

# Valoración Hidrosocial

---

En la Reserva de la Biósfera  
del Vizcaíno, BCS.; México

**L**UIS F. BELTRÁN MORALES

**S**AUL CHÁVEZ LÓPEZ

**A**LFREDO ORTEGA RUBIO

EDITORES

**CIB**

**VALORACIÓN HIDROSOCIAL EN LA RESERVA DE  
LA BIOSFERA DEL VIZCAÍNO, BCS. MÉXICO**

# **VALORACIÓN HIDROSOCIAL EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DEL VIZCAÍNO, BCS. MÉXICO**

**Luis F. Beltrán Morales  
Saúl Chávez López  
Alfredo Ortega Rubio  
Editores**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL  
NOROESTE, S.C.**

México 2010

## IV

Primera Edición: Enero de 2010

D.R.© Publicación de divulgación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Mar Bermejo N.195, Col. Playa Palo de Santa Rita. La Paz, Baja California Sur, México, 23090.

El contenido de los capítulos es responsabilidad de los autores

La presentación y disposición en conjunto de **Valoración hidrosocial en la Reserva de la Biosfera del Vizcaíno, BCS.; México** son propiedad del editor. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método electrónico, mecánico (incluyendo fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito del editor.

Un agradecimiento especial a L.A.E. Tania Flores Azcárrega por su contribución para la integración de cada uno de los capítulos de este documento.

Responsables de Edición:

Luis F. Beltrán Morales

Saúl Chávez López

Alfredo Ortega Rubio

Tania Flores Azcárrega

Portada y Edición interior:

Gerardo Rafael Hernández García

HC140.E5 D48 2010

Valoración hidrosocial en la Reserva de la Biosfera del Vizcaíno, BCS.; México / editado por Luis Felipe Beltrán Morales, Saúl Chávez López y Alfredo Ortega Rubio. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2009.

227 p.: il. ; 23 cm.

1. Desarrollo Regional--México

I. Beltrán Morales, Luis Felipe, Saúl Chávez López y Alfredo Ortega Rubio.

Impreso en México

Printed in México

## Editores

**LUIS F. BELTRAN MORALES.** Doctor en Ciencias Ambientales por el Centro Europa-Latinoamérica de la Universidad de Concepción, Chile (EULA), Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II. Investigador Titular del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., Profesor de la Maestría en Economía del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la UABCS y del Posgrado en Uso, Preservación y Manejo de Recursos Naturales del CIBNOR, S.C. Líneas de Investigación: Economía de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Actualmente es Coordinador de Vinculación, Servicios y Transferencia de Investigación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. (CIBNOR, S.C.). E-mail: lbeltran04@cibnor.mx

**ALFREDO ORTEGA RUBIO.** Doctor en Ciencias con especialidad en Ecología por el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Investigador Titular E del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, CIBNOR, S.C. Ha sido galardonado con dos Premios Nacionales: Reconocimiento a la Conservación de la Naturaleza 2003, en la Categoría Académica y de Investigación. Reconocimiento del Gobierno de la República Mexicana específicamente por la trayectoria y calidad de sus trabajos de investigación en materia de Conservación de la Naturaleza Mexicana, incluyendo las Áreas Naturales Protegidas, las Regiones Prioritarias para la Conservación y sus zonas de influencia. Asimismo, ha sido galardonado con el Premio Nacional al Mérito Nacional Forestal y de la Vida Silvestre 1993, por la calidad de sus trabajos de investigación en vida silvestre. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel III. Líneas de investigación: Ecología aplicada en la conservación, uso racional y manejo sustentable de recursos naturales renovables. E-mail: aortega@cibnor.mx

**SAUL CHAVEZ LOPEZ.** Doctor en Ciencias del Mar por la Universidad Politécnica de Cataluña, España. Profesor invitado en el programa de postgrado de Ciencias Marinas y Costeras de la Universidad Autónoma de Baja California Sur y en la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad de Colima. Colaboración en el Grupo de Impacto Ambiental del CIBNOR, S. C., de 1992 al 2009 en 36 estudios ambientales entre los que destacan el Plan de Manejo (1992) y el Ordenamiento Ecológico (2003) de la Reserva de la Biosfera del Vizcaíno B. C. S. Líneas de Investigación: hidrodinámica y modelado costero; Geología Estructural e Hidrología Subterránea. Actualmente Investigador Asociado en el Programa de Planeación y Conservación Ambiental del Centro de Investigaciones Biológicas Noroeste, S. C. E-mail: schavez04@cibnor.mx

# Índice

## **Presentación**

Sergio Hernández Vázquez | 1

## **Introducción**

Luis F. Beltrán Morales, Saúl Chávez López, Alfredo Ortega Rubio. | 3

## **CAPÍTULO I**

### **Geomorfología de las Cuencas Hidrográficas y Calidad de Agua de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno, B. C. S.**

Saúl Chávez López | 7

## **CAPÍTULO II**

### **Hidrología de la Reserva de la Biosfera de el Vizcaíno, B. C. S.**

Saúl Chávez-López | 35

## **CAPÍTULO III**

### **Calidad de Agua en la Reserva de la biosfera de el Vizcaíno, B. C. S.**

Saúl Chávez-López | 53

## **CAPÍTULO IV**

### **Organismo Regulador del Recurso Agua en la Reserva de la Biosfera del Vizcaino, B.C.S. México.**

Luis F. Beltrán Morales, Magdalena Lagunas Vázquez, José Antonio Beltrán Morales, Tania Flores Azcárrega, Martín Martínez Salvador | 77

## **CAPÍTULO V**

### **Estructura Tarifaria del Recurso Agua en la Reserva de la Biosfera del Vizcaino, B.C.S. México**

Luis F. Beltrán Morales, Marco A. Almendarez Hernández, Gerzaín Avilés Polanco, Lizbeth Salgado Beltrán, Enrique Troyo Diéguez | 99

## **CAPÍTULO VI**

### **Volumenes de Consumo de Agua por Localidad en la Reserva de la Biosfera del Vizcaino, B.C.S. México**

Luis F. Beltrán Morales, José Borges Contreras, Magdalena Lagunas Vázquez, José Antonio Beltrán Morales, Felipe García Rodríguez | 113

## **CAPÍTULO VII**

### **Eficiencia Económica en el Contexto de la Provisión de Agua Bajo Precios Com-**

## VIII

### **petitivos y de Monopolio. Un Análisis Teórico para las Comunidades Costeras de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, B.C.S. México**

Marco A. Almendarez Hernández, Luis Armando Jaramillo-Mosqueira,  
Luis Felipe Beltrán Morales, Gerzaín Avilés Polanco | 129

## CAPÍTULO VIII

### **Destilación solar de agua de mar: una alternativa de ecodesarrollo para la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, B.C.S. México**

Miguel A. Porta Gandara, Joaquín Gutierrez Jaguey | 153

## CAPÍTULO IX

### **Mercados de Derecho de Agua: Una opción de ecodesarrollo en la Reserva de la Biósfera del Vizcaíno, B.C.S.**

Fidel Cota Verdugo, Félix Alfredo Beltrán Morales, Tania Flores Azcárrega,  
Luis F. Beltrán Morales, Alfredo Ortega Rubio | 173

### **Conclusiones Generales**

Luis F. Beltrán Morales, Saúl Chávez López, Alfredo Ortega Rubio. | 201

**Autores** | 203

**Referencias** | 207

# Presentación

Indudablemente a nivel planetario uno de los desafíos estratégicos de nuestra generación es la búsqueda de las soluciones óptimas que nos permitan un eficiente manejo del recurso natural agua. Las soluciones a los acuciantes problemas de manejo de los recursos hídricos, tienen que ver no solo con el uso propiamente del agua de una región, sino también con las acciones y decisiones que se toman en el uso de las tierras circundantes, a nivel de las cuencas.

Prácticamente toda la decisión de cambio de uso de suelo, de ordenamiento territorial y ecológico, y de desarrollo urbano, industrial o agropecuario, conllevan cambios que afectan tanto la cantidad como la calidad del agua superficial y subterránea. A su vez tales cambios repercuten en las potencialidades de utilización actual y futura que puede soportar una cuenca hidrológica, y sus recursos hidráulicos.

