y la formación de nubes.

### **Temperatura**

El aumento de la temperatura atmosférica provoca una mayor evaporación del agua y el deshielo en el mar y la tierra. Aunque el vapor de agua es el gas del efecto invernadero más potente, la evaporación también forma nubes que provocan enfriamiento.

### **Nubes**

Aunque se conoce poco sobre su función, se sabe que enfrían la Tierra absorbiendo la energía solar, y la calientan atrapando el calor que emana de la superficie.

### **Hielo y Nieve**

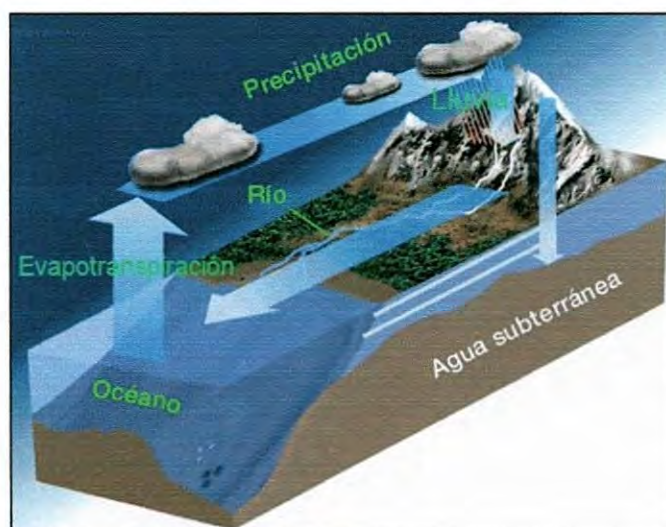
Las extensiones blancas y brillantes de hielo y nieve reflejan la luz solar hacia el espacio, logrando con ello enfriar el planeta. El hielo que se derrite en el océano, también le resta calor.

### **Superficie Terrestre**

La topografía y el uso del suelo repercuten en el clima. Las cordilleras bloquean las nubes y crean “sombras” secas en la dirección del viento. El terreno en declive permite

más escurrimiento de agua, lo que seca aún más la tierra y la atmósfera.

Además de su uso directo, el agua subterránea, representa también una fase muy importante del ciclo hidrológico (Fig. 3). La mayor parte del flujo en corrientes permanentes de agua proviene de ésta, mientras que una gran parte del flujo en corrientes intermitentes puede filtrarse bajo la superficie, por lo tanto, ninguna investigación sobre agua superficial puede ignorar su relación con los procesos subterráneos.



**Figura 3:** Ciclo Hidrológico.

En lugares donde las corrientes superficiales son insuficientes, se hace uso del agua subterránea, la cual presenta ventajas importantes como el no estar sujetas a pérdidas por evaporación, no requerir tratamientos de decantación o ser de fácil tratamiento para uso humano e industrial.

Otras ventajas son su temperatura constante, su capacidad de almacenamiento y, debido a la profundidad a la que se encuentra, puede ser menos vulnerable a la contaminación, la cual es un riesgo potencial para el agua en la superficie.

La desventaja, no está uniformemente distribuida en la corteza terrestre. Existen grandes áreas en el mundo donde ésta no puede ser obtenida en cantidades suficientes

para justificar el gasto de perforar y construir norias y pozos. Aunque casi todas las rocas contienen poros y debajo de cierta profundidad (nivel estático), los poros están llenos con agua y las rocas están ampliamente distribuidas, parece razonable concluir que el agua subterránea está disponible en cualquier lugar, pero es incorrecto (Retamal 2006).

### **Agua subterránea en México**

Conforme a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 5 de Octubre de 2001, el país está dividido en 653 acuíferos de los cuales, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ha publicado la disponibilidad de agua de 202 de ellos, a los que corresponde cerca del 85 % del agua subterránea extraída a nivel nacional (Chávez G. 2006).

Anualmente, el país, recibe del orden de  $1,510 \text{ km}^3$  de agua en forma de precipitación, de la cual el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera; el 25.6% escurre por los ríos o arroyos y el 1.9% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. De tal forma que los acuíferos del país reciben  $78.5 \text{ km}^3$  de agua dulce renovable y se les extraen por medio de pozos, norias, galerías filtrantes o manantiales  $27.5 \text{ km}^3$

([http://www.imta.gob.mx/index.php?Itemid=80&catid=52:enciclopediadelagua&id=181:agua-subterranea&option=com\\_content&view=article](http://www.imta.gob.mx/index.php?Itemid=80&catid=52:enciclopediadelagua&id=181:agua-subterranea&option=com_content&view=article)).

Así, el balance subterráneo refleja en principio una gran disponibilidad de agua, sin embargo, esta situación es engañosa debido a que gran parte de los principales acuíferos del país se encuentran seriamente sobreexplotados (Retamal, 2006).

La sobreexplotación es amenazante, consiste en la extracción más allá de la capacidad de recarga de un acuífero, por lo tanto, se trata de una actividad que no es sustentable. La extracción, dependerá entonces de la necesidad de agua que requiere la

actividad para desarrollarse, versus la cantidad de agua disponible en un acuífero y su correspondiente recuperación.

No es la extracción propiamente la que se observa como una labor nociva, sino la devastación del recurso en sí. Por ejemplo, en el sur de nuestro país, las actividades de extracción prácticamente no comprometen las aguas subterráneas en comparación con el norte, donde la capacidad de recarga es mucho menor, por lo que se requiere de grandes lapsos de tiempo para recuperar los acuíferos (Retamal 2006).

A partir de la década de los años setenta, en México, ha venido aumentando sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados: en 1975 eran 32 acuíferos, 36 en 1981, 80 en 1985 y 101 acuíferos sobreexplotados al 31 de diciembre de 2008. Cabe mencionar que de los acuíferos sobreexplotados (Fig. 4) se extrae el 58% del agua subterránea para todos los usos.

([http://www.imta.gob.mx/index.php?Itemid=80&catid=52:enciclopediadelagua&id=181:agua-subterranea&option=com\\_content&view=article](http://www.imta.gob.mx/index.php?Itemid=80&catid=52:enciclopediadelagua&id=181:agua-subterranea&option=com_content&view=article)).

Un efecto directo de la sobreexplotación de un acuífero (aparte de su desaparición total), es la pérdida de la calidad del agua por salinización, misma que se deriva de la alteración en la densidad del agua situada en diversas capas freáticas, la cual puede venir ocasionada debido a que la profundidad de las perforaciones, llega a una zona de agua salobres o de minerales susceptibles de solución en el agua que a ellos llega. El fenómeno más conocido es el denominado interface de agua dulce y salada, ocasionado en acuíferos cercanos a la costa producto del descenso de la capa freática donde queda un vacío en el estrato geológico que es ocupado por agua marina. Otro efecto (pero ahora en acuíferos cercanos al litoral o costeros), es el conocido como intrusión salina (Retamal 2006).



**Figura 4:** Acuíferos Sobreexplotados por Región Hidrológico-Administrativa, CONAGUA, 2010.

Los cambios de la calidad del agua son causados, bien por introducción de sustancias químicas o biológicas en el medio ambiente debido a la actividad humana, por procesos naturales o por la combinación de ambos. En los procesos naturales se incluyen la mineralización natural de las aguas subterráneas y a la actividad humana la intrusión de agua de mar en los acuíferos. Además, el agua recoge materia orgánica natural de las hojas, hierbas y vegetación en diversos estados de biodegradación y diluye gases atmosféricos. El resultado de estos contactos es que el agua acumule ciertas cantidades de impurezas por disolución o reacción química.

Las fuentes de contaminación se pueden originar en la superficie del terreno, como el caso de la agricultura; en el subsuelo por arriba del nivel freático están los basureros a cielo abierto; y en el subsuelo por debajo del nivel freático, los pozos abandonados.

Algunas de las características del agua que se ven afectadas son:

*Características físicas:* La más importante es la cantidad de sólidos en suspensión y la temperatura, esta última se debe tener en cuenta, ya que las aguas frías se infiltran menos que las de temperatura más elevada debido a su mayor viscosidad.

*Características químicas:* Los principales iones que determinan la mineralización y el tipo químico del agua son: Cloro  $\text{Cl}^-$ , Sulfato  $\text{SO}_4^{2-}$ , Bicarbonatos  $\text{HCO}_3^-$ , Carbonatos  $\text{CO}_3^{2-}$ . Sodio  $\text{Na}^+$ , Calcio  $\text{Ca}^{2+}$ , Magnesio  $\text{Mg}^{2+}$ , y Potasio  $\text{K}^+$ , conocidos con el nombre de macroelementos, los cuales constituyen la parte principal de la composición mineral de las aguas subterráneas. A todos los demás elementos que se encuentra en estado disperso y se les denomina microelementos; estos no determinan el tipo químico del agua pero influyen considerablemente en la formación de características específicas de las aguas del subsuelo.

Todas las aguas subterráneas suelen contener una proporción de sales disueltas relativamente elevadas, en mayores proporciones que en las superficiales, ya que han estado expuestas durante su curso entre los materiales de los acuíferos, a una mayor disolución de las materias químicas existentes en las rocas que componen éstos.

*Características biológicas:* Al escurrir por las diferentes capas del terreno, el agua subterránea entra en contacto con sustancias orgánicas e inorgánicas, algunas de ellas son muy solubles. El agua con materia orgánica permite el crecimiento de bacterias y, en algunos casos, de algas que pueden dar lugar a procesos de colmatación, lo que origina la presencia de gases. Asimismo, la putrefacción de esta materia orgánica produce la aparición de nitratos u otros productos que pueden ser tóxicos.

Por otro lado, la conductividad eléctrica es la capacidad del agua para conducir electricidad, mientras que la resistividad eléctrica es el inverso de la conductividad, por lo tanto es más recomendable el uso de la conductividad ya que crece paralelamente a la salinidad, con la temperatura y el contenido de sólidos disueltos.

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

Aunado a esto, hay tres puntos básicos que complican el problema de la sobreexplotación del agua subterránea. El primero es el grado de porosidad de las rocas, si sólo contienen unos cuantos espacios pequeños, entonces la cantidad de agua contenida en un volumen dado de roca será muy limitado. El segundo punto es la combinación del tamaño de los poros y el grado en que los poros están intercomunicados, ya que ésta composición controlará la facilidad con que el agua fluirá a través de la roca, a esta propiedad se llama permeabilidad. El tercer punto, está determinado por la cantidad de agua subterránea disponible en los materiales geológicos de un sitio, es decir, su capacidad de reposición, que es el grado con el cual el agua extraída del acuífero es repuesta. La reposición puede provenir de arriba, de los lados o de abajo, de acuíferos adyacentes que transmiten el agua de otros lugares. El factor de reposición también depende del suelo y vegetación que cubren un acuífero, así como del clima de la región (Retamal 2006).

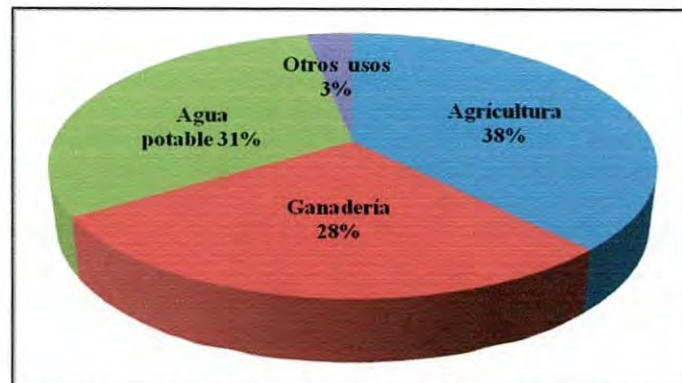
Otro problema se encuentra es la forestación intensiva de especies que demandan grandes cantidades de agua, si bien no existe un estudio global del efecto que éstas producen, hay evidencias científicas que concluyen que determinadas especies interceptan un nivel considerable de precipitaciones, las cuales no llegan al suelo, y por lo tanto no se infiltran, se evaporan. Como también que “a largo plazo, el decrecimiento en las reservas de agua del suelo puede tener efectos negativos sobre el rendimiento hídrico de las cuencas hidrográficas con extensivas plantaciones de rendimiento rápido. Esta situación tendrá especial relevancia en regiones con escasas y/o moderadas precipitaciones, ya que, además del consumo por evapotranspiración, hay que considerar las pérdidas por intercepción, las cuales son especialmente importantes en zonas de escasa precipitación” (Retamal 2006).

Con el fin de revertir la sobreexplotación de los acuíferos y cuencas del país, el Gobierno Federal ha emitido vedas que prohíben o restringen las extracciones de agua en diversas zonas. En el caso de las aguas subterráneas, a diciembre de 2009 se tenían vigentes 145 zonas de veda (CONAGUA 2010).

