

Convocatoria CONACYT – BMBF

Anexo I - PROTOCOLO.

Número de la solicitud:

Título: Evaluación de Riesgos Bioeconómicos debidos a la Sobreexplotación de Acuíferos en Regiones Áridas y Costeras urbanas y agrícolas.

Área: (Bio-economía)

Especialidad: Manejo sustentable de recursos

Responsable Técnico Mexicano: Dr. Rodolfo Silva Casarín

Institución mexicana proponente: Instituto de Ingeniería-Universidad Nacional Autónoma de México

Responsable Alemán: Dr. Wolfgang Niemeier

Institución Alemana: Technische Universität Braunschweig
(Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
& Institut für Siedlungswasserwirtschaft)

Entidades mexicanas participantes (en caso de participar más de una): Universidad Autónoma de Baja California

Monto total solicitado a CONACYT en pesos mexicanos: 2 695 560

Monto total de aportación de la institución mexicana proponente: 864 720

Monto solicitado por la parte alemana en Euros: 221 800

1. Justificación del Proyecto:

Las costas del mundo han sido el centro de la actividad humana por milenios por lo que en ellas se encuentran grandes concentraciones de población humana (Small and Nicholls 2003, Martínez et al. 2007, Coverdale et al. 2013). Además, en la costa se desarrollan importantes actividades socioeconómicas, cuya intensidad y falta de manejo adecuado han originado una creciente demanda de infraestructura urbana, comercial y turística (Small and Nicholls 2003, Bulleri and Chapman 2010, Stelzenmüller et al. 2013) lo que representa una presión considerable sobre los ecosistemas costeros (DINAS-COAST 2004, Ruckelshaus et al. 2008, Micheli and Niccolini 2013, Lithgow 2014). Por tanto, la sustentabilidad de las actividades productivas y económicas de una población, se encuentran en constante interacción con los ecosistemas que les rodean por lo que, en regiones costeras, el manejo responsable de los recursos relacionados con el agua resulta de gran importancia debido a su escasez actual y futura ya que desde hace mucho se ha indicado que la sequías se acentuarán con escenarios de cambio climático (Le Houérou, 1996) lo que causará poblaciones más vulnerables (Ribot et al., 2005).

Una aproximación a la solución de los problemas complejos de la actualidad y previstos como acentuables en del futuro, lo ofrece la bioeconomía que es relativamente una disciplina nueva que busca soluciones biotecnológicas a problemas ambientales, tales como la contaminación (salinización) de acuíferos (Gillespie y Philp, 2013), diseña modelos para el manejo de los recursos costeros y marinos (Bull, 2007) o propone esquemas integrados de tecnologías diversas para la adaptación de sistemas de cultivos a la sequía en países desarrollados (Jordan et al., 2007) y en contraste con países latinoamericanos (Ricard et al., 2014). Para que las

investigaciones bioeconómicas resulten exitosas se sugieren equipo interdisciplinarios y considerando la participación y opinión de la población así como de los usuarios y administradores de los recursos naturales. Para ello, es importante que las áreas de estudio a estudiar cuenten con una problemática bien definida y un bagaje diverso de información de varias disciplinas.

Por esta razón se selecciona, como área de estudio, a las cuencas que irrigan a la ciudad de Ensenada y las zonas suburbanas y rurales que la rodean. El área de estudio se ubica en la zona norte de la Península de Baja California, en la vertiente del Océano Pacífico. Esta área se caracteriza por distintos valles inter-montañosos (e.g. Guadalupe, Ojos Negros) y agrupa a una población de más de 370 mil habitantes (INEGI, 2015). Las actividades económicas representan 8.24% del total de la producción agrícola del estado de Baja California y 6.74% de la producción pecuaria (COPLADEBC, 2015). Aún más, la región concentra 45% de los viñedos en México mientras que 77.6% de la producción vinícola nacional se localiza en el Valle de Guadalupe (Sánchez-Zepeda & Mungaray-Lagarda, 2010). Por otro lado, de la producción por actividades acuícolas, 37.78% han sido exportadas a través del puerto de Ensenada (18.98% del total nacional) (SAGARPA/CONAPESCA, 2015).

Las actividades agrícolas (de riego, industrializadas, orgánicas y en invernaderos), las pecuarias (estabulado pero en su mayoría extensivo), el turismo (de cruceros y alternativo), la pesca y maricultura de exportación, el puerto y la prestación de servicios en el área de estudio, así como la supervivencia de la población, se fundamentan en el consumo del agua que se extrae del subsuelo o se trasvasa de microcuencas vecinas (La Misión y Guadalupe). Recientemente se reusa el agua tratada en una zona agrícola (Maneadero) y en un futuro cercano se estrenará una desalinizadora. El mal manejo del agua ha causado:

- Intrusión Salina en acuíferos. Debido a la extracción de agua dulce en los acuíferos, el agua salada (proveniente del mar) fluye hacia el subsuelo continental mezclándose con el agua dulce de los acuíferos costeros. Dicho fenómeno puede acrecentarse tanto por un incremento de la extracción del agua dulce en los acuíferos, como por el incremento del nivel del mar, resultado del cambio climático. La probabilidad de salinización del agua es mayor en cuanto más próximo esté el acuífero de la línea de costa. Como consecuencias de la intrusión salina se tiene: a) inutilidad del acuífero por su elevada salinidad, b) búsqueda de nuevas fuentes de agua para suplir los acuíferos inutilizados, c) salinización del suelo, haciendo las tierras no aptas para cultivo o crecimiento de vegetación.
- Subsistencia inducida, generación de fallas, fracturas y deslizamientos de tierra. La disminución de los niveles piezométricos en los acuíferos induce la compactación de suelos y el reacomodo del suelo. Dentro de este contexto, las consecuencias más notorias son: a) hundimientos del terreno, b) generación de fallas y fracturas debido a hundimientos diferenciales originados por la presencia de distintos tipos de material en el suelo, c) deslizamientos que se asocian tanto a la tectónica del sitio (de gran relevancia para la zona norte de Baja California) como a los cambios de contenido de humedad del suelo, d) problemas de roturas en infraestructura o daños a redes de transporte y evacuación, e) colapso de terrenos, con alto riesgo para la población.
- Problemáticas económicas, administrativas y políticas. Al hacerse más escaso el recurso y al haber pocas fuentes explotables, principalmente en ambientes áridos costeros, los pozos de extracción de agua se profundizan más o se emplean bombas más potentes, incrementándose los costos asociados. Más aún, soluciones alternativas para la obtención de agua suelen considerar la extracción de agua de otras regiones

económico-administrativas, causando un impacto de tipo administrativo y político entre las regiones de disputa del recurso. Además, el manejo del recurso hídrico suele considerar decisiones inmediatas, permeadas de intereses político-administrativas sin relación con estudios académicos o investigación del problema, y que resultan como consecuencia en alternativas poco viables para el desarrollo sustentable.

- Problemas de salud pública. La calidad del agua de los acuíferos se ve comprometida y deteriorada por la mezcla de aguas de diferentes calidades o por la intrusión salina, y podría representar un problema de salud pública al ser consumida o utilizarse en distintos productos de consumo humano o animal.

El análisis y evaluación del riesgo, asociado con la sobreexplotación de los acuíferos en el área de estudio, implica la integración de una gran diversidad de factores, como los económicos, sociales, ambientales y del medio físico. A fin de preservar y optimizar las actividades económicas, sin comprometer a los ecosistemas que sustentan dichas actividades y a la población misma, es necesaria la ejecución de un análisis interdisciplinario que busque establecer las mejores prácticas y tecnologías para un manejo responsable del recurso hídrico en ambientes áridos costeros.

2. Objetivos, alcances, novedad y originalidad:

Objetivo general

Determinación del comportamiento espacial y temporal de las interacciones entre el sistema acuífero de un área árida costera y los agentes socio-económicos, para promover: i) la conservación del sistema, ii) integración y funcionalidad de los elementos o procesos naturales con las actividades antropogénicas y viceversa, iii) un esquema de manejo responsable del recurso hídrico.

Objetivos científicos y tecnológicos

- a) Definir la evolución de los niveles piezométricos de los acuíferos de la región por medio de percepción remota y con apoyo de mediciones in situ.
- b) Evaluar los servicios ecosistémicos proporcionados por los acuíferos en el área árida costera seleccionada y estimar su valor económico y hedónico así como su interacción con las actividades socioeconómicas de la zona de estudio.
- c) Definir los escenarios de intrusión salina en los acuíferos costeros.
- d) Evaluar las transformaciones del medio físico (e.g. subsidencia, cambios de la línea de costa) y su relación con los acuíferos y el desarrollo de actividades económicas en una escala temporal determinada.
- e) Definir los escenarios de cambio climático para 2030, 2050 que proyectan menor precipitación en los meses de más lluvia (diciembre-febrero) y aumento de la temperatura en los meses más cálidos (julio-agosto). Asimismo, se estimará el aumento del nivel medio del mar para dichos escenarios.
- f) Determinar el grado de degradación de los ecosistemas áridos costeros actual y proyectar escenarios en donde se muestre su vulnerabilidad a la escasez de agua.

- g) Estimar la vulnerabilidad y el riesgo a la escasez de agua en la zona de estudio, expresados en un SIG.
- h) Elaborar tres escenarios 1) tendencial (status quo o business as usual), 2) contextual (con proyectos derivados de la aproximación bioeconómica) y 3) posible (consensuados con los usuarios y los administradores del agua a partir de los resultados de los objetivos anteriores).
- i) Proponer alternativas, de manera participativa, para el mejor uso, la conservación y la recuperación de los acuíferos.
- j) Documentar el proceso de investigación para establecer una metodología interdisciplinaria dirigida hacia un mejoramiento del manejo razonable del agua y que sea aplicable a regiones áridas costeras.
- k) Divulgación y difusión de los resultados.

Los procesos de transformación serán analizados desde una perspectiva interdisciplinaria enfocada hacia la definición de las relaciones entre el sistema acuífero (niveles piezométricos, intrusión salina, explotación), las actividades económicas y antropogénicas (evaluación de servicios ecosistémicos, daños a actividades agropecuarias, tendencias y escenarios), y el medio físico (subsistencia, fallas, fracturas, movimiento de la línea de costa e impactos indirectos a infraestructura). El incremento del nivel del mar y escenarios de modificación de las precipitaciones debido al cambio climático, será integrado en este análisis.

Por medio de la aplicación de técnicas de percepción remota, medición *in situ* y la evaluación de riesgo, será posible entender las relaciones del medio ambiente con las actividades humanas. Esto tendrá como fin generar recomendaciones que sirvan de sustento para el desarrollo de medidas apropiadas para la prevención y mitigación del daño/riesgo. Estas medidas deberán tener efectos positivos tanto en los ecosistemas de la región como en el simultáneo bienestar humano.