En este contexto, todo nuevo desarrollo, o cambio en decisiones de manejo altera en mayor o menor medida, la estructura y funcionalidad de los sistemas ecológicos circundantes y por ende en los procesos hidrológicos de los sistemas naturales, alterando los servicios ecológicos que prestan, tales como la captación de agua pluvial. Si a todo ello le aunamos el que toda decisión de cambio en patrones de uso de suelo, están a su vez determinadas por motivaciones de índole económica, las cuales a su vez dependen del entramado de condiciones sociales, tenemos entonces que un estudio de valoración hidrosocial es necesariamente un estudio interdisciplinario.

Precisamente la obra que tiene en estos momentos Usted en sus manos ha sido conceptualizada y desarrollada con un enfoque interdisciplinario, incluyendo en el análisis aproximaciones geomorfológicas, hidrológicas, jurídicas, sociales y económicas.

El resultado de este interdisciplinario esfuerzo ha redundado en el planteamiento estratégico de una Gestión Integral del recurso Agua, con prácticas recomendaciones tales como la implementación de instrumentos económicos, como la valoración, para solucionar los conflictos de administración del agua, precisamente en el Área Natural Protegida de mayor extensión y de mayor aridez de nuestro Estado de Baja California Sur y una de las más áridas y extensas de nuestra Republica Mexicana.

Por la importancia estratégica del tema Agua, por la importancia de esta Área Natural Protegida y por la aproximación interdisciplinaria con la que se ha desarrollado, esta obra indudablemente será de interés y utilidad tanto para aquellos que desean profundizar en el conocimiento de estas temáticas, como para aquellos que tienen en sus manos la toma de decisiones en esta Región.

**Dr. Sergio Hernández Vázquez**  
Director General CIBNOR



## CAPÍTULO II

# Hidrología de la Reserva de la Biosfera de el Vizcaíno, B. C. S.

Saúl Chávez-López<sup>2</sup>

### II.1. Hidrología superficial

La Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno se encuentra en las regiones hidrológicas RH2 Baja California Centro-Oeste, Vizcaíno y RH5 Baja California Centro-Este Santa Rosalía (INEGI, 1983d, 1984e, 1989f, 1996), las cuales se subdividen en cuencas y estas a su vez en subcuencas (Tabla 1, Fig. 1). Ambas regiones se encuentran limitadas por el parteaguas de la Sierra de la Giganta de tal manera que las cuencas de la región hidrológica RH2 drenan sus escurrimientos superficiales hacia la vertiente del Océano Pacífico, y se encuentran influenciadas por la vertiente occidental de la unidad geomorfológica de sierras altas (Sierra de la Giganta), así como por las unidades Geomorfológicas de llanuras y sierras bajas, mientras que los escurrimientos de las cuencas de la región RH5 drena hacia el Golfo de California y se limita a la vertiente oriental de la unidad geomorfológica de sierras altas, por lo que sus cuencas y subcuencas son de menor amplitud y extensión (Fig. 2 del Capítulo I, Fig. 1).

Los escurrimientos son poco significativos debido a la escasa precipitación, la cual en la región de la Biosfera varía de 300 mm en las sierras, y disminuye a 50 mm conforme se desciende hacia la costa (INEGI, 1996). De esta lluvia el 75% se presentan entre los meses de julio a octubre y el 25% restante se concentra en los meses de diciembre, enero y febrero. A esto se suma las elevadas temperaturas y evaporación, ocasionando que la mayor parte del año el agua no fluya, lo que se refleja en una red hidrográfica compuesta por arroyos de régimen intermitente, cuya mayor densidad se presenta en las sierras donde existen pendientes de fuertes a moderadas con drenaje de tipo dendrítico, radial y rectangular, y

---

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., Programa de Planeación Ambiental y Conservación.

cuya densidad disminuye considerablemente a partir de las laderas de las sierras donde la pendiente se reduce, hasta llegar a las llanuras en donde el drenaje adopta un patrón de tipo paralelo. Los arroyos que desembocan en el Golfo de California, son de corto recorrido, producto del relieve escarpado de la vertiente oriental de la Sierra de la Giganta (unidad geomorfológica de Sierras Altas), mientras que hacia la vertiente del Océano Pacífico los arroyos son de mayor longitud, debido a la amplia llanura de El Vizcaíno, sin embargo en ésta porción de la Reserva predominan los depósitos Cuaternarios inconsolidados, que ocasionan que las corrientes se filtren a lo largo de los causes, por lo que muchos arroyos no llegan al mar excepto durante lluvias torrenciales asociadas a eventos ciclónicos que originan grandes escurrimientos los cuales pueden llegar a presentarse en los meses de agosto y septiembre, y cuya ocurrencia aleatoria hace que pierdan significado en la formación de escurrimientos permanentes (INEGI, 1996; CRM, 1999).

En este sentido la cubierta vegetal, también interviene en la cantidad de escurrimiento, al actuar como retardador de éste o bien propiciando la infiltración. La diversidad de vegetación existente, está ligada a la variabilidad climática y con los cambios de latitud y se clasifican en tres rangos de densidad: alta, media y baja, de las cuales las últimas dos son las que caracterizan la región de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno.

Como densidad media se tiene el Matorral Sarcocaula, distribuido en toda la región desde el nivel del mar hasta los 1200 msnm caracterizado por arbustos de tallos carnosos, gruesos que prolifera en las sierras donde el terreno es rocoso y suelo somero.

El rango de baja densidad se distribuye principalmente en zonas de lomeríos y áreas cercanas a la costa donde se desarrolla el matorral crasicaula y el cardonal, tipos vegetativos dominados fisonómicamente por cactáceas grandes características de zonas áridas y semiáridas, donde quedan englobadas la vegetación de desiertos arenosos, matorral desértico micrófilo y matorral inerme. La vegetación Halófila, y de Dunas Costeras, esta distribuida en la franja costera en donde también es común observar amplias áreas sin vegetación, debido a efectos de erosión o suelos afectados por salinidad.

Según INEGI (1996), en la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno se identifican rangos de escurrimiento de entre 5 y 10 % distribuida principalmente en las Sierras altas y bajas, con lluvias superiores a los 200 mm, y donde existen estratos rocosos con superficie y pendientes fuertes, así como baja permeabilidad y densidad de vegetación, mientras que los coeficientes menores a 5%, se presentan en materiales altamente permeables, con vegetación de mediana y baja densidad y una precipitación menor a los 50 mm, que se distribuye principalmente, en los valles intermontanos, llanuras y franja costera así como en zonas en donde existe material rocoso altamente fracturado y alterado (Fig. 1).

Lo anterior evidencia que los aspectos geomorfológicos así como la intensidad y frecuencia de la precipitación y la rapidez con que el suelo se satura, son aspectos esenciales para que se produzcan escurrimientos los cuales para el área de la Reserva de la Biosfera de

**Tabla 1.** División hidrológica en la región de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno.

\* Datos de áreas reportados en INEGI (1996), \*\* Datos de áreas reportados en SGM (1999).

REGION	CUENCA	SUBCUENCA	
<b>RH2</b> Baja California Centro - Oeste (Vizcaíno) (25778 km <sup>2</sup> )  (25924.539 km <sup>2</sup> )* ( 25892 km <sup>2</sup> )**	<b>A</b> L. San Ignacio - A. San Raymundo (11187 km <sup>2</sup> )  (14666.102 km <sup>2</sup> )*	c A. San José de Gracia (1051 km <sup>2</sup> )	
		d A. San Benito (1079 km <sup>2</sup> )	
		e A. San Patrocinio (1416 km <sup>2</sup> )	
		f R. San Ignacio (2954 km <sup>2</sup> )	
		g L. San Ignacio (2654 km <sup>2</sup> )	
	<b>B</b> San Miguel - A. del Vigía (14591 km <sup>2</sup> ) (11258.437 km <sup>2</sup> )*	a A. Del Vigía (1753 km <sup>2</sup> )	
		b L. Scammon (7328 km <sup>2</sup> )	
		c Las Lagunas (2648 km <sup>2</sup> )	
		h Puerto San Bartolomé (2862 km <sup>2</sup> )	
		e Sta. Rosalía (1104 km <sup>2</sup> )	
<b>RH5</b> Baja California Centro - Este (Santa Rosalía) (4836 km <sup>2</sup> ) (4884.76 km <sup>2</sup> )*  (4927 km <sup>2</sup> )**	<b>A</b> A. La Trinidad - A. Mulegé (4602 km <sup>2</sup> ) (4665.937 km <sup>2</sup> )*	f A. Sta. Ana (549 km <sup>2</sup> )	
		g A. La Trinidad (615 km <sup>2</sup> )	
		a El Barril (234 km <sup>2</sup> )	
	<b>B</b> Sta. Isabel y Otros (234 km <sup>2</sup> ) (218.825 km <sup>2</sup> )*		

El Vizcaíno se resumen según INEGI (1996), en la tabla 2, evidenciando una hidrología superficial poco significativa.