La salinización de los acuíferos debido a su sobreexplotación puede dejar en evidencia a las futuras generaciones de lo destructora y despilfarradora que fue nuestra época de los recursos naturales (Retamal 2006).

### Agua subterránea en Sonora

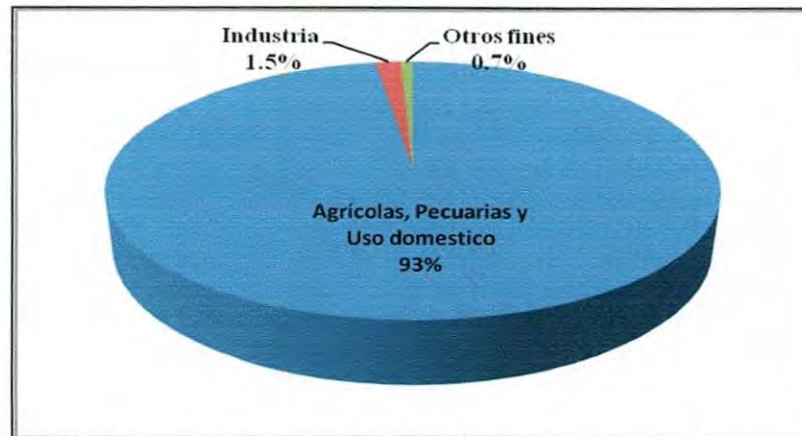
Existen aproximadamente unos 18,450 aprovechamientos de agua subterránea (Fig. 5), ya sea por medio de pozos profundos y someros o norias. De este número aproximadamente el 38% es de uso agrícola y son los que extraen la mayor parte del agua: un 28% para ganadería con diámetros pequeños de descarga que van de 1" a 2"; para agua potable se destina un 31 %, y solo el 3 % lo manejan la industria, servicios, etc. (Còrdova, 2001).



**Figura 5:** Aprovechamientos de agua subterránea en Sonora

Para 1990, la extracción anual de agua subterránea en Sonora era de 2,854.4 hm<sup>3</sup>, de los cuales el 93 % se empleaba en actividades agrícolas, pecuarias y uso domestico, 1.5 % en la industria y 0.7 % en otros fines (Fig. 6).





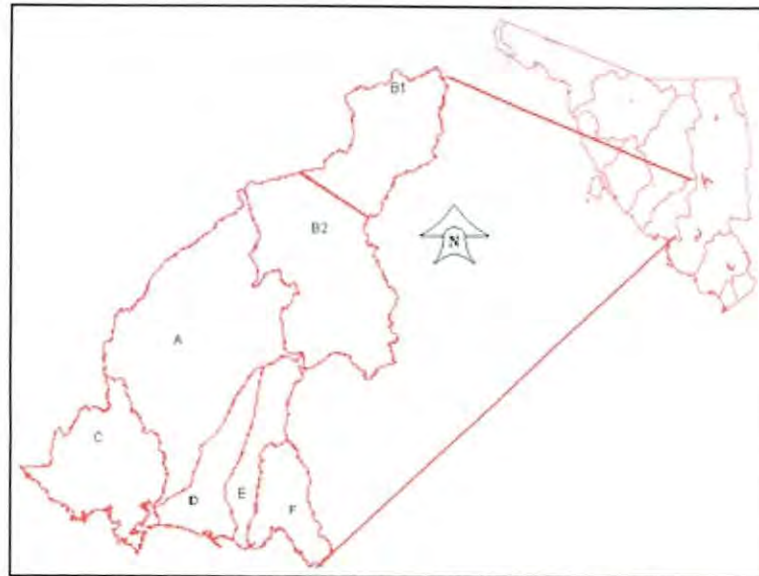
**Figura. 6:** Extracción anual de agua subterránea en Sonora para 1990

La recarga media anual subterránea de la entidad indica que se produce un déficit de  $298.2 \text{ hm}^3$  resultando una sobreexplotación del agua subterránea principalmente en las zonas de la Costa de Hermosillo, Caborca, Río Sonoyta y Guaymas.

Producto de lo anterior, es que a la mayoría de los acuíferos costeros de Sonora se les advierte el fenómeno de la intrusión salina a distintos niveles de afectación del acuífero, desde una calificada como leve en Caborca, hasta una grave como el de Guaymas y Costa de Hermosillo, donde se han abandonado la mitad de los pozos y superficies de cultivo (Córdova, 2001).

#### **Cuenca del Río Mátape**

Es la de menor Disponibilidad en el Estado, la cual se ha estimado en  $1200 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ . Su dren principal nace al noreste de Villa Pesqueira (Mátape) donde inicia su trayectoria de 107 km hasta descargar en el vaso de la Presa Ignacio L. Alatorre (Punta de Agua). Comprende un área de  $9,030 \text{ km}^2$ , misma que se encuentra dividida en seis Subcuencas (Fig.7)(Ruiz,2007).



**Figura 7:** Subcuencas Hidrológicas de la cuenca del Río Mátape.

**Subcuenca (A) Mátape-Empalme**, donde sus principales afluentes son los arroyos de El Salpullido y seco, que confluyen por la margen derecha cerca del poblado de Ortiz, cuenta con una superficie de 2,887 km<sup>2</sup> y pertenece al acuífero del Río Mátape.

**Subcuenca (B) Mátape-Presa Punta de Agua**, Ruiz Vega, subdividió en 2, Subcuenca (B1) Río Mátape y Subcuenca (B2) Mátape-Presa Punta de Agua, con 1,124 km<sup>2</sup> y 1,995 km<sup>2</sup> de superficie respectivamente. El Río Mátape en su recorrido recibe aportaciones en la Subcuenca (B2) Mátape-Presa Punta de Agua del arroyo el Garambullo por la margen derecha.

**Subcuenca (C) San José de Guaymas**, cuenta con una superficie de 1,234 km<sup>2</sup>, pertenece al acuífero de San José de Guaymas y se encuentra debajo de la Subcuenca (A) Mátape-Empalme.

**Subcuenca (D) Guaymas**, en la parte central del valle tiene varios arroyos pequeños, el más importante es el arroyo Mautal el cual es interceptado por el Bordo Piloto, esta Subcuenca contiene las estaciones climatológicas de Francisco Márquez y Empalme Observatorio y cuenta con 661 km<sup>2</sup> de superficie.

La **Subcuenca (E) El Arroyo Moscobampo-Boca Abierta, (Chicuroso)**, es objeto de estudio del presente trabajo. Se le une el bordo piloto por margen derecha y por la izquierda el Arroyo Moscobampo, pertenece a la cuenca del Río Mátape. Nace en la estribación noroccidental de la sierra del Bacatete, como resultado de la falla geológica que corre de norte a sur y que separa ala citada sierra con la planicie del Valle de Guaymas. Cuenta con una superficie de 544.97 km<sup>2</sup>.

La subcuenca **(F) Arroyo Tetabiate**, tienen una superficie de 584.33 km<sup>2</sup>, se encuentra entre la cuenca hidrográfica del Río Yaqui al sur, y el valle de Guaymas al occidente.

Para el Acuífero del Río Mátape el volumen anual concesionado e inscrito en el REPDA es de **136.5 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>**, mientras que para el Acuífero Valle de Guaymas es de 112. 2 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>, a lo que se habría que anexar 9.7 Hm<sup>3</sup> de la captación de Boca Abierta, lo cual da un total de **121.9 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>**, por otra parte, para el Acuífero del Rió San José de Guaymas se tiene un volumen concesionado de **12.00 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>** (Ruíz, 2007).

### **Piezometría**

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

Para Octubre de 1975 en el área de riego, los niveles varían entre 25 y 90 m, evidenciando la influencia de la explotación: en la porción central del área cubierta por los pozos, los niveles estáticos se encuentran a profundidades entre 40 y 85 m, donde en 1957 se encontraban entre 30 y 60 m, claramente se manifiesta el efecto del descenso de los niveles en el acuífero, producto de la sobreexplotación del recurso agua.

## **Evolución**

Analizando los niveles estáticos correspondientes al año 1996 ya se observa un abatimiento en la parte baja de la subcuenca. Estos niveles del agua de mar fluctuaban en -10 y -15m por debajo del nivel del mar y alcanzando una penetración de agua de mar en el acuífero de 20km continente adentro a partir de la línea de la costa.

Ya para el año 2010 estos niveles negativos se presentan arriba de 30 m bajo el nivel del mar ocasionado principalmente por el bombeo excesivo de los pozos de agua potable y agrícolas situados en la parte baja de la cuenca.

## **Calidad de Agua**

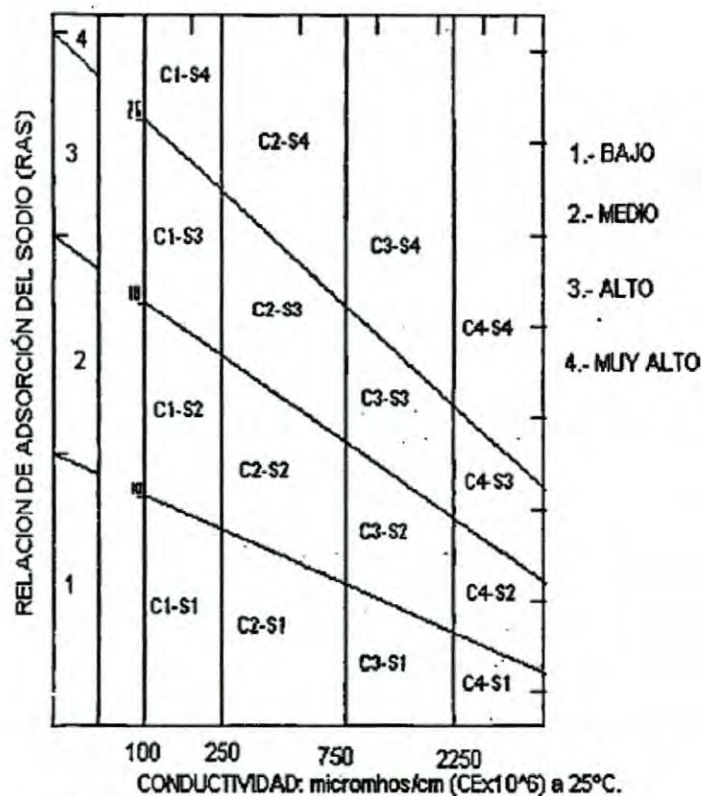
La degradación de la calidad del agua subterránea del Valle de Guaymas, ha ido en aumento a través del tiempo. Para 1975 a 1996, los cloruros aumentaron hasta alcanzar los  $6,035 \text{ mg L}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Estos valores máximos se ubican en la porción suroeste del valle, indicando la fuente de entrada de agua de mar hacia el continente, por lo que se considera que esta zona tiene agua no apta para consumo humano (Ríos y Ferrer, 2000).

De 1982 a 1996, una gran variedad de familias de agua fueron dominantes en bicarbonatos, cloruros y sulfatos, encontrándose también aguas mixtas. Las bicarbonatadas en general se encuentran en la parte alta del valle y las cloruradas y sulfatadas en la parte baja. Las mixtas se hallan en diversas localidades pero siempre están presentes en el Valle de Cruz de Piedra o Boca Abierta en el período analizado (Ríos y Ferrer, 2000).

Según Wilcox, el agua se clasifica como C2-S1, C3-S1 y C4 variando de S1 a S4. Las de clase C4 o muy altamente salinas, no son aptas ni para consumo humano ni para la agricultura, y se ubican en la porción suroeste del valle, coincidiendo con las concentraciones más altas de cloruros. Las de clase C2 y C3, de mejor calidad, se encuentran distribuidas a todo lo largo del valle.

El agua resultò ser de clase agresiva, debido a que disuelve  $\text{CaCO}_3$ , excepto en la

porción suroeste o más contaminada, donde el agua es incrustante, pues deposita  $\text{CaCO}_3$  (Ruiz y Ferrer, 2000).



**Figura. 8:** Diagrama de Wilcox para agua de riego.

Según Vega (2007), una franja costera de unos 15 km desde la línea de costa hacia el continente, existe agua contaminada por intrusión marina, puesto que el contenido de los iones Bromuro y Cloruro así lo confirma y las relaciones obtenidas de  $r\text{Cl}/r\text{Br}$  y  $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$  (Cuadro 8).

Por lo tanto, en lo que respecta a la zona costera, el agua subterránea está limitada para los usos doméstico, agrícola e industrial. Sin embargo, el agua del Valle de Boca Abierta hacia el oriente del Valle de Guaymas, tiene mejor calidad y la velocidad de entrada del agua de mar ha sido menor (Rios, 2000).

