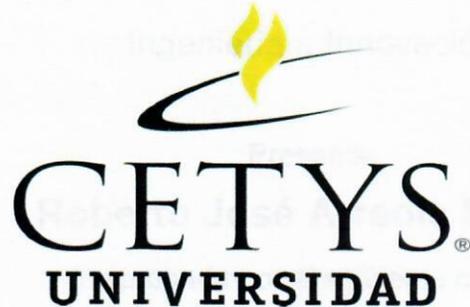


# Centro de Enseñanza Técnica Y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



## **Evaluación de las necesidades hídricas y energéticas de la región agrícola de San Quintín, Baja California, México**

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta:

**Roberto José Arreola Sevilla**

Director de tesis:

Dr. Isaac Andrés Azuz Adeath

Centro de Enseñanza Técnica y Superior

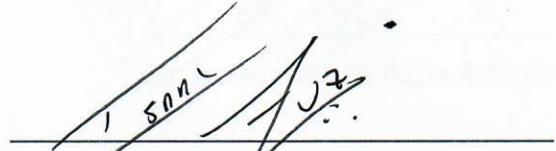
Ensenada, Baja California, México

2019

Resumen de la tesis que presenta Roberto José Arreola Sevilla como requisito parcial para la obtención del grado de Maestría en Ingeniería e Innovación

**Evaluación de las necesidades hídricas y energéticas de la región agrícola de San Quintín, Baja California, México.**

Resumen aprobado por:



Dr. Isaac Andrés Azuz Adeath

San Quintín es una de las zonas agrícolas más importantes del estado de Baja California, pero el estado presenta síntomas de escasez de agua y pasa por un periodo de sequía. El municipio de Ensenada no cuenta con cuerpos de agua permanentes y se abastece del agua proveniente del Río Colorado y de acuíferos principalmente, pero los acuíferos más importantes de la región agrícola del municipio se encuentran sobre explotados y con casos de intrusión salina, lo que provoca que el agua obtenida sea de mala calidad agrícola. Para cubrir sus necesidades hídricas, los agricultores han decidido usar métodos de desalación, actualmente en San Quintín hay registradas ante la Comisión Nacional del Agua 67 máquinas de desalación para uso agrícola y todas trabajan usando el método de osmosis inversa, este método tiene un alto gasto energético. La metodología presentada en esta tesis permitió obtener una estimación de las necesidades hídricas de los principales cultivos y del gasto energético de San Quintín asociado a la desalación para obtener agua para el uso agrícola y propone distintos esquemas de incorporación de energía alterna para abastecer el 10%, 30% y 50% del gasto total de energía, debido a las características geográficas de la zona de estudio ya que San Quintín se encuentra en una zona privilegiada para generar y utilizar energía alterna, teniendo una alta radiación y corrientes de aire contantes. Se utilizó el programa HOMER PRO para generar los escenarios óptimos en términos de combinaciones de fuentes energía y se establecieron lo puntos críticos de retorno de inversión para cada escenario analizado, pudiéndose establecer los tiempos y montos de equilibrio y generación de ganancias en el pago de energía eléctrica. Los resultados obtenidos mostraron claramente el potencial de uso de energías alternas para la desalación de agua para uso agrícola en la región de San Quintín, con esquemas económicamente viables en periodos de tiempo menores de 15 años.

Palabras clave: Sequia, escasez, osmosis inversa

**INDICE**

	Pagina
Resumen en español.....	ii
Resumen en ingles.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	ix
<b>1 Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Recursos hídricos en el mundo.....	1
1.2 Recursos hídricos en México.....	2
1.3 Recursos hídricos en Baja California y Ensenada.....	3
1.4 Recursos energéticos en Baja California y Ensenada.....	5
1.5 Alternativas para el abastecimiento de agua en el estado.....	6
1.6 Métodos y técnicas de desalación.....	7
1.7 Uso de energías alternativas para la desalación.....	8
<b>2 Antecedentes y Marco Teórico.....</b>	<b>10</b>
2.1 Abastecimiento de agua en el Estado y el Municipio.....	10
2.2 Uso y usuarios del recurso agua en Baja California.....	12
2.3 Necesidades hídricas del sector agrícola del Municipio de Ensenada..	13
2.4 Producción agrícola en el Valle de San Quintín.....	16
2.5 Marco Normativo.....	17
2.5.1 Leyes.....	17
2.5.1.1 Leyes del agua.....	17
2.5.1.2 Leyes de energía.....	18
2.5.2 Reglamentos.....	19
2.5.2.1 Reglamentos de CONAGUA.....	19
2.5.2.1.1 Reglamentos de la LAN.....	20
2.5.2.2 Reglamentos de CFE.....	20
2.5.2.2.1 Reglamentos de LTE.....	21

2.5.3	Tarifas.....	21
2.5.4	Subsidios.....	22
3	Justificación.....	23
4	Objetivos e Hipótesis.....	26
4.1	Hipótesis.....	26
4.2	Objetivo general.....	26
4.3	Objetivo Especifico.....	26
5	Metodología.....	27
5.1	Caracterización de los principales cultivos del Valle de San Quintín.....	27
5.2	Cálculo de las necesidades hídricas del sector agrícola del Municipio de Ensenada.....	28
5.3	Cálculo de las necesidades energéticos del sector agrícola del Municipio de Ensenada.....	28
5.4	Características de los sistemas de generación de energía por fuentes alternativas.....	29
5.5	Modelos de optimización de uso de energías alternativas.....	31
6	Resultados.....	33
6.1	Consumo de agua de los principales cultivos de San Quintín.....	33
6.2	Uso de plantas de desalación con fines agrícolas en San Quintín.....	35
6.3	Costo energético actual de la desalación en San Quintín.....	35
6.4	Propuesta de uso de energías alternativas para desalación en San Quintín.....	36
7	Conclusiones.....	40
	Referencias.....	43