Sin embargo los aspectos fisiográficos y geológicos de las regiones hidrológicas hacen que éstas cobren cierta importancia en cuanto a la distribución y acumulación de agua subterránea, teniendo por una parte a las sierras como zonas de recarga y por otra a los valles como zonas de almacenamiento, por lo tanto estos últimos constituyen potenciales acuíferos.

A este respecto la permeabilidad es un factor importante y esta relacionado directamente con la litología y su control estructural. De esta manera las unidades litológicas, determinan

en principio las propiedades geohidrológicas que rigen la conformación de los depósitos acuíferos en el subsuelo y las cuales están dadas por la porosidad, permeabilidad y capacidad volumétrica de la unidad litológica contenedora, que en suma definen distintas unidades con posibilidades geohidrológicas, así como su distribución y extensión.



**Figura 1.** Regiones hidrológicas, cuencas, subcuencas y unidades de escurrimiento en el área de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno.

Una primera aproximación para determinar la distribución y extensión del agua en el subsuelo de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno se presenta en la figura 2, como unidades geohidrológicas, las cuales INEGI (1983a, 1984b, 1989c, 1996) clasifica según las características físicas e hidrológicas de los materiales, como material consolidado y no consolidado con posibilidades altas, medias y bajas para funcionar como acuífero.

El rango de permeabilidad baja, incluye todos los materiales con alto contenido en arcilla, escaso fracturamiento y poros incomunicados, y se asocia tanto a material no consolidado como consolidado; Los depósitos no consolidados son de origen palustre y lacustre, ubicados en las planicies y franja costera, principalmente formando las marismas de las lagunas costeras, donde la inundación por efecto de la marea ocasionan la saturación del suelo. Dentro de esta unidad se encuentran conglomerados y areniscas, con intercalaciones

**Tabla 2.** Volúmenes de Esgurrimiento en las cuencas de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno (Modificada de INEGI, 1996).

Región Hidrológica	Cuenca Hidrológica	Area dentro del Estado (km <sup>2</sup> )	Precipitación Media Anual en Cuenca (mm)	Volumen Medio Anual Precipitado Millones (m <sup>3</sup> )	Coficiente de Esgurrimiento en %	Volumen de Esgurrimiento Anual Millones ( m <sup>3</sup> )
RH2 Baja California Centro-Oeste (Vizcaíno)	L. San Ignacio A. San Raymundo (A)	14666.102	70.653	1036.215	3.59	37.293
	San Miguel A. del Vigía (B)	11258.437	118.848	1338.046	5.351	71.599
RH5 Baja California Centro-Este (Santa Rosalía)	A. La Trinidad A. Mulegé (A)	4665.937	159.260	743.101	5.614	41.721
	A. Santa Isabel y Otros (B)	218.825	96.428	21.101	0.847	4.018

de arcilla y yeso estos depósitos se ubican al pie de las sierras o en afloramientos aislados de poca extensión. De igual manera se incluyen los depósitos Cuaternarios de aluvión compuestos de arenas muy mal seleccionadas de grano medio a grueso y con altos porcentajes de limo y arcilla, los cuales se localizan en valles de arroyos estrechos y de espesor reducido, por lo que estos materiales no conforman acuíferos económicamente explotables, sin embargo existen aprovechamientos por medio de norias con nivel estático hasta de 4 m y gasto muy reducido.

En cuanto a la Unidad de material consolidado, se asocia en su mayoría, a las sierras altas y bajas. Está constituida por rocas metamórficas e ígneas intrusivas como extrusivas de distintas edades y en menor medida se tienen rocas sedimentarias de origen marino, continental y mixto, del Jurásico al Terciario. La permeabilidad de estas rocas, es casi nula, aunque presentan fracturamiento significativo relleno con material arcilloso, por lo que no forma permeabilidad secundaria importante.

De las rocas metamórficas, destaca el Complejo Ofolítico de la Península del Vizcaíno, cuyas unidades presentan fallamiento y fracturamiento de intenso a moderado, e intemperismo somero. A estas rocas se asocia una serie de manantiales de gasto reducido, localizados comúnmente en trazas de fallas y fracturas.

Las rocas ígneas intrusivas son apófisis de un cuerpo de granito de grandes dimensiones que forma cerros aislados en el centro sur y norte de la región de la Reserva

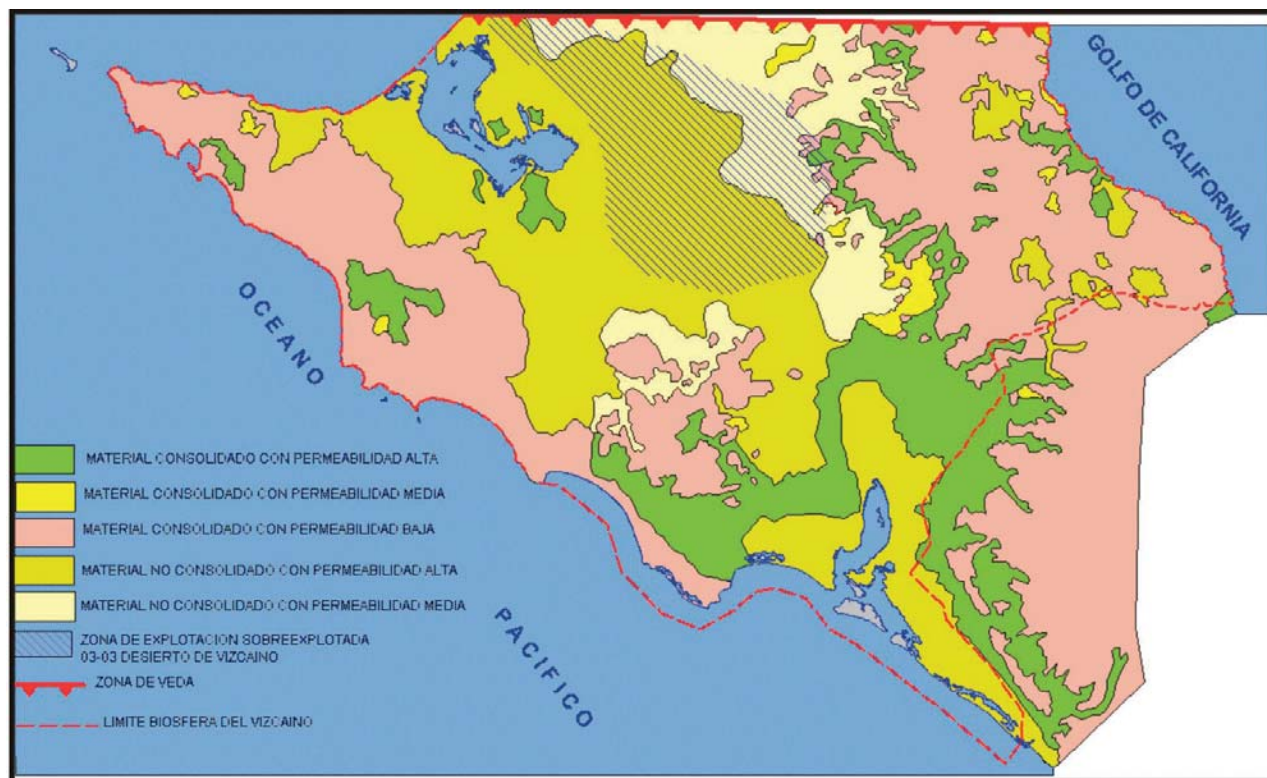


Figura 2. Unidades Geohidrológicas en la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno.

de la Biosfera de El Vizcaíno, mientras que en la porción de la Península del Vizcaíno estas se ubican en las sierras bajas y corresponden a gabro con cierto grado de serpentización. Las rocas ígneas extrusivas son más numerosas, con rangos del Jurásico al Cuaternario y están representadas por piroclastos y derrames, los primeros asociados irregularmente a arenisca y conglomerado formando rocas volcanosedimentarias; los piroclastos son tobas y brechas soldadas y disgregadas que forman mesetas y cerros con pendientes pronunciadas; los derrames son de riolita y basalto, se les encuentra intercalados con los piroclastos o en forma aislada. Presentan intemperismo somero a profundo y fracturamiento que varía de escaso a moderado, tienen permeabilidad de baja a media, y geohidrológicamente funcionan como barreras del flujo subterráneo, aunque en los basaltos fracturados intensamente y tobas y brechas sueltas funcionan como zonas de recarga.