### **Balance de aguas subterráneas**

La sumatoria del total de los flujos del líquido que tienen lugar en el acuífero, bien

sea como entradas de agua (recarga, con signo positivo), o como salidas (descarga con signo negativo), define finalmente el volumen de agua cedido o ganado por el almacenamiento del acuífero en un periodo de tiempo definido y de acuerdo con la ecuación general de balance (1), es igual al cambio de masa; que siguiendo la ley de la conservación de la masa se representaría como:

$$\text{Cambio de masa} = \sum_{i=1}^n \text{flujos}_i ; \text{ o también } \text{CM} = \text{E}-\text{S} = \sum_{i=1}^n \text{Entradas (E}_i) - \sum_{i=1}^n \text{Salidas (S}_i) \dots (1)$$

Trasladando los términos de esta ecuación al estudio de cada uno de estos acuíferos, las entradas quedan representadas por la recarga total que reciben; las salidas, por la descarga total y el cambio de masa, por el cambio de almacenamiento del mismo:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

Se desagregará la ecuación de balance en sus principales componentes para ambos acuíferos como:

$$\text{Rv} + \text{Eh} + \text{Ri} - \text{B} - \text{Sh} - \text{ETR} = \pm \Delta V(S) \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

**Rv** = Recarga vertical

**Eh** = Entradas por flujo subterráneo horizontal

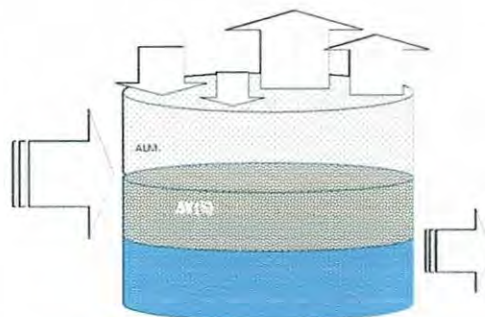
**Ri** = Recarga inducida

**B** = Bombeo

**Sh** = Salidas por flujo subterráneo horizontal

**ETR** = Evapotranspiración

$\Delta V(S)$  = Cambio de almacenamiento



### Entradas

Los ingresos de agua, están integrados por la recarga natural que se produce en forma

directa por la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos de los arroyos (**Rv**); la que proviene de zonas montañosas contiguas, a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (**Eh**) y de manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola (no se consideran las pérdidas en la red de agua doméstica y las de las descargas residuales urbanas debido a la escasez de información), constituyen otra fuentes de recarga al acuífero (**Ri**).

### **Recarga vertical (Rv)**

“Recarga indirecta”, aquella que viene del escurrimiento y “recarga natural directa”, la que infiltra la lluvia. Dejando esta componente de la ecuación de Balance como una fracción del volumen precipitado a resolver, de la siguiente manera:

$$Rv = E_{vert} = \alpha V = \alpha P A \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

$\alpha$  = % del volumen precipitado que se infiltra al acuífero

**P** = Precipitación media del periodo

**A** = Área de balance

Por ello, y coincidiendo con el criterio de la Subdirección General Técnica de CONAGUA, se prefiere el cálculo indirecto de este parámetro, despejándolo de la ecuación de balance, y con apoyo en la información disponible sobre cambio de niveles del agua subterránea en un período determinado, calcular el cambio de almacenamiento ( $\Delta V$ ), así como las más importantes entradas y salidas por flujo subterráneo. Obteniendo su valor con la expresión siguiente:

$$Rv = Sh + B + ETR - Eh - Ri \pm \Delta V(S) \dots \dots \dots (4)$$

### **Recarga inducida (Ri)**

Se incluyen los volúmenes de infiltración de agua que se producen exclusivamente por concepto de los excedentes del riego, tanto de origen subterráneo como superficial.

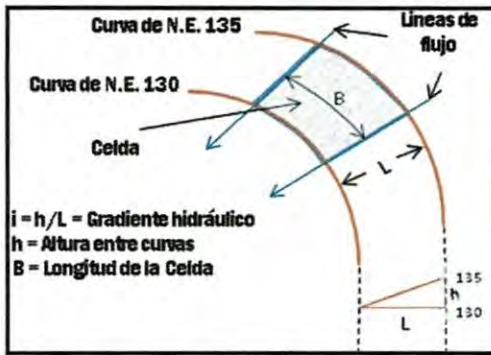
En condiciones naturales, la recarga del acuífero Valle de Moscobampo-Boca Abierta era generada, principalmente, por infiltración de los escurrimientos superficiales en los bordes del valle; probablemente, la alimentación más importante se generaba en la parte alta del mismo, donde la precipitación pluvial y, en consecuencia, los escurrimientos superficiales son más abundantes. Se cree que el agua de lluvia precipitada sobre la superficie del valle, no constituye una fuente importante de recarga; en primer lugar, por la reducida precipitación pluvial (menor de 300 mm por año); En segundo, por la elevada evaporación potencial (mayor de 1400 mm por año), y en tercero, porque la profundidad de los niveles del agua era superior a los 15 m en la mayor parte del valle.

#### **Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)**

Se considera que las entradas horizontales subterráneas están representadas por una fracción del volumen de las lluvias que se precipitan en las serranías de las porciones este y norte de la cuenca y se infiltra directamente, aprovechando la porosidad por fracturamiento de las rocas que forman parte de ellas; otra fracción más importante, se transforma en escurrimiento que fluye por los principales cauces por los que se va infiltrando y produce las entradas horizontales subterráneas al acuífero. Estas filtraciones llegan a recargar en la parte alta de la cuenca a la porción del acuífero que corresponde.

Dicho cálculo se realiza con base en la Ley de Darcy (Fig. 8), estableciendo la ecuación que hace depender el gasto que pasa por la celda definida entre dos equipotenciales; de la transmisividad, el gradiente hidráulico, la longitud de la celda y el ancho de la misma, constituido por la diferencia de las equipotenciales, partiendo de la configuración de elevaciones del nivel estático.





**Figura 9:** Cálculo con base en la Ley de Darcy

La ecuación (5) y la representación grafica, de los parámetros que en ella intervienen son los siguientes:

$$Q = T \cdot B \cdot i \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

**Q** = Gasto

**T** = Transmisividad

**B** = Longitud de la celda

**i** = Gradiente hidráulico; Red de flujo establecida

### Salidas o descargas

Las salidas representan básicamente tres descargas del acuífero: la primera es motivada por las extracciones producidas por el bombeo en las distintas zonas de producción agrícola o pecuaria y en los centros poblacionales (**B**); la segunda, debido a las salidas subterráneas horizontales (**Sh**) fundamentalmente hacia las áreas de topografía con menor elevación, particularmente la costa, y la tercera, debido a la evapotranspiración (**ETR**).

### Extracción por Bombeo (**B**)

Para fines del balance de aguas subterráneas, este volumen es considerado como salida o extracción directa del acuífero.

La operación de pozos para usos agrícolas y para agua potable de las poblaciones de Empalme y Guaymas, son las principales descargas actual del acuífero. El volumen que anualmente se extrae por bombeo es medido a través de los pocos medidores en buenas condiciones que se encuentran instalados en las descargas de los pozos y por medio de métodos indirectos como consumos de energía eléctrica, usos consuntivos de plantas y permisos de siembra anual para los diversos cultivos en la región.

### **Evapotranspiración**

La descarga del acuífero a la atmósfera puede tener lugar por dos vías: evaporación directa del agua en la superficie freática somera y por la transpiración de la vegetación que crece en el área.

Normalmente la descarga por evaporación directa (real), se estima multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno, por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial medida en las estaciones climatológicas. El valor de esa fracción varía entre un máximo de uno, cuando el nivel freático aflora, y cero cuando éste se halla a profundidades mayores que la altura de la faja capilar de los materiales predominantes entre la superficie del terreno y el nivel freático; a falta de información, se supondrá que el valor de la fracción varía entre valores extremos linealmente según la profundidad de dicho nivel.

Para la obtención de este parámetro utilizó la ecuación empírica de Coutagne:

$$\text{ETR} = P - \chi P^2 \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

**ETR**= evapotranspiración real en metros/año

**P**= Precipitación en metros/año

$$\chi = \frac{1}{0.8 + 0.14 t}$$

**t**= temperatura media anual en °C

### **Flujo horizontal**

Aquí se consideran las entradas y salidas subterráneas. En el caso de entradas de agua subterránea existen dos alimentaciones, una como agua dulce de solo  $0.0075 \text{ hm}^3$ , es decir  $7500 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ , debido a las fuertes extracciones en la parte baja y media de la subcuenca y a la reducida zona a la altura del Rancho de San Martín y quizá a la presencia de la falla que corre a lo largo de la Sierra del Bacatete. De entrada subterránea de agua salada, también es reducida,  $0.163 \text{ hm}^3$ , es decir  $163,000 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ , quizá también gracias a la barrera geológica que existe a la altura del Cerro de Boca Abierta.

### **Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)**

Las salidas subterráneas horizontales se calculan con base en la configuración de N.E., seleccionando los canales de flujo, para estimar el gasto "Q" en cada uno y se agrupan los resultados obtenidos en las celdas que corresponden a la Subcuenca.

### **Descargas naturales**

Las descargas naturales de este acuífero, son despreciables ya que los niveles estáticos son profundos y no existen manantiales o flujo base del acuífero.

## **Disponibilidad de Aguas Subterráneas**

Investigaciones relacionadas con la determinación de la recarga natural en zonas áridas y semiáridas, se han visto incrementadas a mediados de 1980, esto es debido a la dificultad que se presenta, al utilizar los métodos convencionales para la estimación de este parámetro.

La CONAGUA, debe publicar en el Diario Oficial de la Federación, la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana. NOM-011-CNA-2000, la cual establece el método para determinar la

disponibilidad media anual de las aguas nacionales” que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece lo siguiente:

La Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica será igual a la Recarga total media anual menos la Descarga natural comprometida menos el Volumen anual de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA).

Dicha disponibilidad constituye el volumen medio anual de agua disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

#### **Recarga total media anual**

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, ya sea de recarga natural y/o recarga inducida.

#### **Descarga natural comprometida**

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes.

#### **Volumen Concesionado de Aguas Subterráneas**

Es el volumen anual de la extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el REPGA, de la Subdirección General de Administración del Agua,

## **MATERIAL Y METODOS**

### **Ubicación de la zona de estudio**

La Subcuenca se localiza en la región hidrológica RH9, Sonora sur, ubicada dentro de la cuenca del Río Mátape, misma que está limitada al norte por la sierra de San Antonio, al Sur por el Golfo de California, al Este por la Sierra del Bacatete y al Oeste por la Sierra Santa Úrsula y El Pozo.

El área de estudio se localiza en la porción suroccidental de la Cuenca del Río Mátape y es considerada como una Subcuenca denominada Moscobampo Boca Abierta, la cual comprende un área de 548 km<sup>2</sup>, al oeste de la Sierra del Bacatete. Se ubica entre las coordenadas 27° y 28° de la latitud norte y 110° longitud Oeste. Cabe mencionar que algunas revisiones se le llama Subcuenca del Arroyo Chicuroso.

### **Material**

El material utilizado consistió en la recopilación de información de estudios anteriores, revisión de cartas topográficas del INEGI (Escala 1:50,000), La Misa H12D72, Francisco Márquez H12D82, y Guásimas G12B12, planos y mapas de la Cuenca del Río Mátape, y del Valle de Guaymas, tanto de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) como de la Comisión Estatal del Agua (CEA).

Se utilizó equipo de campo como Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS), estación climatológica automática, sonda eléctrica para pozos, software como surfer, autocad, arcview y excel.

### **Metodología**

Se inició con la revisión de estudios anteriores realizados en la zona; se delimitó el área de estudio mediante la configuración de los vértices del parteaguas de la Subcuenca, de las Microcuencas y Corrientes principales del Arroyo Moscobampo-Boca

Abierta, perteneciente a la cuenca del Río Mátape, con la integración de varias cartas topográficas se creó una sola carta donde se identifican los vértices de la zona de estudio.

Mediante el software arcview se digitalizó el mapa ingresando los vértices obtenidos anteriormente obteniendo con ello el plano de la subcuenca Moscobampo Boca abierta.

Una vez ubicada el área se elaboró el itinerario de recorridos de campo con la finalidad de localizar ranchos ganaderos y campos agrícolas ubicados dentro del área de estudio donde se utilizó el Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS) marca Garmin modelo Map196 para la localización geográfica con coordenadas UTM WGS84, altitud y brocal de los pozos muestreados, de los cuales se obtuvo la medición de los niveles estáticos mediante el uso de la sonda eléctrica, la identificación del uso de agua de pozo (Cuadro 9, Consultar Anexo).

Este recorrido fue solo para actualizar datos, debido a que el presente trabajo recopila información de años anteriores, lo que es necesario para los cálculos a realizar.