Cabe señalar que la visión interdisciplinaria sería por primera vez aplicada en regiones áridas costeras considerando el manejo responsable del recurso hídrico, la valoración económica de los servicios ecosistémicos asociados y la evaluación del riesgo/vulnerabilidad para el área de estudio. Los resultados y la metodología buscan su aplicación no solo a la zona de estudio sino su posible extensión a otras regiones costeras áridas con problemáticas similares.

3. Estado del arte:

La integración de las actividades económicas en los sistemas naturales involucra un modelo de desarrollo que busca conciliar los intereses públicos, privados y solidarios con un manejo sustentable de los recursos que el medio ambiente posee, sin agotarlos. El desarrollo de un pensamiento sistémico y holístico conlleva el considerar al todo como mayor a la suma de sus partes, y aún más, que las partes integran sistemas con múltiples conexiones y relaciones.

El análisis y evaluación del manejo sustentable de los recursos naturales, como lo es el agua en regiones costeras áridas, implica la integración de una gran diversidad de factores, pertenecientes a distintas dimensiones, como la económica, social y ambiental. Optimizar la provisión de todos los servicios ecosistémicos representa un gran reto para su implementación, en particular para el caso de los ecosistemas costeros. Esto se debe a que los servicios ecosistémicos tienen interacciones complejas y además, a veces los servicios pueden ser

mutuamente excluyentes: el incremento de un servicio ecosistémico (e.g. servicios de provisión: comida, fibras, productos agrícolas, agua) podría reducir la provisión de otros servicios (e.g. servicios de regulación como: control de perturbaciones, calidad del agua, etc.). Debido a que no todos los servicios que interactúan pueden ser optimizados simultáneamente, los manejadores necesitan tomar decisiones sobre las importancias relativas de los servicios ecosistémicos en cuestión y reconocer explícitamente las interacciones complejas entre ellos (Lithgow, 2014).

Debido a lo anterior, los estudios de riesgo y vulnerabilidad resultan imprescindibles para conocer primeramente el funcionamiento de los sistemas y, posteriormente, las capacidades de sustentabilidad de los ecosistemas y de las interacciones de éste con las actividades humanas. Para dichos estudios, se han abordado distintos enfoques y métodos, adaptándose al contexto en el que se apliquen, y no existe una definición única del concepto de riesgo o de vulnerabilidad (Sayers et al. 2003). Una forma de entender los distintos métodos de análisis, es clasificándolos en cuantitativos y cualitativos (Escudero Castillo et al., 2012); los primeros tendientes al análisis de los procesos naturales (e.g. procesos meteorológicos, subsidencia, hidro-geológicos, oceanográficos, de cambio climático), mientras que los segundos se hallan normalmente orientados al estudio de la vulnerabilidad del objeto en riesgo (población, actividades económicas, entre otros). Actualmente existe la tendencia de integrar ambas visiones, creando así, modelos de evaluación más robustos que permiten generar medidas de prevención, mitigación y de manejo sustentable más apropiadas.

La interdisciplinariedad es por tanto requerida en el desarrollo de métodos de evaluación para el manejo sustentable de los recursos naturales. La inclusión de expertos de diferentes disciplinas permitirá optimizar el desarrollo de las actividades económicas y minimizando los impactos asociados. Al respecto, existen métodos, técnicas y modelos para abordar una descripción cualitativa y cuantitativa del estado del ecosistema, de la prestación de servicios, el impacto en las actividades socioeconómicas así como la vulnerabilidad y riesgo del sistema:

a) El método conocido como Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia (SPRC por sus siglas en inglés) plantea un buen punto de partida, pues permite incluir en la evaluación de riesgo todos los posibles componentes (naturales y sociales), tomando en cuenta la forma en que se relacionan espacialmente y la función que desempeñan en el ambiente. Lo anterior permite ordenar y jerarquizar un modelo conceptual sólido que determine la forma en que se cuantificarán los procesos naturales y socioeconómicos. Este método ha sido aplicado principalmente para evaluar el riesgo asociado a contaminantes y a inundaciones (Zanuttigh 2011; Villatoro et al. 2013; Narayan et al. 2012).

b) La valoración de un ecosistema a través de su capacidad de producir bienes y servicios, proporciona la capacidad de articular la vinculación entre las ciencias ambientales y las de economía. El principal objetivo es el de identificar: i) los activos ambientales con valor tangible en el mercado de la economía, ii) los costos económicos por la pérdida o degradación de los activos ambientales, y iii) los impactos en la población en ámbitos económicos, de salud y de calidad de vida. La predisposición social y las políticas a remunerar un servicio ecosistémico es fundamental para poder establecer de forma simultánea el manejo sustentable de los recursos naturales, la mejora de la calidad de vida de la sociedad misma y la protección y mejora de las actividades económicas de una localidad o región.

c) Las técnicas de percepción remota poseen un enfoque territorial para evaluar cualitativamente procesos de transformación del medio a escalas temporales y espaciales

locales o regionales. Cambios en las técnicas de percepción remota han sucedido en los últimos años para afrontar retos sociales y políticos así como por el progreso tecnológico. Las capacidades de aplicación de esta técnica permiten la generación de series de tiempo asociadas a procesos naturales y de modificación del medio físico tales como: subsidencia, definición de niveles piezométricos de mantos acuíferos, cobertura vegetal, crecimiento de manchas urbanas, movimiento de línea costera, etc.

d) Los algoritmos SVM (Support Vector Machine) constituyen modelos de aprendizaje supervisado capaces de analizar datos y reconocer patrones de comportamiento de las variables. Fueron desarrollados por Vapnik & Chervonenkis en 1963 (Cortes et al. 1995), y han encontrado diversas aplicaciones especialmente en las áreas biológicas y de biología computacional (Schoelkopf et al. 2004; Naul, 2009). Los algoritmos SVM normalmente son utilizados en procesos de clasificación y análisis de regresión; su aplicación en ámbitos interdisciplinarios busca la definición de clases y asociar no solo interacciones lineales entre las variables (relaciones directas causa-consecuencia), sino también relaciones no lineales.