Las rocas sedimentarias están formadas por caliza, yeso, bentonita, coquina, lutita, arenisca y conglomerado; su depósito es de ambiente marino, continental y mixto. La caliza es aporcelanada y fosilífera, la primera es compacta y la segunda se encuentra en ocasiones de consistencia suelta; el yeso se encuentra en capas delgadas a gruesas; la lutita tiene estratificación delgada y laminar, varía de calcárea a arenosa, es deleznable; la limonita se presenta en estratos delgados y medianos; la arenisca se encuentra dispuesta en estratos delgados a medianos, en partes con estratificación cruzada, su granulometría varía de fina a gruesa, en algunos lugares se encuentra bien cementada con material calcáreo; el

conglomerado tiene cantos redondeados a subredondeados, es polimíctico y pobremente cementado en matriz arenosa.

El relieve que integran es de cerros, lomeríos de pendiente suave, mesas y terrazas, sus afloramientos se localizan principalmente en el sur y oeste del área de la Reserva.

Las unidades de material no consolidado con permeabilidad media se encuentran formadas por arenisca, arenisca-conglomerado y conglomerados del Terciario. La litología sobresaliente es de sedimentos areno-arcillosos y en menor medida conglomeráticos. Estos depósitos presentan inmadurez textural y los clastos están mal clasificados, pero el contenido de material limo-arcilloso impide el desarrollo de una buena permeabilidad. Esta unidad aflora principalmente en la zona noreste de la llanura del Vizcaíno, así como al sur del poblado del mismo nombre.

El aluvión del Cuaternario se encuentran rellenando valles y a lo largo de arroyos consiste de limo, arena y grava, su espesor es variable y los acuíferos que se desarrollan en estos depósitos son de tipo libre y se explotan por medio de norias y pozos, cuyos niveles estáticos varían de 1 a 35 m y de 3 a 48 m respectivamente. La recarga se lleva a cabo por los escurrimientos y arroyos que bajan de la sierra.

La unidad de material consolidado con permeabilidad media, aflora en áreas muy reducidas, tanto en la parte norte, centro sur, y al norte de Bahía Asunción. Las rocas que presentan este comportamiento. son principalmente de tipo sedimentario; tales como areniscas, conglomerados e intercalaciones de limonita-arenisca del Terciario. La mala compactación, clasificación e inmadurez textural en las areniscas, dan como resultado una permeabilidad de media a baja. La limonita es arenosa y calcárea, compacta no cementada y de estratificación delgada y media; la arenisca es de grano medio, fosilífera, compacta, en parte cementada presenta lentes de conglomerado y fracturamiento moderado.

Además, de rocas sedimentarias que pertenecen a esta unidad, se tienen rocas volcánicas máficas, principalmente basaltos, brechas basálticas y tobas de la misma composición, que generalmente se encuentran con fracturamiento moderado y su expresión topográfica es de lomeríos distribuidos profusamente en toda la región así como relacionados a edificaciones volcánicas. En esta unidad se conforman acuíferos de tipo libre y confinado, que son explotados principalmente con norias de niveles estáticos que varían de 4 a 22 m y gastos reducidos.

La permeabilidad alta se presenta en depósitos inconsolidados del Cuaternario, con alta porosidad, y transmisibilidad. Se localizan principalmente en las zonas bajas de la llanura de El Vizcaíno y en la franja costera del Pacífico y Golfo de California, así como en valles intermontanos. Las características de esta unidad ocasionan que sea la que aloja a la gran mayoría de los depósitos acuíferos.

Litológicamente esta unidad se constituye por todo tipo de depósitos sedimentarios y suelos, de diferentes texturas y diferentes fases químicas. La inmadurez textural y la mala clasificación de los clastos, le dan una permeabilidad de buena a regular, aquí se incluyen los

depósitos de materiales detríticos sueltos representados por areniscas, conglomerados, suelos tipo aluvial y eólico, que se encuentran como relleno de los valles de la entidad, también quedan incluidos en este rango, los basaltos muy fracturados e intemperizados.

Los sedimentos de origen aluvial están constituidos por arena y grava, cuyo espesor es variable; la arenisca es de grano medio a grueso, mal compactada y sin cementar; el conglomerado es polimítico, de cantos redondeados a subredondeados, mal compactado y mal clasificado con matriz arenosa; esta unidad constituye planicies y lomeríos de pendiente suave, está expuesta principalmente en el desierto Vizcaíno.

En el material consolidado con permeabilidad alta incluye las formaciones litológicas compuestas por areniscas y conglomerados terciarios, areniscas del Cretácico Superior, areniscas y tobas arenosas del Terciario. Estas rocas presentan buena permeabilidad, debido a la mala compactación que tienen los materiales clásticos, además de su inmadurez textural y mala clasificación. Esta unidad aflora de forma muy limitada en la sierra Placeres, alrededores de laguna San Ignacio. en los poblados Cadeje del Pacífico, La Purísima y El Pabellón. En esta unidad se incluyen rocas metamórficas de la Península del Vizcaíno así como ígneas intrusivas y extrusivas cuya mayor extensión cartografiada, se ubica en gran parte de la sierra de La Giganta, principalmente en el flanco este, hacia el Golfo de California, y cuyas rocas presentan fallamiento e intenso fracturamiento, que le confieren permeabilidad secundaria a través de la cual brotan manantiales de gasto muy reducido. La existencia de estos manantiales no significa que la roca pueda actuar como acuífero, ya que su funcionamiento geohidrológico es como barrera al flujo subterráneo.

Los acuíferos desarrollados en general son de tipo libre y la recarga proviene de aguas meteóricas y lateralmente por el escurrimiento que llega de las zonas montañosas y se infiltra en los depósitos de pie de monte, el agua se extrae por medio de pozos con niveles estáticos que fluctúan en el valle de Vizcaíno entre 6.5 a 44 m y norias de 3.5 a 8 m; en el valle de Muleg el nivel estático varía de 9 a 59 m.

## **II.2. Hidrología subterránea**

Según las unidades geohidrológicas de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno descritas anteriormente, los acuíferos están incluidos en secuencias granulares no consolidadas cuyas edades van del Terciario al Reciente. La permeabilidad de estos depósitos varía de alta a media y los acuíferos manifiestan un comportamiento geohidrológico de tipo libre, aunque por las características estructurales de la región, existen, depósitos de tipo confinado y semiconfinado (INEGI, 1996). El manantialismo se presenta en zonas de montaña, en formaciones rocosas donde la permeabilidad secundaria permite la filtración del agua precipitada, que posteriormente es liberada en volúmenes muy poco significativos de manera gradual hacia zonas topográficas bajas, en donde constituye un aliciente importante en aquellas comunidades que no cuentan con obras hidráulicas (INEGI, 1996).

El Sistema de Información Geográfica del Agua, dependiente de la CNA (SIGA, 2007),



para la región de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno, ubica 5 zonas geohidrológicas de explotación de agua subterránea, tres de ellas en contacto con el Océano Pacífico y dos con el Golfo de California, las primeras tres corresponden a la 302 Vizcaíno, 301 Punta Eugenia y 303 San Ignacio, y las otras dos a la 339 Paralelo 28 y 338 Las Vírgenes (tabla 3, Fig. 3). En su mayoría estas zonas INEGI (1996), las refiere como valles sin embargo esto no significa que dichas zonas se interpreten como compuestas por un solo acuífero ya que se encuentran influenciadas por los aspectos fisiográficos, geológicos, estratigráficos y estructurales, los cuales rigen las propiedades geohidrológicas de los materiales así como la conformación y calidad de agua de los acuíferos, lo que permite que su descripción se apoye en los aspectos geomorfológicos.