Se determinaron todos los parámetros del ciclo hidrológico, a partir de estudios realizados. De Ruiz (2007), se obtuvieron la precipitación total y efectiva así como la Evapotranspiración, el Ecurrimiento del trabajo de Sainz (1987) y la Recarga, entradas y salidas subterráneas se calcularon en base a la información de piezometria y valores de transmisividad obtenidas de las pruebas de bombeo desarrolladas por Canales (2000) en la parte baja y Castillo y Morales (2011) en la parte media y alta, lo anterior fue necesario para realizar el balance de agua y calcular la disponibilidad de agua subterránea.

El método empleado conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana. NOM-011-CNA-2000, la cual indica que, para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas.

Para el cálculo del cambio del almacenamiento en la fracción acuífera de la parte media y baja, en el lapso de tiempo definido para el balance, se recurrió a la evolución de los niveles estáticos del agua subterránea correspondiente al período 1996 a 2011.

Para el cálculo de la evolución del periodo 1996 al 2011 se creó una base de datos, con información histórica, en hojas de cálculo excel, donde se seleccionaron solo los pozos ubicados dentro del área de estudio. Una vez completada la base de datos se importó al software autocad de donde obtuvieron las curvas de igual altitud con respecto al nivel del mar (Piezometría)

## RESULTADOS

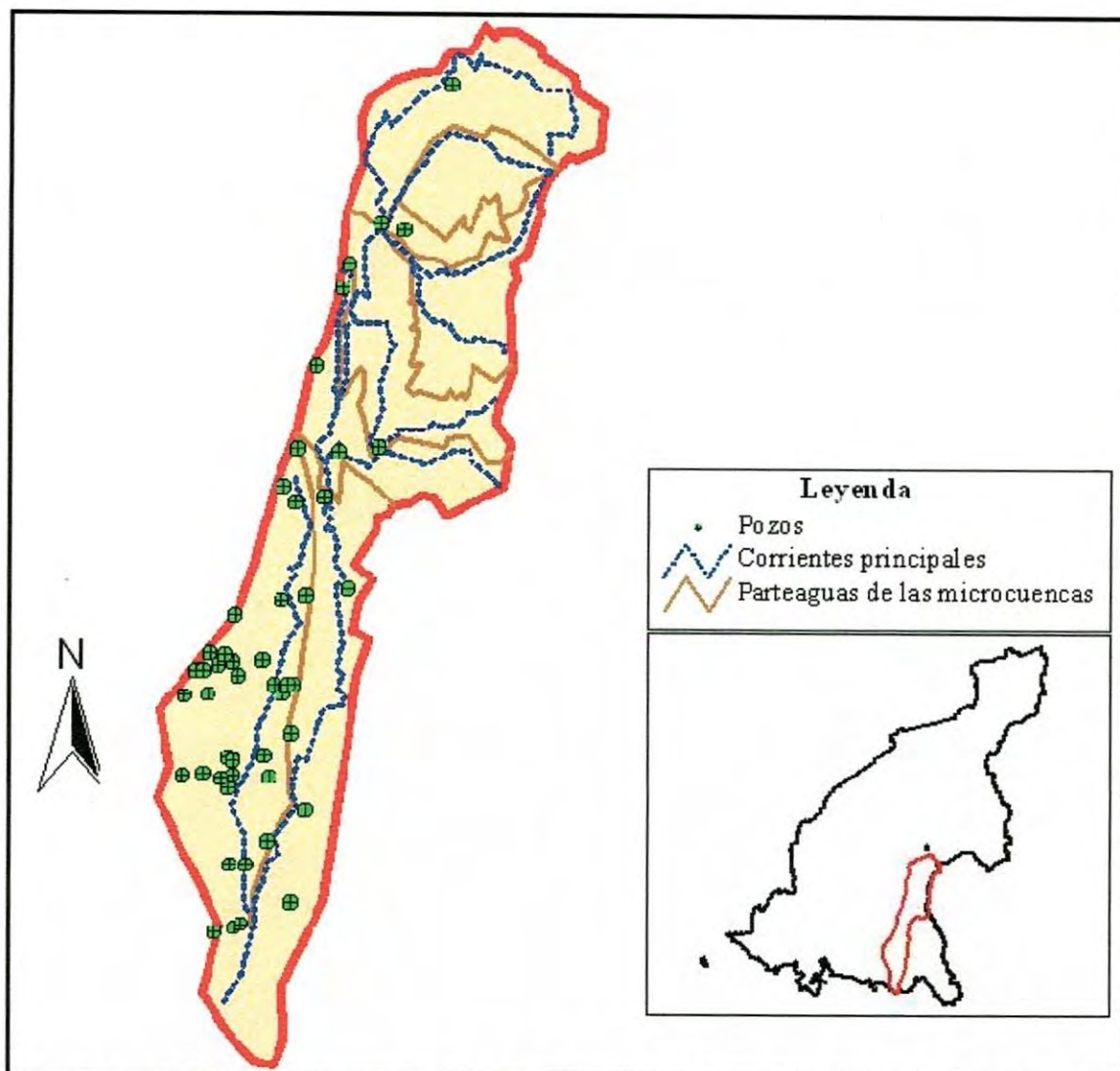
Con la configuración de los vértices del parteaguas de la Subcuenca (Cuadro 4), se identificaron ocho Microcuencas (Cuadro 5), mismas que se delimitaron conforme a la identificación de las corrientes principales del Arroyo Moscobampo-Boca Abierta (Cuadro 6), lo cual se digitalizó con la ayuda del software Arcview obteniendo así el plano que corresponde a la Figura 10 en donde también se ubican los pozos que se encuentran dentro de dicha subcuenca.

Los pozos, antes mencionados, indican como en la parte superior de esta existe una marcada subexplotación mientras que en la parte inferior se evidencia la sobreexplotación que presenta dicha zona. Esto último debido a la fuerte extracción de agua subterránea realizada, ya sea por medio de pozos profundos y someros o norias.

Los pozos de agua potable ubicados en la parte sur de la subcuenca extraen un gasto de 307 litros por segundo, lo que representa un gasto anual de  $9.7 \text{ hm}^3$ .

De acuerdo a la información obtenida de los paros de bombeo realizados en el año de 1996 y 2010 (Cuadro 7, consultar Anexo) se estimó la evolución, de 15 años, del acuífero. Con dicha información y la ayuda del Programa Surfer y Autocad se elaboraron las figuras 11 y 12, en la que se muestra claramente la formación de dos importantes conos de abatimiento en la zona inferior de la Subcuenca. Aunque la parte superior también presenta cambios, el problema no es tan evidente como sucede con la parte inferior, por lo que se demuestra la severa explotación del acuífero antes mencionada (Fig. 13).





Fuente: Cartas topográficas INEGI, La Misa H12D72, Francisco Márquez H12D82, y Guásimas G12B12. Escala 1:50,000. Silvia Aros. 2011.

**Figura 10:** Plano Subcuenca Moscobampo-Boca Abierta.

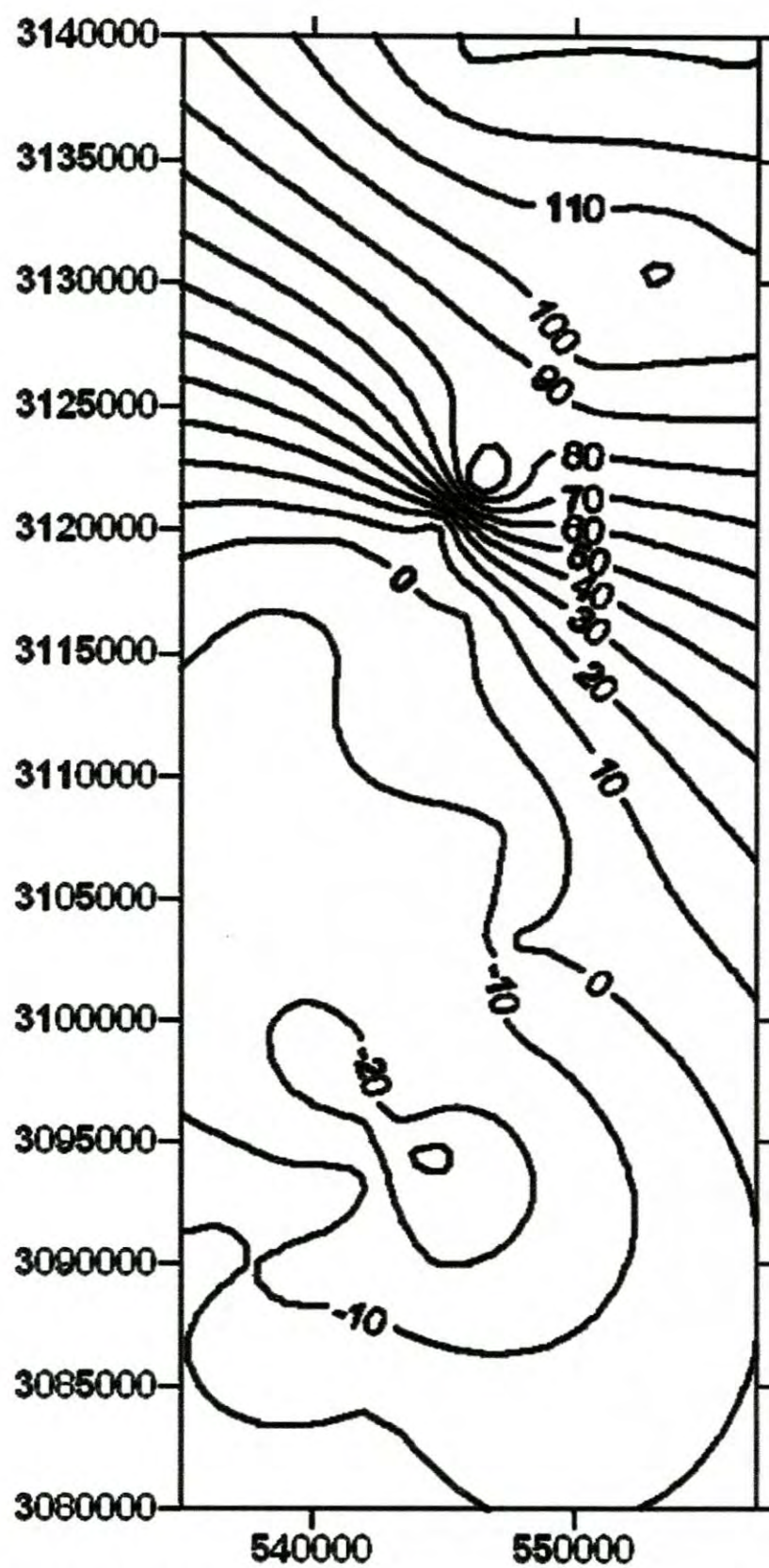


Figura 11: Piezometria 1996 (surfer).

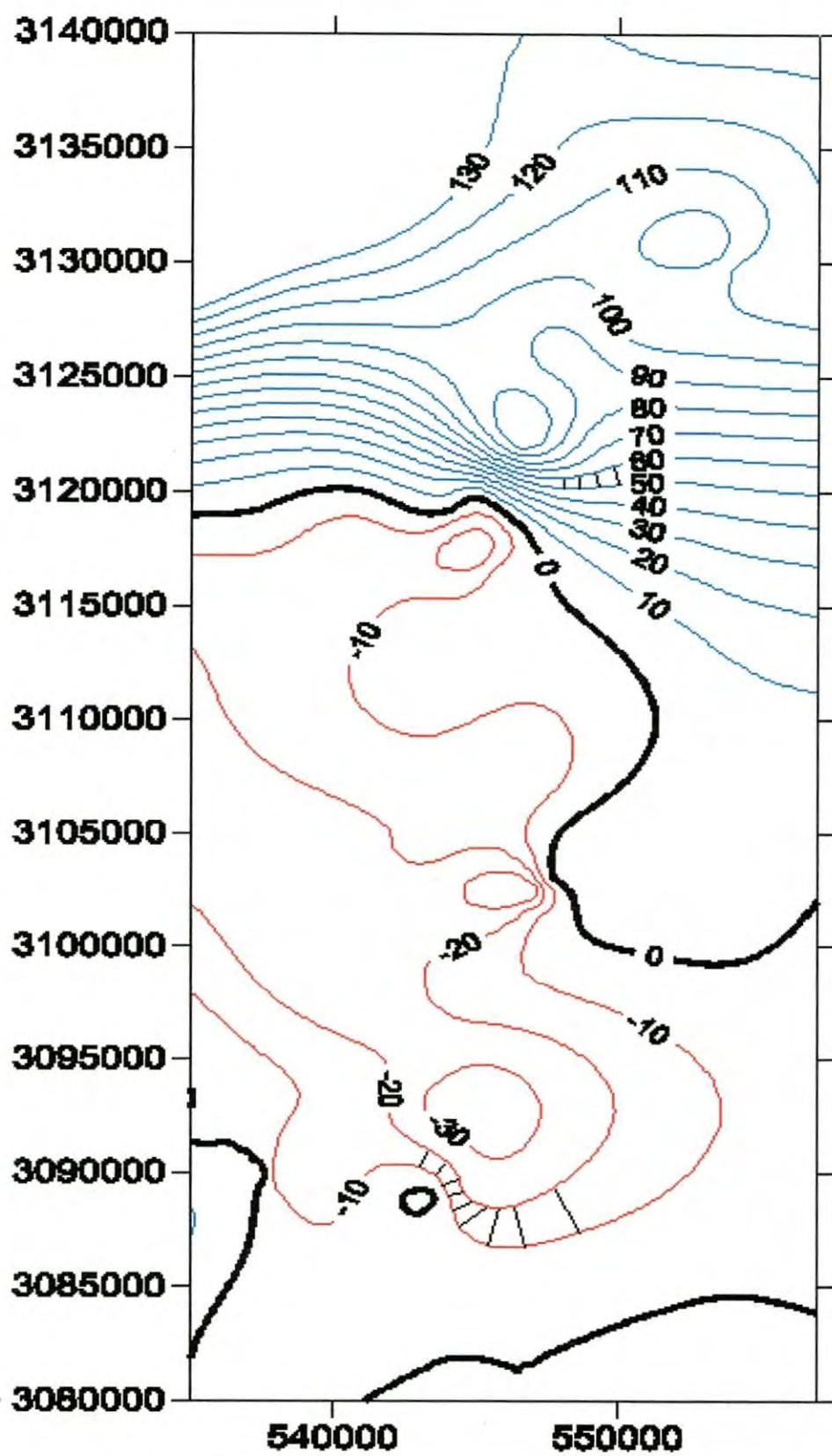


Figura 12: Piezometria 2011 (surfer).