Por tanto, la principal fortaleza de las técnicas y la metodología a ser aplicadas, radican en la aproximación bioeconómica utilizada ya que se hace desde la participación de los interesados (usuarios, funcionarios y academia) y con la meta de resolver problemas complejos en un sitio particular por la mezcla de ambientes (terrestres y costeros), de sectores (agropecuario, turístico, pesquero, portuario, de investigación y docencia y de servicios). Es una fortaleza tener como meta la capacidad de reconocer que alcanzar la sustentabilidad ambiental y de las actividades económicas dependen de la minimización de los impactos y de mejorar las interacciones de los usuarios, funcionarios y academia con las diversas tecnologías existentes en el mercado o por desarrollarse en proyectos futuros.

4. Impacto:

México tiene alrededor de un 60% de superficie de costera árida, en la cual habitan cerca de 7-8 millones de personas, y por lo tanto es vulnerable a la sequía y a las inundaciones por efectos del Cambio Climático. Es urgente contar con una metodología interdisciplinaria que aporte soluciones a estos problemas actuales y que se acentuarán en el futuro, de una forma integrada y participativa. El estudio de caso es representativo de ciudades a nivel nacional e internacional. Asimismo, se tendrán los siguientes impactos:

1. Evaluación de impacto y dependencia de las actividades económicas de la zona de estudio con respecto a los servicios ecosistémicos, con especial enfoque en los de provisión y regulación por el sistema acuífero.
2. Recomendaciones de manejo enfocadas a disminuir o evitar los problemas asociados con la salinización de agua potable extraída de pozos e incrementar la calidad de vida de los usuarios del recurso.
3. Recomendaciones de manejo a disminuir la pérdida de cultivos causada por la salinización de las tierras.
4. Identificación de zonas e infraestructura vulnerable a los efectos de la subsidencia y su relación con la extracción de agua.
5. Identificación de la vulnerabilidad y el riesgo en la zona costera y actividades asociadas.
6. Modelación de los flujos superficiales y subsuperficiales de agua (que permitirán inferir la intrusión salina en el área).
7. Caracterización del clima marítimo (oleaje viento).
7. Identificación de cambios del nivel de mar y de regímenes pluviométricos como consecuencia del cambio climático.
8. Generación de mapas identificando las zonas clave por y para la provisión de servicios ecosistémicos.

Entregables científicos y tecnológicos: 4 artículos en revistas indizadas de alto impacto, 2 artículos de divulgación, 1 tesis de doctorado, 2 tesis de maestría, 1 índice multicriterio y 1 geo-portal para consulta general. Todos son productos de frontera y de gran novedad científica.

Impactos Cualitativos

- Científico** Una evaluación robusta por medio de herramientas de análisis y monitoreo será utilizada como insumo básico para generar escenarios y con ellos que de manera participativa se genere una propuesta de manejo responsable del agua en una zona árida costera, con una población representativa de estos ambientes en el mundo, y que desarrolla actividades agropecuarias, turísticas, comerciales y de servicios
- Ambiental** Las escalas espacial y temporal de los resultados se pretenden ideales para la generación de políticas y planteamiento de escenarios para un manejo responsable de los recursos hídricos en áreas áridas costeras. La metodología no sólo sería aplicable a la zona de estudio sino que podría ser extendida a otras regiones áridas costeras de México y del mundo.
- Social** Será posible el establecimiento de mapas de riesgo y vulnerabilidad considerando distintos elementos e interacciones entre el medio físico, el ambiente, la sociedad, las actividades económicas y la infraestructura. Estos mapas son fundamentales en la toma de decisiones y la generación de planes de desarrollo de la zona de estudio.
- Económica** La valoración económica y hedónica de los servicios ecosistémicos, el reconocimiento de la vulnerabilidad, la relación con el medio físico y la consideración de escenarios de cambio climático (desde una perspectiva interdisciplinaria), permitiría identificar las posibilidades del esquema de soluciones biotecnológicas requeridas por las aproximaciones bioeconómicas.

Impactos Cuantitativos

- Científico** 4 artículos en revistas indizadas de alto impacto, 2 artículos de divulgación, 1 tesis de doctorado, 2 tesis de maestría. Todos son productos de frontera y de gran novedad científica.
- Tecnología** 1 índice multicriterio para la identificación de sitios vulnerables a la intrusión salina. 1 geo-portal agrupando los principales resultados obtenidos. Una gama de posibilidades biotecnológicas para la solución de los problemas más comunes y que pueden solucionarse desde esta aproximación.

5. Metodología:

La metodología busca complementar e integrar la aplicación de diversas herramientas de modelación y de evaluación para desarrollar un análisis integral de las interacciones con el entre la salud de los ecosistemas, las actividades económicas, el medio físico y sus posibles cambios futuros. Para ello, se desarrollarán actividades asociadas con: i) análisis a detalle de las series de tiempo generadas por técnicas de percepción remota; ii) modelación hidrológica y de precipitación considerando algoritmos multidados de aprendizaje supervisado (SVM-

Support Vector Machine); iii) evaluación de la vulnerabilidad y de riesgos en el área de estudio por medio de la modelación SPRC (Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia), iv) identificación y evaluación de servicios ecosistémicos clave; iv) calibración y validación de los resultados con datos de campo y v) Integración de la información obtenida en los puntos i-iv.