**Tabla 3.** Resumen de las zonas geohidrológicas en la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno.

ESTADO	CLAVE	NOMBRE	REGION HIDROLOGICA	SUBREGION HIDROLOGICA	CUENCA
BCS	302	VIZCAINO	02	B.C. CENTRO-OESTE	A. SAN MIGUEL - A. EL VIGIA
BCS	301	PUNTA EUGENIA	02	B.C. CENTRO-OESTE	A. SAN MIGUEL - A. EL VIGIA
BCS	339	PARALELO 28	05	B.C. CENTRO-ESTE	SANTA ISABEL Y OTROS
BCS	338	LAS VIRGENES	05	B.C. CENTRO-ESTE	A. PATERNA - A. MULEGE
BCS	303	SAN IGNACIO	02	B.C. CENTRO-OESTE	L. SAN IGNACIO - A. SAN RAYMUNDO
BCS	337	SANTA ROSALIA	05	B.C. CENTRO-ESTE	A. PATERNA - A. MULEGE

**Zona geohidrológica 301 Punta Eugenia** (Fig. 3): En su geomorfología destacan las Sierra de San José de Castro y Santa Clara (sierras bajas), separadas por parte de la llanura del desierto de El Vizcaíno (FIG. 2 del Capítulo I), y cuyo relieve conforma las subcuencas denominadas como Puerto San Bartolomé (h) y Arroyo del Vigía (a) (tabla 1, Fig. 1), aspectos que sumados a su geología y geología estructural (Franja occidental Bloque tectónico mesozoico, Fig.10 del Capítulo I), evidencian la complejidad en la distribución del agua subterránea en dicha zona, la cual desde luego no se encuentra alojada en un solo acuífero. Otras evidencias de lo anterior, están dadas por las unidades geohidrológicas (Fig. 2), en donde para esta zona predomina el material consolidado con permeabilidad baja, seguido del consolidado con permeabilidad alta, y en menor proporción el no consolidado con permeabilidad media, los cuales a su vez condicionan la cantidad de agua que puede ser acumulada en el subsuelo.

Según INEGI (1996), los acuíferos en esta zona son de tipo libre y semiconfinado asociados a la porción de la llanura del Vizcaíno y a las sierras antes mencionadas respectivamente. Dichos acuíferos se encuentran en areniscas-conglomerados del Cretácico Superior (Formación Valle) y en limolita-arenisca del Plioceno (Formación Almejas), ambas de origen marino, cuya calidad de agua se reporta como salada.

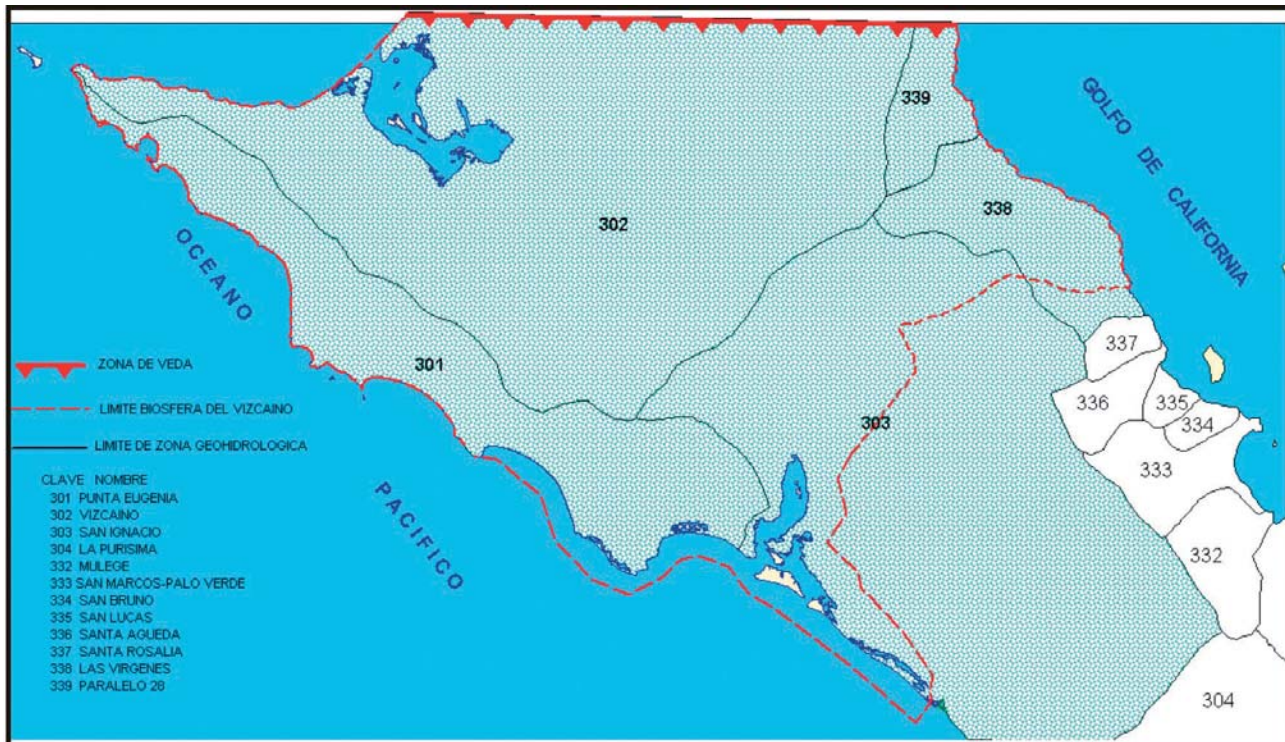


Figura 3. Zonas Geohidrológicas en la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno.

**Zona geohidrológica 302 Vizcaíno** (Fig. 3): Ocupa la cuenca “B” (San Miguel – Arroyo del Vigía), de la región hidrológica RH2, cuyos escurrimientos se presentan a través de las subcuencas Las Lagunas ( c ) y Laguna Scammon (Ojo de Liebre “b”)(Fig. 1). Esta zona se encuentra influenciada por el relieve de tierras bajas integradas por las unidades geomorfológicas de llanura y franja costera, en donde destaca la laguna costera Ojo de Liebre (FIG. 2 del Capítulo I).

Estructuralmente corresponde a la Subcuenca Vizcaíno o Sinclinal Californiano (Fig.10 y 11 del Capítulo I) que se encuentra cubierto por las unidades geohidrológicas de materiales no consolidados de permeabilidad media y alta (Fig. 2), aspectos que han condicionado que la zona Vizcaíno sea la más importante desde el punto de vista de la hidrología subterránea, ya que en esta zona se encuentran concentrados la mayoría de los pozos y norias de la Reserva de la Biosfera del Vizcaíno.

INEGI (1996), CNA (2002), mencionan que el acuífero del Valle el Vizcaíno se encuentra en una secuencia sedimentaria del Plio-Pleistoceno, y depósitos del Reciente, de ambiente

marino, continental y mixto. Ambas fuentes refieren el acuífero como tipo libre. INEGI (1996) refiere una litología integrada por estratos de arena, arcillas, areniscas, tobas, evaporitas, conglomerados, caliza y areniscas fosilíferas, así como depósitos aluviales compuestos por arena y grava, que se encuentran hacia la parte media de la llanura, y de coluvión integrados por limo, arena y grava hacia las bajadas de las sierras. La misma fuente refiere que estos depósitos en la mayor parte de la llanura del Vizcaíno cubren a las rocas sedimentarias del Plio-Pleistoceno (INEGI, 1983a; 1996), las cuales presentan buena permeabilidad con una transmisibilidad que varía entre  $0.5$  a  $97.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , y son comunes los valores entre  $18$  a  $30 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

CNA (2002) por su parte refiere la cuenca de El Vizcaíno conformada como un subsistema de acuíferos, formados en su mayor parte por arenas y gravillas con intercalaciones de arcilla con diferentes características de compactación en los primeros 100 m, variando hasta 250 m en la porción central del valle (llanura) (Fig. 4), con un coeficiente de almacenamiento de 6.2% y una transmisibilidad media de  $36.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