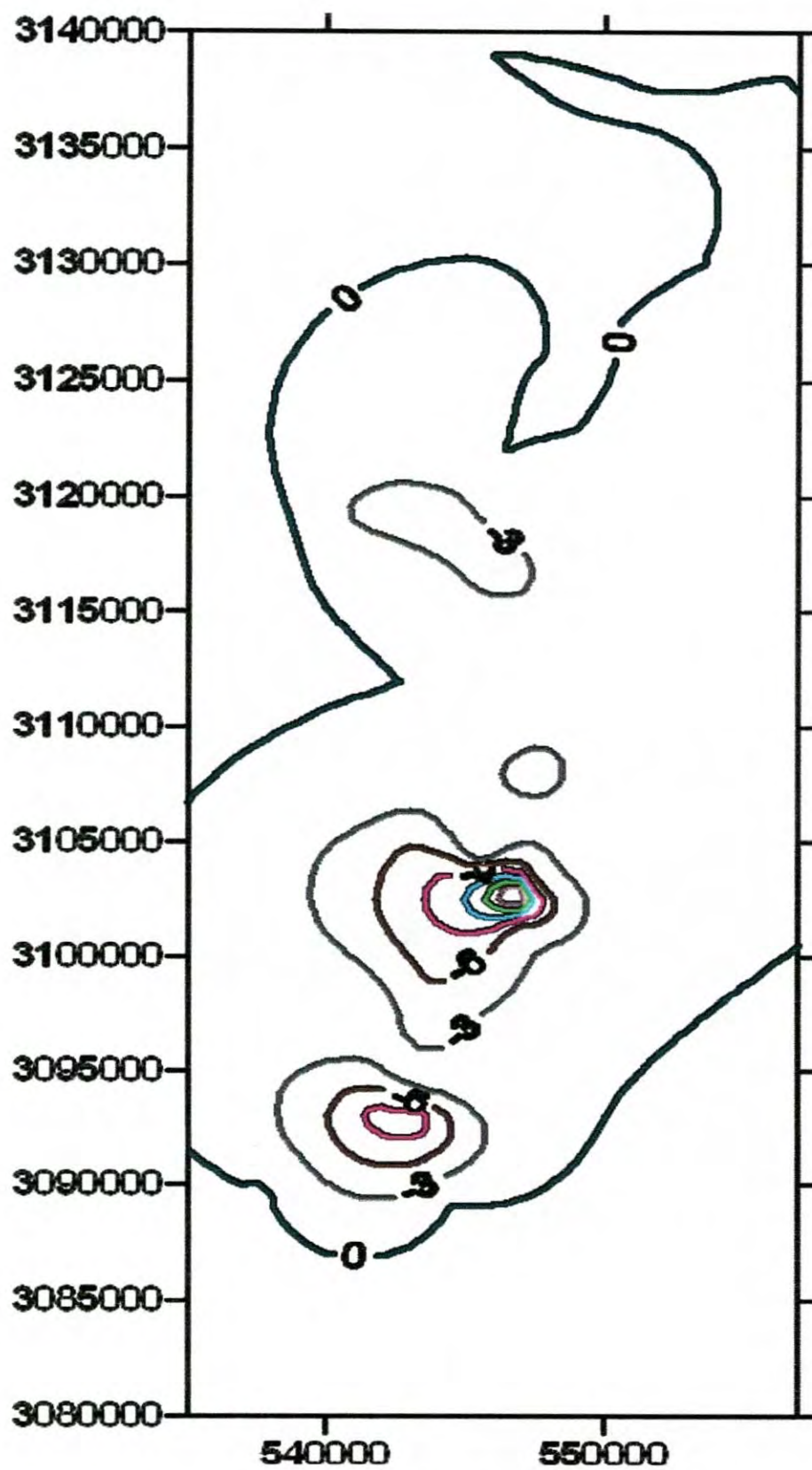


Figura 13: Evolución de Niveles de 1996 a 2011. (surfer).

En cuanto al balance de agua subterránea, se definió para una superficie de 545 Km<sup>2</sup> correspondiente al área total de la subcuenca.

La precipitación efectiva, menos el escurrimiento es igual a la infiltración ó recarga al acuífero (Cuadro 1), se presenta de la siguiente manera:

**Cuadro 1.-Calculo de precipitación Efectiva (mm)**

Estación	P=Precipitación Anual media (mm)	Precipitación Anual media (metros)	T=Temperatura media del aire (°C)	$X=1/(0.8 + 0.14 T)$	Et Real	1/8x	1/2x	Precipitación Efectiva (mm)
<b>Empalme</b>	273.93	0.2739	24.44	0.2369	256.16	0.53	2.11	<b>17.77</b>
<b>Fco. Márquez</b>	363.06	0.363	23.54	0.2442	317.14	0.51	2.05	<b>32.18</b>
<b>La Misa</b>	377.29	0.3773	23.97	0.2406	343.04	0.52	2.08	<b>34.25</b>
<b>Punta de Agua</b>	449.82	0.4498	23.81	0.2419	400.87	0.52	2.07	<b>48.95</b>
								<b>33 mm</b>

$$Et \text{ (real)} = P - XP^2$$

$$P = 0.372 \text{ metros por año}$$

$$T = 23.8 \text{ °C}$$

$$X = 1 / (0.8 + 0.14t) = 0.242$$

$$Et \text{ (real)} = 0.372 - (0.242 * 0.3732) = \mathbf{0.339 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{\text{Precipitación Efectiva} = \text{Precipitación} - Et \text{ (real)}}$$

$$0.372 - 0.339 = 0.033 \text{ m} = \mathbf{33 \text{ mm}}$$

Es decir, la Precipitación Efectiva anual en la Subcuenca = 545 km<sup>2</sup> \* 0.000033 = 0.018 km<sup>3</sup>, por lo tanto, es igual a 18 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>.

Si tenemos que el escurrimiento es igual a 6.38 hm<sup>3</sup> (Sainz, 1987), entonces, la infiltración ó recarga al acuífero queda de la siguiente manera:

$$18 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1} - 6.38 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1} = \mathbf{11.62 \text{ hm}^3}$$

Entonces la precipitación total de la subcuenca resulta de:  $545 \text{ km}^2 \times 10^6 \text{ m}^2 * 0.372 \text{ m}$ , lo que es igual a  $202.74 \times 10^6 \text{ m}^3$ , es decir,  $202.74 \text{ hm}^3$ .

El volumen que se extrae actualmente para riego agrícolas y uso pecuario, es de  $9.03 \text{ hm}^3$ , en el ciclo 2009-2010, para uso público urbano, se extrae un volumen de  $9.5 \text{ hm}^3$ , lo que nos da un total de  **$18.53 \text{ hm}^3$**  de bombeo en la zona.

Por lo tanto, el retorno de riego es de  **$1.355 \text{ hm}^3$** , lo cual representa el 15% del volumen extraído actualmente para uso agrícola.

En base a la Ley de Darcy, se configuración se seleccionaron tres canales para agua dulce y ocho canales para agua salada, de flujo de longitud variable para calcular el gasto “Q” en cada uno, aplicando el coeficiente de transmisividad de la prueba efectuada más cercana a la celda particular de que se trate y la suma de todos los caudales así obtenidos determina el gasto que recarga horizontalmente al acuífero.

Las entradas por flujo subterráneo horizontal de agua dulce equivalen a un total de  **$0.007548 \text{ hm}^3$**  (Cuadro 2).

**Cuadro2:** Entradas por flujo subterráneo horizontal de agua dulce, Ley de Darcy.

CELDA	ANCHO DE LA CELDA	LONGITUD	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD	GASTO POR CELDA	GASTO POR AÑO
	a (m)	l (m)	$i = 10 / l$ (m/m)	$T = m^2/s$	$q = m^3/s$	$Q = m^3/año$
1	534	484	0.020661157	0.002815	0.031058058	2683.416
2	662	608	0.016447368	0.002815	0.030650164	2648.174
3	691	758	0.013192612	0.002815	0.025661807	2217.180
						<b>7548.771</b>

Debido a que el acuífero en cuestión muestra severos daños de sobreexplotación este presenta intrusión salina, como se mencionó anteriormente, de hasta 12 km continente adentro por lo que en lugar de calcular las Salidas por flujo subterráneo horizontal (**Sh**), se obtiene las Entradas por flujo subterráneo horizontal de agua salada (Cuadro 3) al igual que las de agua dulce (Ley de Darcy).

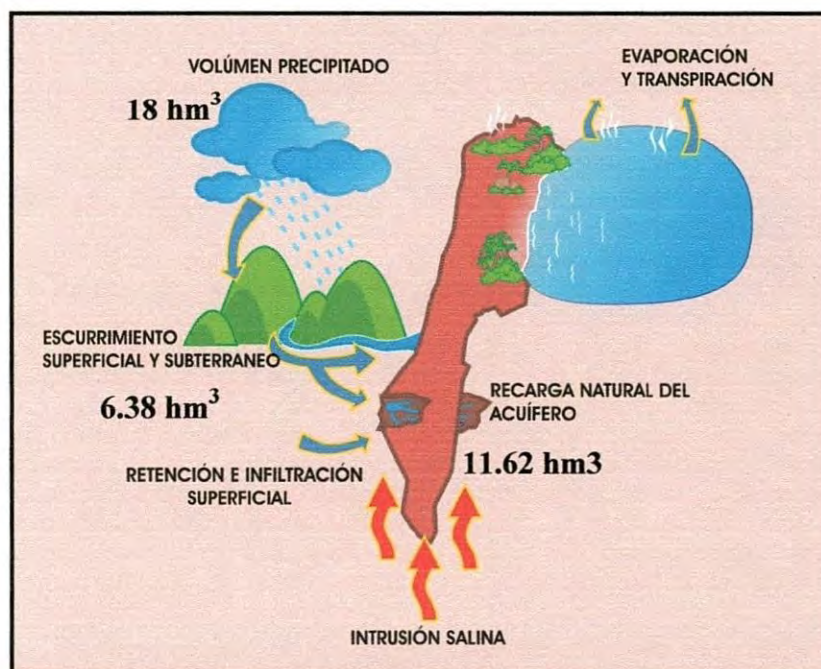
**Cuadro3:** Entradas por flujo subterráneo horizontal de agua salada, Ley de Darcy.

CELDA	ANCHO DE LA CELDA	LONGITUD	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD	GASTO POR CELDA	GASTO POR AÑO
	a (m)	l (m)	$i = 10 / l$ (m/m)	$T = m^2 s^{-1}$	$q = m^3 s^{-1}$	$Q = m^3 año^{-1}$
1	727	776	0.012886598	0.029	0.271688144	23473.856
2	676	654	0.01529052	0.029	0.299755352	25898.862
3	562	560	0.017857143	0.029	0.291035714	25145.486
4	580	617	0.016207455	0.029	0.2726094	23553.452
5	613	1016	0.00984252	0.029	0.174970472	15117.449
6	805	1505	0.006644518	0.029	0.155116279	13402.047
7	936	1766	0.005662514	0.029	0.153703284	13279.964
8	1800	1948	0.00513347	0.029	0.267967146	23152.361
						<b>163023.476</b>

Por lo tanto, empleando la ecuación de Balance para determinar los volúmenes de entradas y salidas tenemos que:

$$\text{Cambio Almacenamiento} = 0.007548 + 0.163 + 1.355 + 11.62 - 18.53 = \mathbf{-5.384 \text{ hm}^3} \text{ (Fig. 13)}$$

En términos globales, el cambio de Almacenamiento es negativo.