La metodología se divide entonces en paquetes de trabajo (PT) con actividades específicas:

- PT [1]: **Estado del arte** relacionados con la problemática compleja del agua en el área de estudio con miras al desarrollo de un Sistema de Información Geográfica que considera las siguientes actividades:
 - Descripciones y mapas topográficos (definición de cuencas).
 - Revisión de modelos digitales de terreno y del comportamiento del clima marítimo en la región (oleaje y mareas).
 - Búsqueda de información asociada con subsidencia (datos GPS, reportes de fallas, fracturas, deslizamientos, etc.) y sus relaciones con actividades socioeconómicas.
 - Revisión de actividades económicas, mapas geológicos, acuíferos, regiones hidrológicas, expansión de manchas urbanas, etc.
 - Revisión y selección de mapas geológicos, de acuíferos, regiones hidrológicas, de cambio de uso de suelo, de censos de población y económicos, etc.
- PT [2]: Generación de **series de tiempo** para definición de los **agentes naturales de riesgo** para la zona de estudio, considerando en algunos casos, la influencia del cambio climático y enfocados a:
 - Identificación de zonas de intrusión salina en acuíferos y de sus efectos económicos asociados.
 - Actividad sísmica/tectónica.
 - Fracturamientos, fallas y deslizamientos activos en el área de estudio.
 - Elevación del nivel medio del mar.
 - Modificación del régimen de precipitaciones y temperatura para el año 2030 y 2050, en el área de estudio.
- PT [3]: Identificación temporal y espacial de la subsidencia en toda la zona de estudio, evaluación de los movimientos de la línea costera y de los cambios históricos del nivel medio del mar considerando modelos digitales de terreno de detalle. El comportamiento obtenido será revisado con información disponible obtenida del PT[1].
- PT [4]: Evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo, a la disminución o pérdida del recurso hídrico, por medio de:
 - La aplicación de la modelación conceptual SPRC (Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia).
 - Identificación de los efectos directos e indirectos de la salinización de los acuíferos en el bienestar humano y en las actividades económicas del área.
 - Valoración económica de los servicios ecosistémicos perdidos, empleando para ello métodos directos (e.g. valor de la producción, del uso real agrícola, etc.) e indirectos (e.g. transferencia de valor, ahorro de costos, etc.).
- PT [5]: Investigación de los niveles piezométricos de los acuíferos por medio de las técnicas de percepción remota en combinación con datos provenientes de pozos de monitoreo.

- PT [6]: Implementación de los algoritmos de aprendizaje supervisado (SVM-Support Vector Machines) para el desarrollo de modelaciones de la superficie y del sistema acuífero en la región. Las actividades se enfocan hacia:
 - Escenarios del comportamiento del sistema acuífero
 - Identificación de impactos socio-económicos y relaciones. Los resultados de las modelaciones. Se plantearían tres escenarios 1) tendencial, 2) contextual y 3) posible.
- PT [7]: Presentación e integración de resultados y recomendaciones para divulgación (por ejemplo folletos, exposición temporal en museo de ciencias local) y difusión de los resultados a través de publicaciones (artículos de investigación, geportal).

6. Valor agregado de la colaboración internacional y distribución de actividades:

La propuesta busca reforzar los lazos de colaboración actualmente existentes entre el Instituto de Ingeniería de la UNAM y la TU-Braunschweig y extenderla a otras universidades como la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). El fortalecimiento de recursos humanos tanto de la parte mexicana como la alemana es considerada a través del intercambio académico de información, enseñanza de técnicas y metodologías, así como para la generación de un conocimiento integrado e interdisciplinario. Igualmente se busca establecer el mejoramiento de las técnicas existentes al extender su aplicabilidad a regiones áridas costeras asociadas con actividades económicas. Por último, se pretende abrir lazos de comunicación con el fin de continuar los estudios de ambos países en esta materia.

La distribución de actividades se desarrolla como sigue:

- Parte mexicana: a) evaluación de la vulnerabilidad y de riesgos en el área de estudio por medio de la modelación SPRC (Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia), b) valoración de servicios ecosistémicos; c) evaluación de los impactos ambientales, sociales, económicos y de la disponibilidad de recursos hídricos (incluyendo su explotación actual), d) modelación de cambios en el incremento del mar y de regímenes pluviométricos en escenarios de cambio climático.
- Parte alemana: a) análisis a detalle de las series de tiempo generadas por técnicas de percepción remota; b) modelación hidrológica y de precipitación considerando algoritmos multivariados de aprendizaje supervisado (SVM-Support Vector Machines); c) calibración y validación de los resultados con datos de campo.
- Ambas partes: a) Integración de la información obtenida por ambas partes; selección de recomendaciones biotecnológicas; y divulgación y difusión de los principales resultados, así como la formalización de una metodología para estudios futuros en sitios equivalentes en el mundo; b) formación de recursos humanos de posgrado desde una perspectiva interdisciplinaria.

7. Valor agregado de la colaboración nacional y distribución de actividades (en caso de existir más de una entidad mexicana):

El valor agregado radica en abordar al objeto de estudio de forma interdisciplinaria considerando un conocimiento de la zona de estudio y de la compleja problemática, así como de promover/extender las capacidades de análisis, mejorando los resultados obtenidos. Se espera por tanto un mayor impacto al combinar capacidades de análisis, modelación, y de

entendimiento de un mismo objeto de estudio. Más aún se pretende reforzar el desarrollo de recursos humanos de ambas entidades.