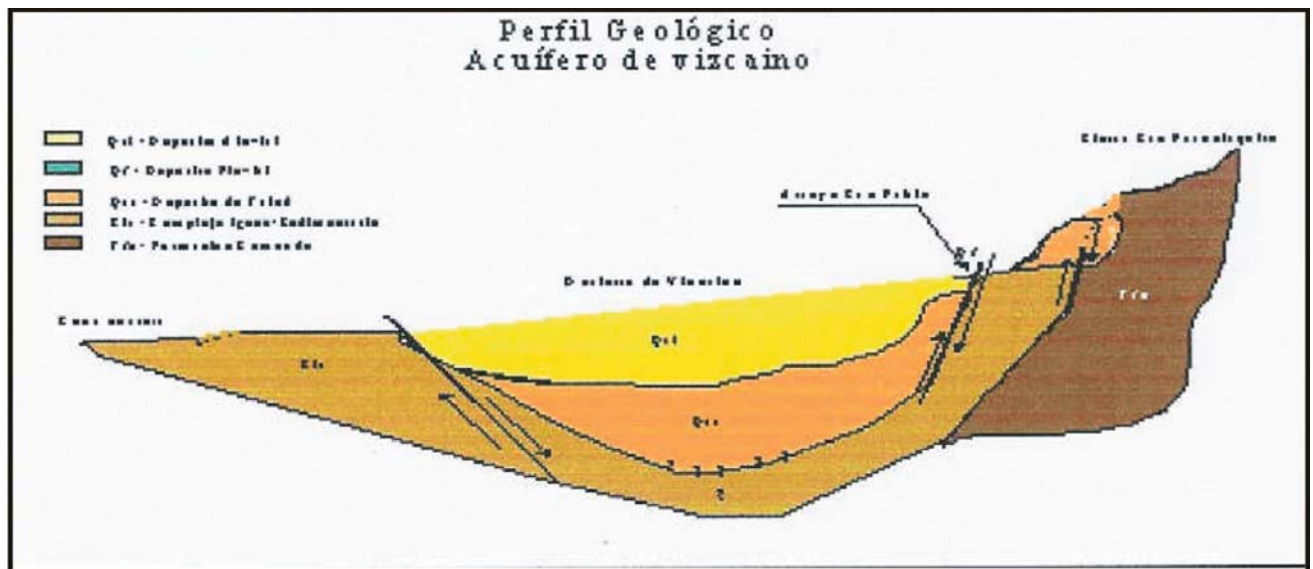


Figura 4. Esquema estructural y geofísico del acuífero Vizcaíno según CNA 2002.

La recarga que recibe este acuífero, proviene principalmente de la infiltración de la lluvia, de  $24.64 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , que se distribuyen en su porción norte, en menor proporción el oriente y precipitaciones mayores en su zona de planicie.

Su entrada vertical calculada para el periodo Abril de 1978 a marzo de 1979 es de  $24.64 \text{ Mm}^3$  en un área de  $406 \text{ km}^2$ , a lo que se suma el volumen que escurre superficialmente a través de sus principales arroyos, ya que estos desaparecen dentro del sistema sin descargar a la línea de costa, cuya filtración calculada se presenta como el producto de el volumen precipitado de  $1,604.88$  por su coeficiente de escurrimiento del orden de  $0.010$ , dando una filtración de  $16.05 \text{ Mm}^3/\text{año}$ .

La misma fuente, refiere que la pérdida por evapotranspiración y la barrera lateral

integrada por el flanco occidental del sinclinal californiano no permite salida al flujo subterráneo hacia la línea de costa.

CNA (2002) menciona que en el calculo del balance no se considero salidas por Evapotranspiración, sin embargo se estima que en su parte baja al no presentar salida deba estimarse una perdida del orden del 75% de su valor potencial de 2000 mm anual a una profundidad máxima de 10 m, pudiendo estimarse que para una línea de costa de 85 km en un ancho de 5 km, su valor promedio estimado sea 4.25 Mm<sup>3</sup>/año.

Según CNA (2002), el volumen drenado hacia la parte baja de cada zona en el periodo 1978-1979 fue el siguiente:

Menciona que a la fecha parte de este volumen es captado por pozos que se ubican actualmente en la parte baja del acuífero, conocida como La Cantina que es zona de salida al acuífero y que por las condiciones prevalecientes es de afirmarse que no existe salida de flujo subterráneo hacia la laguna ojo de liebre.

CNA (2002), para el censo de 1978 reporta un total de 162 obras de explotación, correspondientes a 94 Pozos con profundidad varió entre 25 y 150 m, y 68 Norias con un rango de profundidad entre 10 y 20 m. Del total de las obras 73 se encuentran inactivas y de los 89 restantes 80 son para uso Agrícola y 9 para uso domestico y abrevadero.

INEGI (1996), para el año de 1991 reporta una infraestructura extractiva de agua subterránea de 164 obras, haciendo posible extraer 41.9 millones de m<sup>3</sup> de agua al año, sin embargo, la recarga estimada es de 40.0 millones de m<sup>3</sup>, generando con ello un déficit de 1.9 millones de m<sup>3</sup>.

CNA (2002), refiere para el censo de diciembre de 1998, 252 pozos de los cuales 122 son de uso agrícola, 123 publico urbano (A. P.), 6 de servicios y 1 doméstico. De igual forma reporta extracción promedio de 1993 a 1999 de 38.47 Mm<sup>3</sup>/año (tabla 4).

**Tabla 4.** CNA (2002), promedio de extracción en el acuífero Vizcaíno de 1993 a 1999.

Año	Volumen (Mm <sup>3</sup> /año)
1993	39.9
1994	40.0
1995	38.5
1996	35.0
1997	40.4
1998	39.1
1999	37.4

La cuantificación del agua subterránea según balance volumétrico basado en el principio de

conservación CNA (2002), lo refiere como cambio de almacenamiento ( $\Delta v_s$ ) =  $-2.03 \text{ Mm}^3/\text{año}$ .

Para el cálculo de la disponibilidad del agua subterránea CNA (2002), aplica el procedimiento indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-0II-CNA-2000. De esta manera CNA (2002), refiere la recarga total media anual, como la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Vizcaíno es de 40.69 millones de metros cúbicos por año ( $\text{Mm}^3/\text{año}$ ). Mientras que la descarga natural comprometida se considera de  $5.00 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , así como el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2002, de  $37,398,865 \text{ m}^3/\text{año}$ .

Por lo tanto la disponibilidad de aguas subterráneas es de  $-1,708,865 \text{ m}^3/\text{año}$  lo que indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero Vizcaíno en el Estado de Baja California Sur, coincidiendo tanto INEGI (1996) como CNA (2002), en que el acuífero Vizcaíno se encuentra sobreexplotado

**Zona geohidrológica 303 San Ignacio** (Fig. 3): ocupa la cuenca “A” (Laguna San Ignacio – Arroyo San Raymundo), de la región hidrológica RH2, cuyos escurrimientos se presentan a través de las subcuencas Laguna San Ignacio (g), Rancho San Ignacio (g), arroyo San Patrocinio (e), arroyo San Benito (d) y arroyo San José de Gracia (c) (Fig. 1). Al igual que la zona geohidrológica Valle el Vizcaíno se encuentra influenciada por el relieve de tierras bajas integradas por las unidades geomorfológicas de llanura y franja costera (FIG. 2 del Capítulo I), y de igual manera corresponde estructuralmente a la Subcuenca Vizcaíno o Sinclinal Californiano (Fig.10 y 11 del Capítulo I). Sin embargo el área de la llanura en esta porción de la Reserva se reduce hacia el área de la laguna costera de San Ignacio, donde se forma un corredor entre esta área y la del Valle del Vizcaíno, por la presencia hacia el este de la Sierra de la Giganta (sierras altas) y hacia el oeste por la Sierra Santa Clara (sierras bajas) (Fig. 2 del Capítulo I). La complejidad estructural de esta zona geohidrológica, se manifiesta en superficie hacia la porción de las sierras que integran esta cuenca, por un intenso fracturamiento y fallamiento que confiere a las rocas permeabilidad secundaria y que las ubica como una unidad geohidrológica de material consolidado con permeabilidad alta (Fig. 2). Hacia la parte de la llanura dicha complejidad estructural se encuentra cubierta por las unidad geohidrológica de materiales no consolidados de permeabilidad alta. Según INEGI (1996), el acuífero es de tipo libre y el nivel estático varía en relación directa a la elevación topográfica, por lo que el flujo de agua subterránea, se da de la zona peninsular hacia el mar.

CFE (1991), se refiere para esta zona geohidrológica (303), como Cuenca San Ignacio, en la cual ubica hacia su mitad suroriental dos manantiales, cinco norias y siete pozos estos últimos ubicados en el Ejido Bonfil, así como la construcción de un bordo para almacenar

agua, con una capacidad aproximada de 50,000 m<sup>3</sup> que ocupa un área de 70000 m<sup>2</sup>, en materiales aluviales de baja permeabilidad, y cuya agua se utiliza para riego desde 1980.