**Figura. 14:** Balance de Agua Subterránea de la Subcuenca Moscobampo Boca Abierta.

Por otra parte, para el cálculo de la disponibilidad del agua subterránea, se aplica el procedimiento indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, la cual indica que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\mathbf{DAS = Rt - DNCOM - VCAS}$$

Donde:

DAS, es la Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica, y la Recarga total media anual (Rt) para el acuífero *Valle de Moscobampo-Boca Abierta*, en el Estado de Sonora es de **12.975 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>**, que es resultado de sumar la recarga vertical (11.62 hm<sup>3</sup>) mas el retorno de riego (1.355 hm<sup>3</sup>).

Para el acuífero *Valle de Moscobampo-Boca Abierta*, no existe, descarga natural comprometida (DNCOM), debido a la presencia de agua de mar.

Y por último, el volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS), al 30 de abril de 2002 es de **18.53 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>**.

Entonces se tiene que la disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada en la norma referida queda de la siguiente manera:

$$12.975 \text{ hm}^3 - 0.0 - 18.53 \text{ hm}^3 = \mathbf{-5.655 \text{ hm}^3}$$

Por lo tanto, la anterior indica que **no existe volumen disponible** para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero *Moscobampo-Boca Abierta*, en el Estado de Sonora.



## CONCLUSIONES

1. En la Subcuenca se diferencian dos zonas: una de la parte alta con pozos pecuarios y la otra en la parte baja con pozos agrícolas y de agua potable.
2. Formación de dos conos de abatimiento: En el cono de abatimiento inferior se observa una gran evolución negativa debida al bombeo de pozos agrícolas, pozos de agua potable y a la presencia de una barrera impermeable de la sierra del Bacatete al este.
3. De acuerdo a información proporcionada por personal de la Comisión Estatal del Agua en Guaymas, (comunicación verbal) los pozos de agua potable ubicados en la parte sur de la subcuenca extraen un gasto de 307 litros por segundo, lo que representa un gasto anual de  $9.7 \text{ hm}^3$ , lo que ha propiciado la aparición de los conos de abatimiento en esa zona.
4. De acuerdo a los valores detectados por el trazador Bromuro y los conos de abatimiento mostrados en la piezometría se observa que los pozos 133 y 135 ya han sido afectados por la presencia de agua de mar, por lo que se concluye que la intrusión salina ya ha avanzado más de 12 km continente adentro.
5. Por los resultados obtenidos en el balance de agua subterránea se concluye que la subcuenca Moscobampo Boca Abierta no tiene Disponibilidad de agua Subterránea, = **5.655 hm<sup>3</sup>**.
6. En la mayoría de los pozos de la subcuenca no cuentan con la infraestructura adecuada para realizar las mediciones de niveles estáticos ni de caudal.

## RECOMENDACIONES

1. Reducir las extracciones de agua potable de  $9.5 \text{ hm}^3$  que se extraen actualmente a  $4.7 \text{ hm}^3$  concesionados según REPDA.
2. Debido a que el cambio de almacenamiento es negativo con  $-5.384 \text{ Hm}^3$  se sugiere la construcción de la planta desalinizadora, con lo cual se dejaría de extraer el volumen de  $9.5 \text{ hm}^3$  correspondiente al agua potable, con lo cual se podría controlar la intrusión salina y estabilizar así el abatimiento del acuífero.
3. Controlar las extracciones de pozos tanto agrícolas como pecuarios mediante el equipamiento y supervisión de los mismos.
4. Conservar e implementar obras de captación y recarga de agua como las obras de bolseo
5. Determinar la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo existente.
6. Incrementar la eficiencia de la aplicación del agua de riego mediante la utilización de casa sombras o invernaderos y continuar con los programas de tecnificación de riego.

## BIBLIOGRAFIA

- Arámbula M.D., J.C. Palomino. 1991. Panorama geohidrológico del Estado de Sonora. Universidad de Sonora. Tesis profesional. Departamento de Geología. Hermosillo, Sonora. México.
- Arvayo E.V.R., L.E. Huez . 1994. Avenidas del río Asunción entre los años 1989, 1990, 1991 y comportamiento hidrológico del arroyo San Marcial de 1988 a 1992 en la estación Punta de Agua II, estado de Sonora. Tesis profesional. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. México.
- Castillo E. 2000. Estructura y dinámica de la Administración Agrícola en el Distrito de Riego 084 Guaymas- Empalme. Tesis de Especialización. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. México.
- Chávez G. 2006. Disponibilidad de Agua Subterránea en México. IV Foro Mundial Del Agua. México D.F.
- CONAGUA 2009. Atlas del Agua en México 2009. Edición 2009.p.46, 80 y 82.
- CONAGUA 2010. Estadísticas del Agua en México, edición 2010.p.43, 44, 170 y 173
- Córdova J.P. 2001. La sobreexplotación y la intrusión salina en el acuífero de Guaymas, Sonora, México. Tesis profesional. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. México.
- Córdova M.A., M.A. Salmón. 1997. Evolución de la piezometría del acuífero del Valle de Guaymas Sonora desde 1967 a 1995. Tesis profesional. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Sonora. Hermosillo Sonora. México.
- Flores O. 2008. Programa para la gestión del agua para la cuenca del Rio Mátape. Tesis de Especialidad. El colegio de Sonora. Hermosillo Sonora México.
- Gay W. Lloyd. 1996. Second international seminar of watershed management. The University of Arizona. Hermosillo. Sonora.México.
- Martínez M.E. 1999. Caracterización hidrológica de las formaciones volcánicas y sedimentarias en el Valle de Boca Abierta. Tesis de Especialidad. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora. México.
- Morales, M., J. Castillo. 2010. Estudios Geofísicos e Hidrogeológicos para identificar sitios Permeables para el Diseño e Instalación de Obras de Infiltración para el Acuífero del Valle de Guaymas. Valle de Guaymas, Sonora. México.



**ANEXOS**

**Cuadro 4.-** Vértices del parteaguas de la Subcuenca Moscobampo-Boca Abierta.

ID	X	Y	ID	X	Y	ID	X	Y
1	559384	3119410	25	543975	3082190	49	561590	3140240
2	559279	3118420	26	542383	3084940	50	561576	3139890
3	559977	3117140	27	543287	3088960	51	563494	3138610
4	559594	3114780	28	539751	3096440	52	563860	3137600
5	556192	3113160	29	540349	3098270	53	563651	3133780
6	555517	3114100	30	539835	3101630	54	563206	3133930
7	554801	3114200	31	544243	3107410	55	562597	3133200
8	554061	3113760	32	545266	3110190	56	561968	3132440
9	553393	3113650	33	546405	3114720	57	561550	3131170
10	552892	3113110	34	547621	3117780	58	561633	3130630
11	552404	3112940	35	550059	3125520	59	561462	3130270
12	552175	3112130	36	550498	3130580	60	560929	3128350
13	551048	3110280	37	551336	3133580	61	560124	3127630
14	552038	3109260	38	551278	3136100	62	560254	3126730
15	551279	3108200	39	551744	3137290	63	559944	3125540
16	550977	3106290	40	553190	3138290	64	559982	3123820
17	551877	3105690	41	554199	3138730	65	560109	3121310
18	551107	3103600	42	555596	3138900	66	565081	3136680
19	550159	3096450	43	556341	3140110	67	564922	3134320
20	549284	3090530	44	557573	3140090	68	548354	3121420
21	546917	3085490	45	558423	3141420	69	549304	3123240
22	546978	3082180	46	559059	3140940	70	550592	3099700
23	546371	3080700	47	559255	3141150			
24	545334	3080990	48	560292	3141130			

**Cuadro 5.-** Vértices del parteaguas de las microcuencas de la Subcuenca Moscobampo-Boca Abierta

ID	X	Y	ID	X	Y	ID	X	Y
1	562600	3133450	38	558350	3131550	75	549950	3122900
2	559700	3135400	39	558650	3131300	76	550300	3122800
3	558850	3135650	40	559200	3131650	77	551300	3121500
4	558450	3135050	41	559200	3131650	78	551500	3121350
5	556500	3135650	42	553450	3132850	79	551450	3120850
6	555900	3135400	43	554150	3127600	80	551550	3120250
7	555400	3135000	44	554200	3126050	81	551150	3119450
8	555000	3134150	45	554250	3125700	82	551500	3118700
9	554300	3133000	46	554200	3125250	83	551700	3117600
10	552350	3129500	47	554500	3125300	84	552850	3116850
11	551800	3130100	48	554450	3124850	85	553600	3117400
12	551300	3130550	49	554550	3124250	86	556000	3117000
13	550550	3130650	50	554650	3124000	87	556300	3117400
14	553650	3129000	51	554200	3123900	88	557350	3117650
15	554100	3128300	52	554650	3122750	89	558000	3117100
16	554650	3128000	53	554350	3122300	90	558700	3116150
17	555850	3127850	54	554250	3121700	91	559450	3116150
18	556300	3127400	55	554750	3121750	92	560000	3116650
19	557150	3127800	56	554050	3120400	93	547500	3117700
20	558000	3128000	57	554300	3120100	94	548750	3116700
21	558800	3158600	58	554650	3120250	95	549000	3116000
22	558750	3129350	59	550000	3119700	96	549000	3114650
23	559250	3129150	60	556100	3119800	97	549500	3114500
24	559450	3130200	61	556450	3120350	98	550000	3113850
25	559850	3129100	62	556650	3120000	99	550300	3116000
26	559850	3130550	63	557000	3120150	100	551900	3116500
27	560350	3130800	64	557200	3119800	101	551750	3115050
28	560850	3131700	65	557700	3120550	102	553300	3113750
29	560800	3132100	66	557750	3121650	103	548600	3114000
30	561450	3132550	67	559350	3121000	104	548650	3110100
31	553050	3130500	68	559150	3120900	105	547850	3103000
32	554300	3130550	69	550300	3127700	106	547200	3100400
33	554100	5130250	70	550750	3127750	107	547350	3096700
34	556050	3129050	71	550800	3125600	108	547400	3096200
35	557550	3129550	72	550500	3125000	109	546300	3094100
36	557000	3129650	73	550250	3124300	110	545200	3090800
37	557150	3130350	74	549750	3127900	111	545100	3088800

**Cuadro 6.-** Vértices de las principales corrientes de la Subcuenca Moscobampo-Boca Abierta.

ID	X	Y	ID	X	Y	ID	X	Y	ID	X	Y
1	562200	3134100	42	562100	3133000	83	550700	3127150	124	545850	3091450
2	562150	3135200	43	561500	3132000	84	551500	3128800	125	545350	3090300
3	563350	3135150	44	660550	3129050	85	551100	3124250	126	545300	3089000
4	563600	3135800	45	557900	3127450	86	550700	3124800	127	545000	3088800
5	563150	3137650	46	556150	3127400	87	550450	3124000	128	544750	3086000
6	561500	3137800	47	555300	3127000	88	550400	3127250	129	543900	3085150
7	561100	3138450	48	554400	3127000	89	550300	3125350	130	543650	3084350
8	560400	3138800	49	554200	3128000	90	555150	3124400	131	545000	3089600
9	560000	3138650	50	553500	3128700	91	549900	3123950	132	544700	3090700
10	559700	3138800	51	553100	3128900	92	550000	3121000	133	544750	3092300
11	558400	3139450	52	552550	3129300	93	549700	3120450	134	544900	3094150
12	558700	3139400	53	552250	3129350	94	549500	3118000	135	544000	3095900
13	558200	3139800	54	559600	3122500	95	549500	3117700	136	544700	3097500
14	557200	3139650	55	558150	3123400	96	548750	3117000	137	545500	3099350
15	557900	3139000	56	557500	3123150	97	559000	3116750	138	545550	3100700
16	556500	3139950	57	556800	3123400	98	549300	3116150	139	546250	3102100
17	556400	3138800	58	556400	3124150	99	549450	3114800	140	546650	3104000
18	556050	3138800	59	555450	3124200	100	549550	3113450	141	547450	3105850
19	556000	3138500	60	554800	3126700	101	549550	3112750	142	547900	3106700
20	555000	3137500	61	554700	3126100	102	549300	3113550	143	547150	3108750
21	554750	3137500	62	554750	3125300	103	549400	3112000	144	547550	3109550
22	554400	3137000	63	559700	3123000	104	549750	3112000	145	547400	3110000
23	553000	3135600	64	559350	3120150	105	550000	3111200	146	547900	3110250
24	552650	3136350	65	558350	3119000	106	549850	3110300	147	548100	3111650
25	552500	3135750	66	557450	3119000	107	550300	3109400	148	548500	3112100
26	552100	3135500	67	557000	3118350	108	550000	3108800	149	547600	3115300
27	551600	3133700	68	556000	3118200	109	550450	3105300	150	559500	3114850
28	552600	3131850	69	555500	3118400	110	550000	3104100	151	557800	3116100
29	552300	3131100	70	555000	3118000	111	550350	3103600	152	557650	3116550
30	552650	3130650	71	553600	3118000	112	550050	3103100	153	557000	3116750
31	552100	3130000	72	553500	3117600	113	550500	3102350	154	556000	3116500
32	552550	3129500	73	553100	3117350	114	550400	3101850	155	555000	3115900
33	553000	3130000	74	552450	3118500	115	549400	3101700	156	554100	3116250
34	554100	3130600	75	552650	3119250	116	549100	3100700	157	553150	3116650
35	554100	3132500	76	552400	3120600	117	548000	3098650	158	552450	3116600
36	555150	3133800	77	553150	3112250	118	548250	3098650	160	552000	3117000
37	555100	3134600	78	553300	3123000	119	547500	3096800	161	552000	3117250
38	555800	3135550	79	552850	3124250	120	547600	3095700	162	550100	3117150
39	558700	3134700	80	551750	3125550	121	546500	3094150	163	549300	3113250
40	559400	3133800	81	549950	3125800	122	546700	3093250			
41	562100	3133100	82	551100	3125950	123	546150	3092600			



Cuadro 7.- Paro de bombeo 1996 y 2010.