Las actividades a ser desarrolladas por cada una de las partes mexicanas (II-UNAM, UABC) son:

- II-UNAM: a) entidad líder del proyecto direccionando las actividades del proyecto y apoyando la colaboración entre las partes participantes; b) evaluación de la vulnerabilidad y de riesgos a la pérdida del recurso hídrico en el área de estudio por medio de la modelación SPRC (Fuente-Trayectoria-Receptor-Consecuencia), c) valoración de servicios ecosistémicos; d) evaluación del comportamiento hidrológico en la región y posibles afectaciones por modificaciones del régimen pluviométrico debido al cambio climático
- UABC: a) evaluación de los impactos sociales, económicos y de la disponibilidad de recursos hídricos (incluyendo su explotación actual y futura) y desarrollo del SIG, b) modelación de cambios en el incremento del mar y de eventos extremos en escenarios de cambio climático, elaboración de los escenarios tendencial, contextual y posible y recomendaciones biotecnológicas en esquemas participativos.
- Ambas partes: a) Integración de la información obtenida por ambas partes y formalización del metodología integradora, b) divulgación y difusión de los resultados; c) formación de recursos humanos binacionales con una perspectiva interdisciplinar.

8. Resultados esperados:

Los resultados esperados del proyecto conjunto se mencionan enseguida:

- Paquete de resultados 1:
 - 1.1 Identificación de los servicios ecosistémicos clave en el área de estudio analizando sus posibles modificaciones debidas a perturbaciones naturales y antropogénicas; 2.1 Evaluación de la vulnerabilidad/riesgos del acuífero, la infraestructura, salud pública y capacidad de mantenimiento de las actividades económicas en la zona. 3.1 Definir la relación entre las afectaciones inducidas por el sistema acuífero sobre la salud de la población y las implicaciones económicas que conlleva su sobreexplotación.
- Paquete de resultados 2:
 - 2.1 Evaluación a escala regional de las mediciones geológicas, geofísicas, hidrogeológicas y geodésicas, monitoreo de sus principales componentes, y generación de series de tiempo. 2.2 Establecer escenarios, para la región, incluyendo incremento del nivel del mar, tectónica, precipitaciones e hidrología. 2.3 Definir un modelo conceptual de flujo de aguas subterráneas y afectaciones al sistema acuífero.
- Paquete de resultados 3:
 - 3.1 Establecer niveles de subsidencia ocurridos y escenarios a futuro. 3.2 Establecer relaciones entre la subsidencia, fallas, geología superficial y tipo de suelo e identificar las principales afecciones ocasionadas por la sobreexplotación del agua en los acuíferos estudiados. 3.3 Elaborar un análisis detallado de la vulnerabilidad y riesgos del área de estudio.
- Paquete de resultados 4:
 - 4.1 Proveer un análisis del nivel piezométrico de los acuíferos y su evolución en el tiempo. 4.2 Aplicación de técnicas de percepción remota como una herramienta de monitoreo del comportamiento de los acuíferos. 4.3 Simulación de escenarios históricos y de predicción del sistema acuífero y conjuntar dicho comportamiento

con el desarrollo de las actividades económicas así como con eventos tectónicos y meteorológicos.

- Paquete de resultados 5:

- 5.1 Formulación de recomendaciones para entidades de Manejo de Recursos Naturales/Hídricos, Gobierno y tomadores de decisiones.

9. **Estrategia de sostenibilidad:**

Gracias a las instalaciones de las IES, las actividades y entregables comprometidos se podrán desarrollar con un costo significativamente menor. La infraestructura con la que cuenta la parte mexicana del consorcio es la siguiente:

Personal especializado en el manejo de Sistemas de Información Geográfica, técnicas de percepción remota y análisis costeros. Laboratorio de análisis de suelos, equipado para la clasificación y análisis de sedimento. Bibliotecas disponibles con acervos especializados en áreas relacionadas con el proyecto. Se cuenta con laboratorios plenamente equipados para realizar modelado numérico y físico. Se posee equipamiento para realizar trabajo de campo (equipo topográfico y de geodesia, equipos de mediciones diversos). Se cuenta con equipos de alto desempeño para el procesamiento de imágenes, modelación y digitalización de cartografía. Se cuenta con licencias de software para desarrollar las tareas antes mencionadas (ArcView, Autocad, Surfer, Grapher, ...). Las instalaciones de las IES poseen facilidades para el desarrollo de talleres.