Con los niveles estáticos de febrero de 1988 CFE (1991) traza líneas equipotenciales para determinar el flujo del agua subterránea en la cuenca de San Ignacio, y menciona como la mayor elevación la línea equipotencial de 350 msnm, al pie de la Sierra de Santa Lucía (sierras altas), con orientación N-S a NW-SE, por lo que la dirección del flujo de agua subterránea es en general de oriente a poniente, situación que se mantiene hacia la porción central de la cuenca, en donde se ubica la batería de pozos profundos del Ejido Bonfil, considerando como zonas de recarga las sierras de San Jorge, San Francisco, Santa Lucía y la misma planicie. De tal manera que en esta zona el movimiento de agua en el acuífero también se presente muy parecido a las direcciones de escurrimientos superficiales con dirección preferente de norte a sur, siendo el parteaguas subterráneo igual al superficial.

CFE (1991) estima para la Cuenca de San Ignacio (área 1106 km<sup>2</sup>) un volumen promedio anual de 121.7 millones de m<sup>3</sup> de agua de lluvia. De igual forma se menciona que este volumen es muy variable en tiempo, ya que puede ir de cero cuando hay años sin lluvia a unos 337.3 millones de metros cúbicos para años como el de 1982, con precipitaciones de 305 mm.

La misma fuente refiere que entre el 65 a 70 % de la cuenca presenta coeficiente de escurrimiento de 0 y 5% y el resto de la cuenca (30 a 35%) presenta coeficientes de 5 a 10%, por lo que en conjunto el coeficiente de escurrimiento medio es de 2.9%, lo cual representa para la cuenca un volumen medio de escorrentía de 3.5 Mm<sup>3</sup>/año.

En cuanto a la evaporación CFE (1991), la calcula como evapotranspiración “real” con un valor de 114.8 mm. De tal manera que la evapotranspiración “real” para la cuenca de San Ignacio presenta un déficit de 4.8 mm por año en promedio. El cual puede ser tan variable como la precipitación, pudiendo llegar a cero en años sin lluvia, o volverse un excedente hasta de 5.7 mm, ya que por ejemplo para el año de 1981, habría habido una infiltración (recarga del acuífero) de poco más de 6 millones de m<sup>3</sup>, en la cuenca.

CFE (1991) destaca como información el manejo del agua de los pozos del Ejido Bonfil y del bordo de San Ignacio, y menciona que desde el ciclo de cultivo de 1980-81, los pozos del Ejido Bonfil empezaron a utilizarse para regar las primeras 60 hectáreas sembradas, lo cual implicó la extracción de 309,600 m<sup>3</sup> de agua del acuífero, equivalentes a una lamina media de poco más de medio metro, mientras que en la presa se calculó, en todo el ciclo, un volumen de 2.1735 Mm<sup>3</sup>. Para el último ciclo de cultivo para el que hay datos (1985-86), el área sembrada en el Ejido Bonfil se duplicó, pero la extracción de agua subterránea se quintuplicó al pasar a 1.6042 Mm<sup>3</sup>, implicando una lamina media de 1.336 metros, en cambio la utilización del agua del bordo y la superficie sembrada en San Ignacio se mantuvo constante. El poco más de millón y medio de metros cúbicos extraídos del acuífero equivalen al empleo de solo tres de los pozos del Ejido Bonfil (con un gasto en conjunto de

96 l/s) durante casi seis meses y medio, lo que significa que el ejido tiene una disponibilidad de agua suficiente para duplicar la superficie de siembra del ciclo 85-86.

**Zona geohidrológica 339 Paralelo 28 y 338 Las Vírgenes** (Fig. 3): Ambas zonas se ubican en la vertiente oriental de la Sierra de la Giganta (sierras altas, Fig. 2 del Capítulo I), ocupando parte de la cuenca “B” (Arroyo Santa Isabel y otros) y “A” (Arroyo La Trinidad - Arroyo Mulegé) respectivamente y de las cuales en el área de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno solo inciden las subcuencas El Barril (a), Santa Rosalía (e), y las de los arroyos Santa Ana (f) y La Trinidad (g), de la región hidrológica RH5 que drena hacia el Golfo de California (Tabla 1, Fig. 1), estructuralmente corresponden a la Franja oriental Cinturón Volcánico miocénico (Fig. 10 del Capítulo I). En estas zonas geohidrológicas predominan las rocas ígneas extrusivas y volcanosedimentarias del Mioceno al Pleistoceno. Por sus características topográficas y litológicas esta unidad es considerada como zona de recarga de los acuíferos de la región hidrológica RH5, ya que predomina el material consolidado con permeabilidad baja (Fig. 2). Las escasas obras hidráulicas en esta zona, se encuentran ubicadas en pequeños valles intermontanos y fluviales donde los materiales son consolidados y no consolidados con permeabilidad alta. La buena permeabilidad del material consolidado se encuentra asociado a un intenso fracturamiento y fallamiento que confiere a las rocas permeabilidad secundaria generando manantialismo y al mismo tiempo manifiesta la complejidad estructural de ésta zona geohidrológica.

De manera particular el acuífero de la zona conocida como Valle las Vírgenes, INEGI (1996), lo refiere en depósitos de origen aluvial (Cuaternarios) que se encuentran bajo los arroyos; por lo que predominan las arenas y gravas, así como en rocas volcánicas (andesitas, basaltos e ignimbritas) y vulcanoclásticas de la formación Comondú, con permeabilidad secundaria, y en donde las obras hidráulicas alcanzan los 70 y 250 m de profundidad. El nivel estático para el mismo año fluctuó de 5.0 a 90.0 m, profundidad que aumento, conforme a la elevación topográfica.

La misma fuente refiere que para 1991, la infraestructura en el valle Las Vírgenes fue de 53 obras, que en conjunto con los valles de Santa Rosa y Santa Agueda tuvieron una extracción de 0.4 millones de m<sup>3</sup>, y la recarga calculada para esa zona fue de 1.6 millones de m<sup>3</sup>, lo que generó un acuífero sobreexplotado.

CFE (1991) describe la zona geohidrológica 338, mediante tres cuencas hidrográficas, Santa Ana, La Reforma y El Yaqui:

Para la cuenca Santa Ana, reporta la presencia de manantiales termales El Azufre, Agua Agria y Agua Caliente, así como uno en el rancho La Palma en donde también brota uno de agua fría así como en las rancherías San Alberto y Santa Ana, en donde además se encuentra una noria. Los gastos registrados en estos manantiales fueron: La Palma con 6 litros por segundo, San Alberto menos de 0.5 l/s, Agua Caliente entre 1.0 y 0.5 l/s, para Los manantiales de Santa Ana y El Azufre no se obtienen datos de gasto ya que son ínfimos y se reducen al vapor que se condensa en sus alrededores (CFE, 1991). En esta zona la misma fuente, refiere

la existencia de un acuífero somero, que es el que alimenta tanto los manantiales termales y fumarolas como a los manantiales fríos antes mencionados; consecuentemente debe tratarse de un acuífero poco potente y muy somero, ya que aflora en varias partes, de tal forma que el flujo subterráneo puede inferirse en la misma dirección que los arroyos superficiales.

CFE (1991) estima la precipitación en la cuenca con un volumen anual de 29.6 Mm<sup>3</sup>, máximo en 1959 de 94.5 Mm<sup>3</sup> y un mínimo en 1966 de 5.7 Mm<sup>3</sup>.

Menciona que el 65% de la cuenca presenta un coeficiente de escurrimiento de 5-10% y el restante 35% de la cuenca presenta un coeficiente de 0-5%; por lo que el coeficiente de escurrimiento medio en la cuenca de Santa Ana es de 4.1 %, por lo cual y de acuerdo al volumen promedio de lluvia anual el volumen de escorrentía teórico es de 1.21 millones de m<sup>3</sup> al año.