POZO	BROCAL	X	Y	P.N.E 1996	PIEZO 1996	P.N.E 2010	PIEZO 2010
3	50.603	546943	3101326	61.71	-11.107	66.13	-15.527
31	57.939	546888	3102716	70.01	-12.071	95.39	-37.451
37	33.755	543686	3096192	52.4	-18.645	56.98	-23.225
74	117.832	544815	3120241	111.4	6.432	114.27	3.562
93	75.671	547131	3107688	86.6	-10.929	90.4	-14.729
131	44.312	543792	3098922	55.81	-11.498	62.01	-17.698
132	41.004	544299	3097697	54.22	-13.216	58.14	-17.136
133	24.646	543390	3092864	47.1	-22.454	57.73	-33.084
135	37.914	541696	3093266	-50.48	88.392	53.82	-15.906
141	82.06	543423	3111696	85.89	-3.83	85.89	-3.83
142	42.696	544715	3098869	53.2	-10.504	58.61	-15.914
146	71.13	547527	3103155	69.7	1.43	75.22	-4.09
152	98.955	542945	3115199	105.94	-6.985	106.8	-7.845
GRANJA K-94	12	538014	3089847	26.25	-14.25	26.25	-14.25
2-CP	112.53	544789	3117475	109.4	3.13	142.18	-29.65
30-M	119.46	544037	3119615	110.3	9.16	113.8	5.66
34-CP	110.27	545973	3116719	110	0.27	113.64	-3.37
38M	107.531	541171	3119297	109.5	-1.969	112.99	-5.459
41-M	61.09	542137	3105135	76.46	-15.37	80.41	-19.32
52-M	63.798	542881	3104744	73.16	-9.362	79.5	-15.702
E-2	96.2	537324	3118320	102.68	-6.48	100.7	-4.5
NORIA	29.5	537412	3090060	26.85	2.65	26.85	2.65
NORIA	25.3	535743	3090834	24.34	0.96	24.34	0.96
NORIA	28.3	537003	3089936	24.88	3.42	24.88	3.42
NORIA	29.7	537549	3090091	26.53	3.17	26.53	3.17
POB. EL VAGO	11	542233	3086999	18.05	-7.05	18.05	-7.05
EL VAGO	17.98	544493	3089222	36.59	-18.61	36.59	-18.61
COAPAES #1	19	544910	3094732	50.31	-31.31	50.31	-31.31
COAPAES #2	20	543899	3094790	52.83	-32.83	52.83	-32.83
COAPAES #4	34.786	543865	3094853	56.31	-21.524	56.31	-21.524
COAPAES #6	34.572	543007	3095144	57.84	-23.268	57.84	-23.268
SONORA	57.512	545593	3104540	76.09	-18.578	76.09	-18.578
LA MISITA	153.737	550560	3127642	47.95	105.787	47.95	105.79
LA VERBENA	137.74	547869	3126004	53.4	84.34	53.4	84.34
LA MISA	176.179	545847	3139091	45.83	130.349	45.83	130.35
LA TUNA	218.77	556405	3138217	89.67	129.1	89.67	129.1
LA BONITA	165.824	553410	3130255	69.16	96.664	69.16	96.664
MOSCOBAMPO	168.995	553889	3129766	60.785	108.21	60.785	108.21
EL TORERO	127.498	546360	3121835	25.89	101.608	25.89	101.61
SAN MARTÍN	131.726	548780	3122682	54.39	77.336	54.39	77.336
J. RODRIGUEZ	39.25	541067	3097926	66.51	-27.26	66.51	-27.26
ICP	58.245	544467	3103809	71.32	-13.075	80	-21.755

**Cuadro 8** Análisis químicos del Valle de Guaymas y Boca Abierta

POZO	X	Y	Br	Cl	HCO3	rCl/HCO3	rCl/Br
			(mg/L)			(meq/L)	
19	535838	3095717	1.526	100.687	219.6	0.789	148.717
20	536761	3097567	1.063	86.86	201.3	0.743	184.174
23	536266	3098796	0.8	97.141	219.6	0.761	273.688
28	530313	3098410	1.133	86.86	244	0.613	172.796
36	525307	3102306	4.004	250.298	97.6	4.413	140.898
41M	541651	3104968	3.116	416.927	219.6	3.267	301.582
72	526160	3099570	5.382	555.903	268.4	3.564	232.808
73	525585	3100091	14.226	1841.429	170.8	18.553	291.753
76	527714	3100465	0.696	222.29	42.7	8.959	719.869
79	527707	3103358	6.207	326.522	183	3.071	118.57
81	526944	3102925	4.004	854.772	79.3	18.549	481.17
82	530058	3102164	4.301	416.927	207.4	3.459	218.491
84	530685	3102565	1.411	225.836	219.6	1.77	360.752
85	531396	3102229	5.151	257.034	219.6	2.014	112.471
86	532429	3103801	5.613	277.952	195.2	2.45	111.614
93	537405	3101323	0.346	365.237	69.54	9.038	2379.257
146	547554	3103297	0.79	57.292	185.44	0.532	163.459
88	534514	3100022	1.008	54.952	171.41	0.552	122.876
87	531373	3100505	5.05	944.113	145.18	11.191	421.381
99	529478	3105085	0.117	60.27	204.35	0.508	1161.069
100	529966	3106318	0.709	46.443	183.61	0.435	147.644
101	530047	3106625	1.457	127.276	209.84	1.044	196.893
PGB14	529452	3091457	14	2011.958	14.64	236.497	323.917
55	526451	3098899	4.5	2232.29	114.43	33.571	1118.1
6SJJ	523404	3098425	9.23	11291.78	24.52	792.483	2757.423
1*	544950	3094830	1.217	27.872	122	0.393	51.62
2*	543870	3094650	1.804	71.427	170.8	0.72	89.242
3*	544204	3093807	1.329	78.777	92.72	1.462	133.603
4*	543650	3093650	1.408	101.041	183	0.95	161.748
5*	545011	3095836	1.305	128.913	158.6	1.399	222.653
6*	543050	3094950	1.775	73.169	173.63	0.725	92.912
7*	541862	3088217	3.61	227.57	65.39	5.989	142.086
133	544520	3093480	1.012	38.327	158.6	0.416	85.362
1CP	544467	3103809	0.386	57.292	208.62	0.473	334.541
138	541589	3091582	1.256	128.907	150.67	1.472	231.329
135	541748	3092967	1.39	207.684	139.08	2.57	336.768
132	544052	3097930	0.309	136.069	150.67	1.554	992.529
131	543775	3099036	0.725	143.23	162.26	1.519	445.286
31	546874	3102679	0.319	50.131	92.72	0.93	354.208
* Pozo agua potable C.O.A.P.A.E.S.			a dulce = < 1 ppm	a dulce = < 250 ppm		a mar = 20-50	a mar = > 675

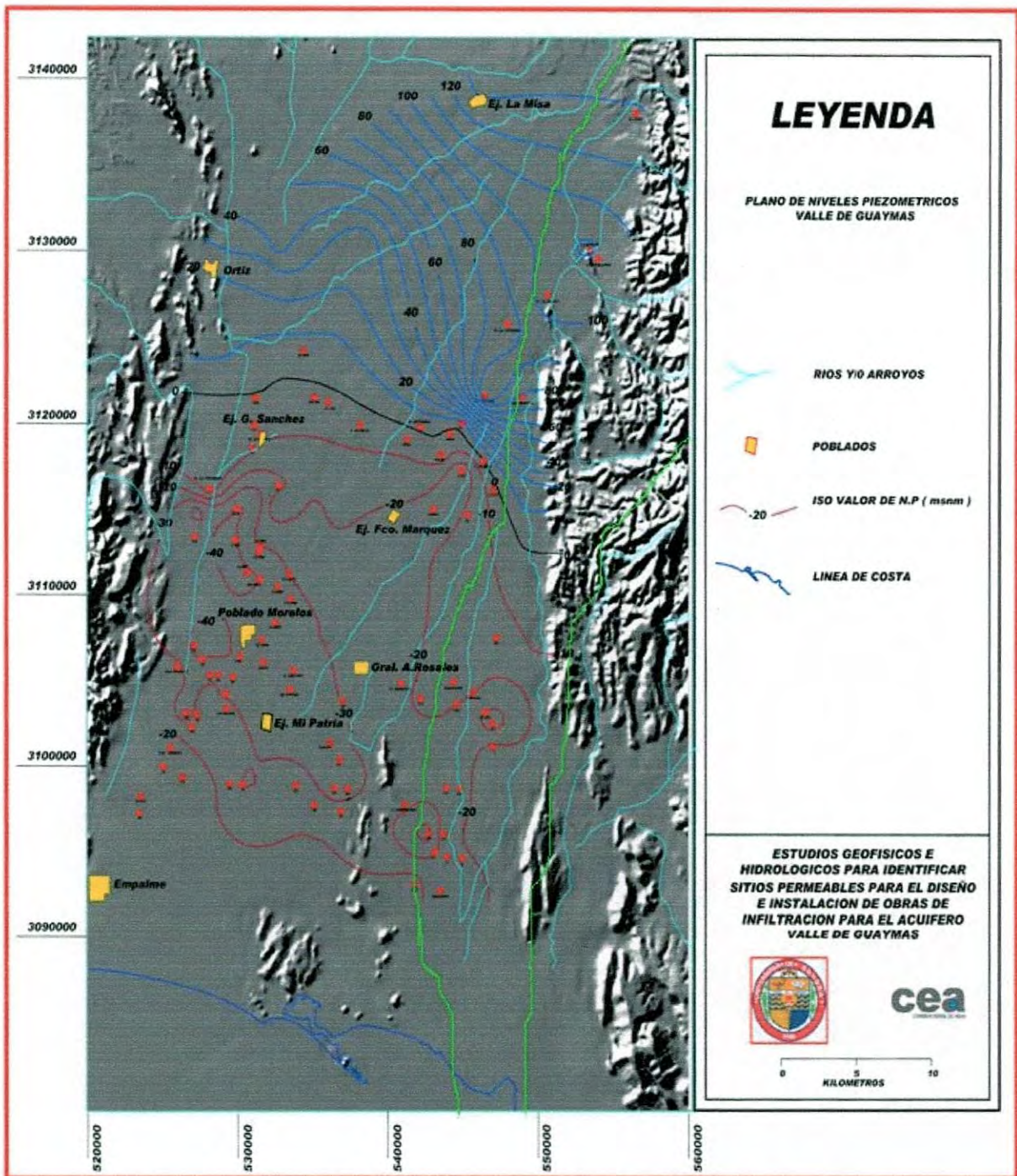


Figura 15: Plano de los niveles piezométricos del Valle de Guaymas.