10. Calendario de actividades y fechas límite de los principales entregables:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Paquete de trabajo 1			
Análisis de la información bibliográfica existente y bases de datos disponibles.	■		
Caracterización del clima marítimo (oleaje y mareas).	■		
Definición de los escenarios de cambio climático a ser analizados.			
Descripción del medio físico (geodesia, geología, hidrogeología, geofísica, tipo de suelo, ubicación de acuíferos y niveles de explotación).	■	■	
Descripción de las actividades socioeconómicas.		■	
Análisis preliminar de la dependencia de las actividades económicas con el consumo de agua proveniente de acuíferos.			■
Detección de puntos o elementos sin información disponible.			■
<ul style="list-style-type: none"> Principales entregables: Definir, de forma preliminar, la relación entre las afectaciones inducidas por el sistema acuífero sobre la salud de la población y las implicaciones económicas que conlleva su sobreexplotación. 			■
Paquete de Trabajo 2			
Estudios preliminares de campo, monitoreo de la zona de estudio y procesamiento de datos.		■	
Campañas piloto para determinación de las características del tipo de suelo y revisión de la salinización de los suelos.			
Modelaciones preliminares aplicando las técnicas SPRC, percepción remota y definición de las bases para el empleo de algoritmos SVM.	■	■	■
Análisis de los flujos hidrológicos e hidrogeológicos.		■	
Valuación de las producciones agropecuarias y turísticas en la región.	■	■	
Recopilación de información del sector salud para identificación de patologías.		■	■
Generación de series de tiempo para definición de los agentes naturales de riesgo para la zona de estudio, considerando en algunos casos, la influencia del cambio climático		■	
<ul style="list-style-type: none"> Principales entregables: Identificación de los servicios ecosistémicos en el área de estudio evaluando sus posibles afectaciones debido a perturbaciones naturales y antropogénicas. Preliminares de definición de zonas vulnerables y de riesgo. Agrupación de variables, clasificación y diseño preliminar de escenarios agrupando la información para la identificación de zonas prioritarias de atención. 		■	■
Paquete de Trabajo 3			
Determinación tasas de subsidencia.			
Establecimiento y modelación de escenarios de incremento del nivel del mar, tectónica, precipitaciones e hidrología.	■	■	
Evaluación a escala regional de las características geológicas, geofísicas, hidrogeológicas, geodésicas, ambientales y socioeconómicas así como monitoreo de sus componentes, generando series de tiempo.	■	■	
<ul style="list-style-type: none"> Principales entregables: Identificación de zonas e infraestructura vulnerable a los efectos de la subsidencia y su relación con la extracción de agua. Mapas de subsidencia y de niveles piezométricos en el área de estudio. Modificaciones de líneas de costa. Mapas preliminares de los impactos en la infraestructura, generación de fallas y de zonas de posibles deslizamientos activos asociados con la extracción del agua. 		■	■
Paquete de Trabajo 4			
Descripción de los servicios ecosistémicos evaluando los posibles impactos originados por las actividades antrópicas en la zona así como los efectos que la disminución en la provisión de servicios clave podría tener en la economía de la región.		■	

	Etapa 1			Etapa 2			Etapa 3		
Evaluación de la vulnerabilidad/riesgos del acuífero, la infraestructura, salud pública y capacidad de mantenimiento de las actividades económicas en la zona.									
Elaborar un análisis detallado de la vulnerabilidad y riesgos ante los cambios inducidos por la sobreexplotación de los acuíferos en el área.									
Identificación de la vulnerabilidad y el riesgo en la zona costera y actividades asociadas.									
Diseño preliminar de escenarios agrupando la información para la identificación de zonas prioritarias de atención.									
Evaluación económica de los servicios ecosistémicos provistos por los ecosistemas naturales y de la región.									
<ul style="list-style-type: none"> Principales entregables: Identificación y evaluación de las relaciones de impacto y dependencia de las actividades económicas de la región con respecto a los servicios ecosistémicos. Identificación de las áreas clave para la provisión de servicios ecosistémicos y aquellas que son beneficiadas por los mismos. Escenarios de vulnerabilidad y riesgo en la región. 									
Paquete de Trabajo 5									
Desarrollo de un modelo conceptual de flujo de aguas subterráneas y afectaciones al sistema acuífero.									
Modelación de los flujos superficiales y subsuperficiales de agua (que permitirán inferir la intrusión salina en el área).									
Análisis del nivel piezométrico de los acuíferos y su evolución en el tiempo. Aplicación de técnicas de percepción remota como una herramienta de monitoreo del comportamiento de los acuíferos.									
<ul style="list-style-type: none"> Principales entregables: Generación de mapas identificando las zonas clave por la provisión de servicios ecosistémicos. Descripción de flujos superficiales y subsuperficiales en el área. Series de tiempo del cambio del nivel piezométrico. 									
Paquete de trabajo 6									
Simulación de escenarios históricos y de predicción del comportamiento del sistema acuífero.									
Aplicación de algoritmos SVM para clasificación y relación de variables analizadas.									
Determinar la influencia de eventos tectónicos y meteorológicos.									
Identificación de impactos socio-económicos y relaciones los resultados de las modelaciones.									
<ul style="list-style-type: none"> Principales entregables: Recomendaciones de manejo del agua enfocadas a disminuir o evitar las enfermedades asociadas con la salinización de agua extraída de pozos e incrementar la calidad de vida de los usuarios del recurso. Atlas de riesgo y vulnerabilidad por intrusión salina en los acuíferos y afectaciones asociadas. 									
Paquete de trabajo 7									
Vinculación del manejo sustentable del agua con el desarrollo de las actividades económicas.									
Definición cuantitativa y cualitativa de la intrusión salina. Determinación de las zonas vulnerables y del número de habitantes afectados.									
Generación de mapas de riesgo y vulnerabilidad considerando distintos elementos e interacciones entre el medio físico, el ambiente, la sociedad, las actividades económicas y la infraestructura.									
Definir la relación entre las afectaciones inducidas por el sistema acuífero sobre la salud de la población y las implicaciones económicas que conlleva su sobreexplotación.									
Desarrollo de talleres informativos sobre los peligros de la sobreexplotación de los acuíferos y sus efectos en la calidad de vida.									
<ul style="list-style-type: none"> Principales entregables: Índice multicriterio para la identificación de sitios vulnerables a la intrusión salina y efectos colaterales. Elaboración de un geo-portal agrupando los principales resultados obtenidos en el proyecto que podrá ser consultado por la población en general y por tomadores de decisiones de la región. Emisión de recomendaciones y difusión de resultados. 									