En cuanto a la evaporación CFE (1991), evaporación “real” la cual se estima esta en 114.1 mm, por lo que en esta cuenca, existe un déficit anual “real” de 5 mm equivalente a 1.48 millones de m<sup>3</sup> de agua. Esto implica que la percolación en la cuenca sería no solo inexistente, sino que además habría una descarga anual con cargo al agua del o los acuíferos. La misma fuente menciona que en periodos amplios de tiempo, debe tenerse en cuenta para efectos prácticos, que dentro de la cuenca existen diferencias espaciales notables tanto en la temperatura como en la precipitación, puesto que entre la cabecera y las partes bajas de la cuenca hay una diferencia de unos 6° C y de casi 100 mm de lluvia promedio anual. Adicionalmente, el régimen de lluvia varía mucho de uno a otro año, lo que sugiere que habrá años con evapotranspiración “real” menor que la precipitación y con infiltraciones positivas. Por ejemplo en 1959 con un promedio de 319 mm, y una temperatura media anual de 18° C en la cabecera de la cuenca, se obtiene una evapotranspiración “real” de 311.2 mm, lo que resultaría en un exceso de agua de 7.8 mm, significando una infiltración, solo en el área de la cabecera de casi 350 mil metros cúbicos de agua.

Cuenca de El Yaqui (CFE, 1991), sus colectores principales los constituyen los arroyos El Carrizo, El Infierno y El Yaqui los cuales forman cañadas ya que aparentemente han aprovechado las fallas y fracturas para labrar su cauce con desniveles de 50 a 100 metros.

Estos arroyos se unen en la porción oriental de la cuenca y desembocan al Golfo de California.

En esta cuenca se encuentran perforados dos pozos, uno en el rancho de Las Tres Vírgenes y otro en el rancho Cacaiste, así como cuatro manantiales que brotan en la porción centro y sur, de estos dos termales: El Yaqui y El Carrizo y dos fríos: El Palmito y la Pilita.

Según CFE (1991), el acuífero de la cuenca de El yaqui se encuentra subexplotado, como también se sugiere en la carta de INEGI, ya que a pesar del déficit general de lluvia, hay infiltración que permite la recarga del acuífero.

Las líneas equipotenciales de esta cuenca, resultan ser más o menos paralelas a la Sierra de Santa Lucía, decreciendo de poniente a oriente, por lo que la dirección del flujo del acuífero es perpendicular a estas líneas, es decir de occidente a oriente. Es probable que el acuífero tenga un movimiento localmente muy irregular, permitiendo que parte de su agua se infiltre



a niveles inferiores a través de los planos de falla y de fractura.

La estimación de precipitación media anual en la cuenca de El Yaqui (462 km<sup>2</sup>), CFE (1991), la estima en 120 mm, lo que representa un volumen promedio anual de 55.44 millones de m<sup>3</sup>. Para realizar dichas estimaciones CFE utiliza los datos de la estación meteorológica de Santa Rosalía por ser ésta la más cercana a la cuenca, y cuya información junto con las unidades de escurrimiento de INEGI (presentada en el apartado de Hidrología Superficial Fig. 1, Tabla 2), estima para la cuenca un promedio en el coeficiente de escurrimiento de 3.1%, lo que significa que en la cuenca el promedio de escurrimiento anual equivale a un volumen de 1.7 millones de m<sup>3</sup>.

En cuanto a la evaporación CFE (1991) considerando para la cuenca una precipitación media anual de 120 mm y una temperatura media anual de 21° C, reporta una evaporación “real” media anual de 125.1 mm, por lo que en la cuenca de El Yaqui habría un déficit anual de agua de 5.1 mm, es decir de 2.36 millones de m<sup>3</sup> entre el volumen que llueve y el volumen calculado “real” que se evapotranspira. La misma fuente menciona que tanto la evapotranspiración real como el déficit anual estimado, representan un promedio histórico que puede tener variaciones significativas tanto de uno a otro año así como de una a otra parte de la cuenca. Esto se ejemplifica si se considera la cabecera de la cuenca, con una temperatura media anual de 18° C, y se considera la precipitación media para el año más lluvioso en Santa Rosalía (1967), que fue de 370 mm, se obtiene una evapotranspiración “real” de 349 mm. Por lo tanto, en 1967 en la cabecera de la cuenca hubo un exceso de 21 mm de agua que pudieron infiltrarse en esa porción, equivalente a 750 mil m<sup>3</sup> de agua; para este mismo año, si se considera que la temperatura media fue de 24.2° C en la estación de Santa Rosalía, se calcula una evapotranspiración “real” de 359 mm, lo que representa un exceso de 11 mm de agua en la cuenca equivalente a una infiltración neta de 5.1 millones de m<sup>3</sup> de agua que recargaron al o los acuíferos subsuperficiales.

Cuenca la Reforma constituida en su mayor parte por el relieve que conforma la caldera de la Reforma y la mayor parte del complejo volcánico de El Aguajito. Los escurrimientos superficiales más importantes, son los arroyos Los Coyotitos, Las Piedritas, El Morro Prieto, La reforma-Palmito y La Cueva. En esta cuenca afloran tres manantiales, dos termales: El Alamo y El Mezquite, y uno frío La Palmita, todos con gasto de menos de 0.5 l/s. En el rancho La reforma se ubica una noria.

En esta cuenca no hay pozos profundos por lo que resulta difícil estimar las características del acuífero que alimenta a los manantiales y a la noria, por lo que solo se infiere un flujo de sur y sureste hacia el norte muy semejante al de las corrientes que se producen en los arroyos que es de las porciones elevadas hacia la planicie, en forma radial y de aquí hacia el norte.

La precipitación promedio anual estimada por CFE (1991) es de 150 mm, la cual representa la más alta de las tres cuencas, esto debido al predominio de porciones elevadas sobre las partes bajas, de tal manera que el volumen medio anual precipitado en la cuenca

sería de 35.55 millones de m<sup>3</sup>. Por otra parte, la temperatura media anual, de acuerdo con la distribución de isotermas medias anuales de la carta de INEGI, sería de unos 20 a 22°C en las partes bajas a 18°C en las partes más altas de la Sierra El Aguajito.

En cuanto al coeficiente de escurrimiento medio en la cuenca se estima en 3.95%, lo que representa 1.4 Mm<sup>3</sup> de escurrimiento por año. Por su parte la evaporación potencial anual promedio para el periodo de 1950 a 1970 se estima en 2050 mm por año. Por lo tanto la evapotranspiración “real” calculada para una precipitación media anual de 150 mm y una temperatura media anual de 20° C, sería de 155 mm promedio anual, lo que significa un déficit de 1.19 millones de m<sup>3</sup> por año en promedio.

García-Estrada y González-López (1998), mencionan que el campo geotérmico de Las Tres Vírgenes se encuentra emplazado en material volcánico-sedimentario (valores gravitacionales bajos) que rellena una cuenca NW-SE tipo graben, delimitada por fallas normales que afectan al basamento granodiorítico. Este relleno volcánico-sedimentario desde el punto de vista hidrológico manifiesta la existencia de un acuífero regional que fluye a lo largo de los grabens, por lo que la zona con mayor probabilidad de almacenar fluidos coincide con la máxima depresión gravimétrica, limitada al N por el máximo de Aguajito, al E por El Yaqui y al W por el de San Alberto, los cuales constituyen límites hidrológicos.

Por su parte Bigurra-Pimentel (1998), para el área geotérmica de Las Tres Vírgenes, mediante sondeos eléctricos verticales (SEVs), identifica tres secuencias:

La parte superficial de 0 a 250 mbnt (metros bajo el nivel del terreno), compuesta por material de los volcanes de Las Tres Vírgenes, la ignimbrita Aguajito y parte de la cuenca Santa Rosalía con una resistividad de 2200 Ohm.m a 200 Ohm.m (espesor de alta resistividad). Bajo esta cubierta resistiva, desde 250 hasta 1500 mbnt, se encuentra un gran electrostrato conductor con valores de resistividad entre 12 y 3 Ohm.m. lo cual representa el acuífero del área, en las Formaciones Santa Lucía, Comondú y parte superior del granito (espesor de baja resistividad).

Palma-Guzmán (1998), menciona que la correlación de los pozos de CFE, permite discernir sobre el comportamiento geoelectrico de la zona y su asociación con los fenómenos geotérmicos. Así, se determinó que los valores de resistividad < 10 Ohm.m de la Inversión de Bostick se localizan en las formaciones vulcánico-sedimentarias más recientes y que la zona del graben de dirección NW-SE (fallas El Azufre y El Partido) existe una comunicación vertical geotérmica hacia el Exterior. Al mismo tiempo menciona que la formación Comondú y el basamento granítico son altos resistivos relativos ( $\rho > 15$  Ohm.m) cuyas unidades litológicas carecen de porosidad, pero que sin embargo manifiestan cambios de comportamiento geoelectrico asociado a tendencias estructurales NW-SE y N-S que crean permeabilidad secundaria.