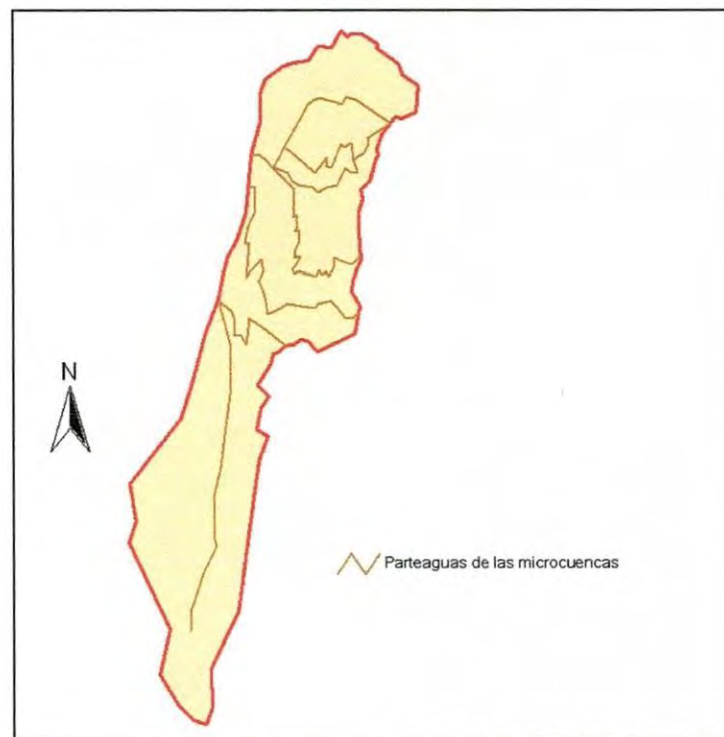
**Cuadro 9.- Resultados del recorrido de campo.**

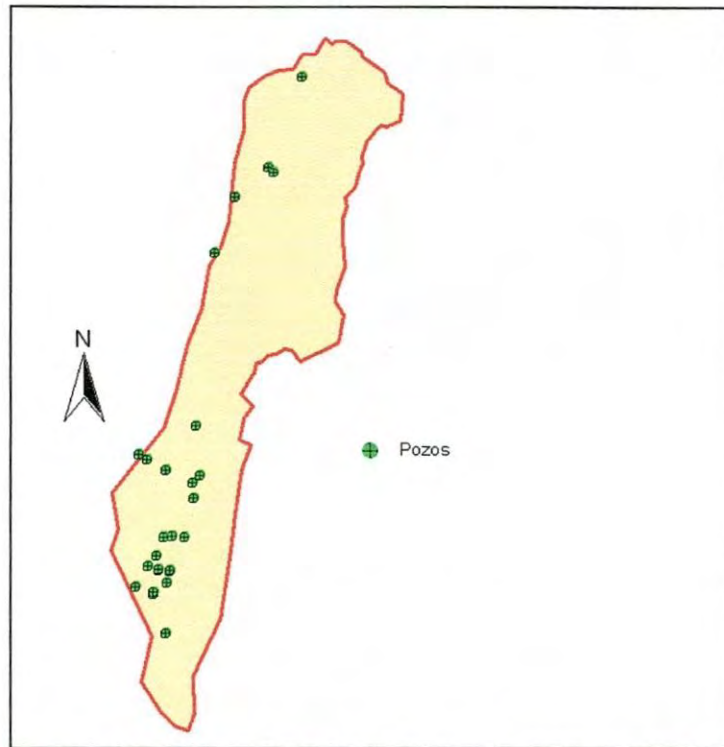
<b>Predio</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Motor</b>	<b>Prof. N.E.</b>	<b>Q</b>	<b>Uso</b>
La Tuna	556451	3138294	Combustión	85.20	2	Pec-Dom
Heriberto Jara	546155	3097845	Sin equipo	54.12		
Pob. El Vago	542233	3086999	Eléctrico	18.05		Pub-urb
Juan Mapol	543977	3088297	Eléctrico	NPS	90	Agrícola
El Vago	544493	3089222	Eléctrico	NPS	95	Agrícola
San Andrés	541670	3091551	Eléctrico	NPS	100	Agr-Pub
Los Venados	543442	3092819	Eléctrico	NPS	100	Agrícola
Los Venados	541773	3093244	Eléctrico	NPS	100	Agrícola
Coapaes #3	544559	3093715	Eléctrico	NPS	70	Pub-urb
Coapaes #4	543711	3093835	Eléctrico	NPS	70	Pub-urb
Coapaes #1	544910	3094732	Eléctrico	NPS	57	Pub-urb
Coapaes # 2	543899	3094790	Eléctrico	NPS	42	Pub-urb
Coapaes # 6	543078	3095187	Eléctrico	NPS	78	Pub-urb
Los Hoyos	543730	3096174	Eléctrico	NPS	100	Agrícola
Coapaes	545777	3096489	Sin equipo	51.34		
Los Hoyos	544106	3097868	Eléctrico	NPS	100	Agrícola
Los Hoyos	542331	3097984	Eléctrico	NPS	60	Agrícola
El Norteño	543829	3098913	Eléctrico	NPS	100	Agrícola
Rancho El Pilar	545987	3098952	Eléctrico	NPS	2.5	Pec-Dom
Col.Vic.Guerrero	547565	3100312	Ext. Manual	61.00		Dom
Los Jacales	549256	3100749	Planta luz	61.77	1.5	Pec-Dom
Col.Vic.Guerrero	547042	3101294	Eléctrico	NPS	40	Agrícola
Col.Vic.Guerrero	546955	3102679	Eléctrico	NPS	65	Agrícola
La Esquina	547117	3103203	Combustión	69.65	1	Pec-Dom
La Esquina	547580	3103328	Eléctrico	NPS	42	Agrícola
Sonora	545665	3104489	Eléctrico	NPS	4	Pub-urb
Ejido Sonora	547154	3107665	Eléctrico	NPS	80	Agrícola
San Martín	548870	3121735	Combustión	NPS	2	Pec-Dom
El Torero	546389	3121817	Fotoceldas	26.05	2	Pecuario
La Misita	550616	3127651	Combustión	49.00	4	Pecuario
Moscobampo	553985	3129696	Combustión	61.18	4	Pecuario
Moscobampo	553982	3129727	Combustión	NPS	3	Pecuario
Moscobampo	553849	3129757	Combustión	NPS	4	Pec-Dom
La Bonita	553438	3130248	Combustión	54.60	4	Pec-Dom

Km. 7.3474

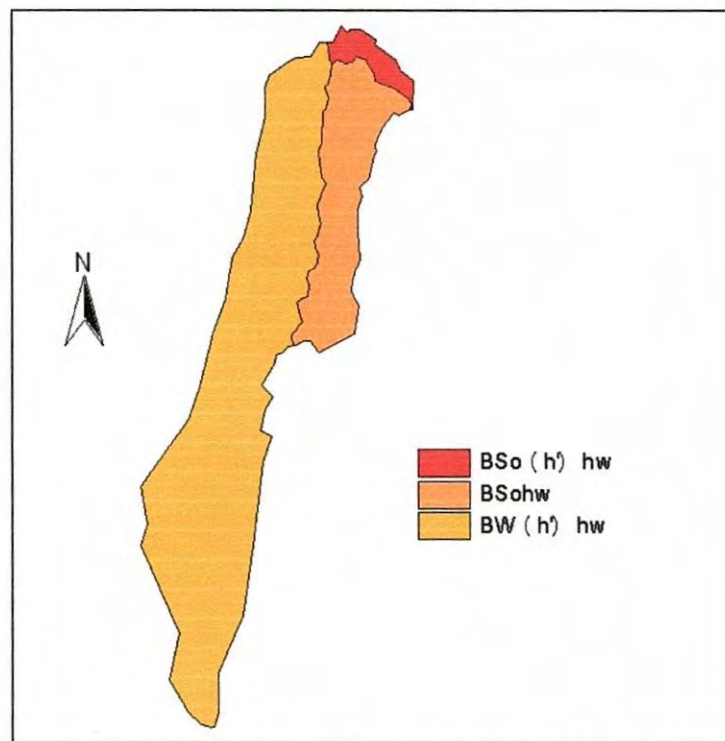
**Cuadro 10:** Datos recopilados durante el recorrido de campo

Rancho	Propietario	X	Y	Z	Fuente de Agua	°C	C.E.
La Tuna	Juan Iñigo	540062	3088432	112m	tinaco	37.6	841
Moscobampo	Juan Parra	553886	3129761	175m	pila	30.9	1714
La Bonita	Ismael Peralta	553408	3130264	170m	pila	25	268
La Misita	José Castillo	550556	3127548	160m	pozo	35.6	1756
San Martín	Daniel Burgos	548857	3121755	141m	pila	36.2	1308
La verbena	Alberto Clark	547868	3126038	138m	pozo	36.6	1816
La Victoria	Del ejido	541163	3119299	113m	pozo	31.6	1327

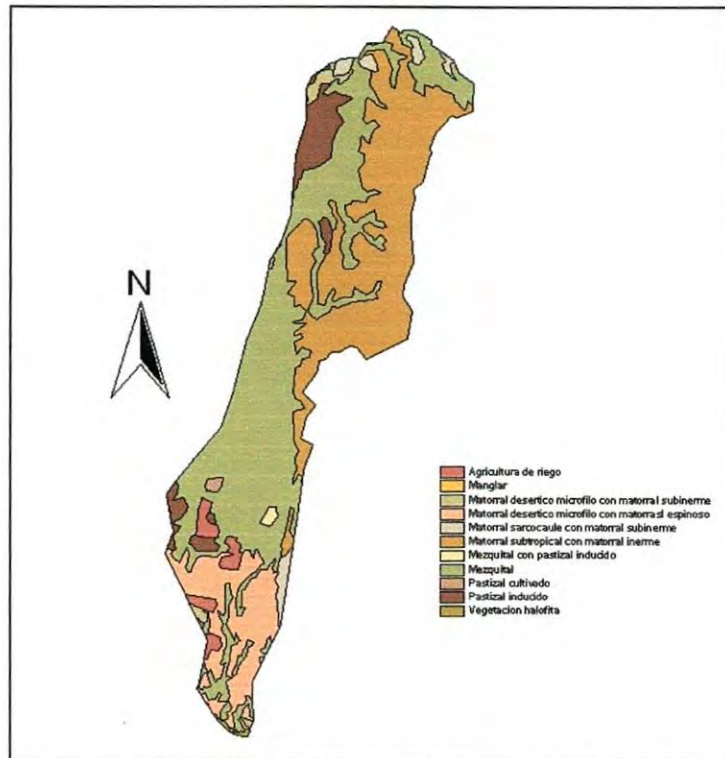
  
**Figura. 16:** Microcuencas de la Subcuenca Moscobampo- Boca Abierta



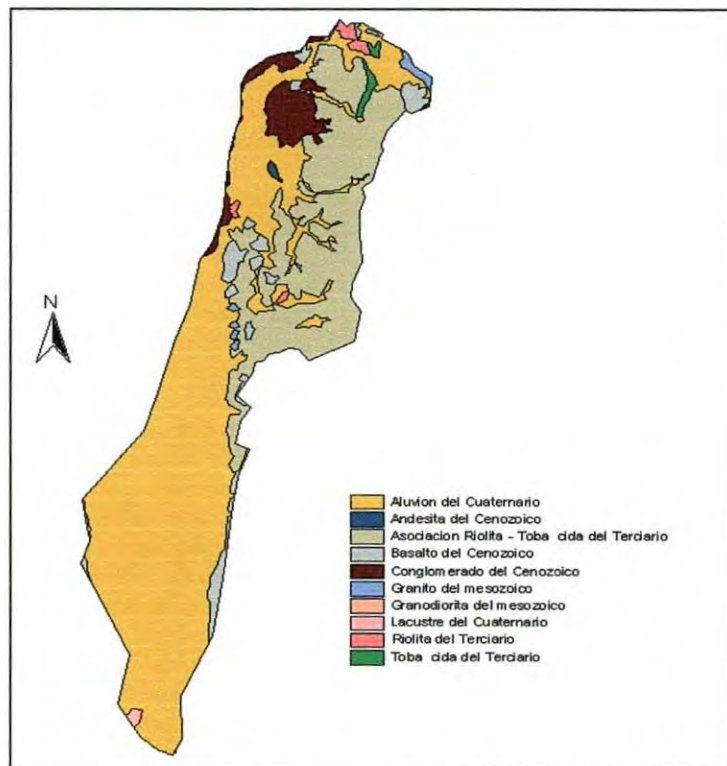
**Figura. 17:** Pozos ubicados dentro de la Subcuenca Moscobampo- Boca Abierta



**Figura. 18:** Tipo de clima que predomina en la Subcuenca Moscobampo- Boca Abierta



**Figura. 19:** Tipo de vegetación de la Subcuenca Moscobampo- Boca Abierta



**Figura. 20:** Geología de la Subcuenca Moscobampo- Boca Abierta