**Lista de figuras**

	Pagina
Figura 1: Disponibilidad de agua de los acuíferos.....	3
Figura 2: Climas en Baja California.....	4
Figura 3: Precipitación acumulada hasta agosto del 2019 en México.....	10
Figura 4: Regiones hidrológicas y sus cuencas.....	12
Figura 5: Correlación entre elementos del Nexo.....	25
Figura 6: Diagrama de flujo para la metodología.....	27
Figura 7: Radiación solar en el mundo.....	29
Figura 8: Radiación solar en México.....	30
Figura 9: Mapa de vientos en México.....	31
Figura 10: Grafica del modelo con 10% de energías alternas.....	37
Figura 11: Grafica del modelo con 30% de energías alternas.....	38
Figura 12: Grafica del modelo con 50% de energías alternas.....	39

## Lista de tablas

	Pagina
1 Introducción.....	5
Tabla 1. Acuíferos de Baja California.....	7
Tabla 2. Salinidad de diferentes tipos de agua.....	7
Tabla 3. Clasificación de los procesos de destilación.....	7
Tabla 4 Investigaciones sobre las aguas subterráneas de San Quintín a través de la historia.....	14
Tabla 5: Principales cultivos de San Quintín.....	17
Tabla 6, Subsidios en las diferentes tarifas y sus rangos de consumo.....	22
Tabla 7: Necesidades hídricas del cultivo de fresa.....	33
Tabla 8: Necesidades hídricas del tomate.....	33
Tabla 9: Necesidades hídricas de pepino.....	34
Tabla 10: Necesidades hídricas del chile.....	34
Tabla 11: Necesidad energética de cada cultivo y total.....	36

## 1 Introducción

En este proyecto se hará una evaluación sobre el modelo energético que sea más recomendable para satisfacer las necesidades hídricas que hay en el valle agrícola de San Quintín. Se encuentra ubicado a 300 km de la frontera norte con Estados Unidos, a unas 3 horas al sur de la ciudad de Ensenada, es el valle agrícola más grande de estado de Baja California, teniendo una extensión aproximada de 10,000 km<sup>2</sup> y cuenta con un clima y ecosistemas semidesértico pero respecto a su agricultura cuenta con altas tecnologías de riego, sistemas de invernadero y alta tecnología de desalación, debido a su clima no cuenta con aguas superficiales permanentes y únicamente obtienen agua por cuencas subterráneas. Cuenta con bajas precipitaciones, un promedio de 200 mm al año, que es menor al promedio nacional. Su actividad económica principal es la agricultura, cuenta con inversión privada y extranjera.

Para entender porque en el valle se tienen problemas respecto a la obtención de agua primero se debe entender la diferencia entre sequía y escasez, Esparza (2014), definió de forma simple, una sequía se define como la disminución o la ausencia de precipitaciones pluviales respecto al índice anual. Y escasez como el fenómeno resultado de la acción humana y consiste en extraer y consumir más agua de la que se logra recargar y de la que se encuentra en existencia y disposición. Con estos dos conceptos se entiende que la sequía es un fenómeno que sucede naturalmente y puede ser parte de un ciclo climatológico que no puede detenerse, mientras que la escasez es culpa de la sobre explotación humana.

### 1.1 Recursos hídricos en el mundo

El 75% del planeta es agua, pero en su estado natural no es accesible para el consumo de la humanidad ya que de los  $1.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$  de reserva de agua que existen en el planeta el 97.6% es agua salada, de los 2.4% que quedan, que es agua dulce, solo el 1% se encuentra en estado líquido que es el agua accesible para consumo

humano (Palenzuela, Alarcon-Padilla, & Zaragoza, 2015). El problema con estas pocas cantidades de agua es que cada vez hay menos, la Organización para la cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) pronostican que para ese año el 47% de la población mundial vivirá en zonas de alto estrés hídrico y más de 5 billones de personas no tendrán acceso a agua de buena calidad, esto pone en un punto muy crítico.

## **1.2 Recursos hídricos en México**

En de México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2016), menciona que para el 2015 la sequía se presentó principalmente en el noreste del país con franjas de sequía moderada, severa y extrema en el estado de Baja California. No solo esto si no que en ese mismo año se identificaron 32 acuíferos con presencia de suelos salinos y aguas salobres localizados principalmente en la península de Baja California y en el altiplano mexicano. Adicionalmente se presentó la intrusión de agua marina en 18 acuíferos costeros. De todos estos acuíferos dañados a nivel nacional 10 pertenecen a Baja California, 7 afectados por intrusión marina y 3 por el efecto de suelo salino y agua salobre. En Baja California solamente hay 48 acuíferos y la gran mayoría están sobreexplotados según datos la misma CONAGUA, por lo que estos 10 acuíferos afectados representan un 20.83% del total, así teniendo un estado en condiciones de sequía y escasez de agua además con el problema de los acuíferos, cada vez hay menos agua disponible para su población. En la figura 1 se observan los acuíferos del estado de Baja California y la disposición que tienen de agua. Es necesario encontrar la manera más eficiente de obtener agua potable, ya que solo obtenerla naturalmente, lluvia, ríos, agua subterránea, ya no es una opción y cada vez hay menos, por lo que en la actualidad, se trata de utilizar en cada caso y momento la opción o el conjunto de opciones disponibles más adecuado, más eficiente y menos gravoso económica y medioambientalmente (Lamela, 2015).