11. Presentación y sustentación general del presupuesto del proyecto tanto de la parte mexicana como de la alemana, incluyendo el recurso concurrente:

En la presente sección se muestra el presupuesto del proyecto de ambas partes (mexicana y alemana), solicitado a CONACYT. El monto concurrente se considera por separado del presupuesto solicitado.

Primeramente se muestra un resumen de la información, considerando costos general de proyecto por etapa y concurrentes. La aportación de concurrentes por parte del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Sujeto de Apoyo), representan un 32 % del total del monto solicitado a CONACYT.

DESGLOSE FINANCIERO POR ACTIVIDAD - RESUMEN

Institución	Costos Primera Etapa
UNAM	\$730,000.00
UABC	\$545,000.00
Total Primera Etapa	\$1,275,000.00
Institución	Costos Segunda Etapa
UNAM	\$428,280.00
UABC	\$482,280.00
Total Segunda Etapa	\$910,560.00
Institución	Costos Tercera Etapa
UNAM	\$175,000.00
UABC	\$335,000.00
Total Tercera Etapa	\$510,000.00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO (Parte Mexicana-UNAM) en pesos	\$1,333,280.00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO (Parte Mexicana-UABC) en pesos	\$1,362,280.00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO (Parte Mexicana) en pesos	\$2,695,560.00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO (Parte Alemana-TU Braunschweig) en euros	221,800.00 €

DESGLOSE FINANCIERO DE CONCURRENTES - RESUMEN

Institución	UNAM
Total Primera Etapa	\$288,240.00
Total Segunda Etapa	\$288,240.00
Total Tercera Etapa	\$288,240.00
TOTAL DE CONCURRENTES DEL PROYECTO (parte Mexicana)	\$864,720.00
% de concurrentes respecto del total solicitado de la parte mexicana	32.08%

En seguida se muestra un desglose más detallado de las partidas incluidas en el proyecto y presupuesto solicitado, gastos de inversión, gastos corrientes, por etapa y por institución (primero instituciones de la parte mexicana, seguidos por la institución alemana):

DESGLOSE FINANCIERO POR ACTIVIDAD - ET 1 (Primera etapa) PARTE MEXICANA

No	Descripción	Costo Unitario	Unidad	Cantidad	Total	Institución
Gasto Corriente						
1	Gastos de Operación de Laboratorio Se refiere a los gastos de materiales, consumibles e instrumentos que se requieren para los análisis de reactivos y para la colecta, transportación y conversión de muestras.	\$50,000	varios	1	\$50,000	UNAM
2	Publicaciones Impresión de artículos, tesis y gastos de publicación	\$15,000	varios	1	\$15,000	UNAM
3	Acervo bibliográfico Adquisición de documentos en distintos formatos con información de calidad, específica y confiable para los estudios relacionados con el proyecto.	\$10,000	varios	1	\$10,000	UNAM
4	Gastos de Auditoría Se refiere al pago de honorarios por gastos de auditoría relacionados con el proyecto	\$100,000	pza	1	\$100,000	UNAM
Total					\$175,000	
Gasto de Inversión						
5	Equipo de campo - Radiómetro para dron El radiómetro para dron ofrece la capacidad de realizar monitoreos instantáneos y complementarios a imágenes de satélite con el fin de recopilar información referente a distribución y densidad de vegetación, zonas inundadas, zonas de pantano, elevación del terreno y del lecho de cuerpos de agua, corrientes, posición de la línea de costa, oleaje cercano a la costa y otros parámetros.	\$380,000	pza	1	\$380,000	UNAM
6	Equipo de cómputo - Servidor Computadoras para manejos y análisis de datos	\$90,000	pza	1	\$90,000	UNAM
7	Equipo de laboratorio - Medidor digital de Salinidad Equipo para medir la salinidad en suelos	\$70,000	pza	1	\$70,000	UNAM
8	Equipo para medición en campo - Barrenadora Equipo para la perforación mecanizada de pozos someros para la toma de mediciones y lecturas piezométricas.	\$15,000	pza	1	\$15,000	UNAM
Total					\$555,000	
Gasto Corriente						
9	Materiales y consumibles de campo Se refiere a los recursos destinados a la adecuación y preparación del trabajo de campo como es: tornillería, sujetadores de diversos tipos, instalación de equipos en embarcaciones, contenedores para almacenamiento de muestras, guantes y aditamentos de seguridad. Se incluye una campaña de campo en el primer año.	\$70,000	varios	1	\$70,000	UABC
10	Viáticos para trabajo de campo Se plantea una salida de campo por etapa con 4 personas por 4 días de duración	\$1,250	día/persona	16	\$20,000	UABC
11	Transporte local para trabajo de campo Gasolina, peajes, renta de lanchas y contratación de locales para apoyo general	\$500	varios	4	\$2,000	UABC
12	Gastos de personal. Horas de trabajo dedicadas a labores propias del proyecto. Se refiere a la ejecución de campañas de campo, análisis de datos y recopilación de información bibliográfica. (Técnico)	\$16,500	mes	12	\$198,000	UABC
13	Publicaciones Impresión de artículos, tesis y gastos de publicación	\$10,000	varios	1	\$10,000	UABC
14	Acervo bibliográfico Adquisición de documentos en distintos formatos con información de calidad, específica y confiable para los estudios relacionados con el proyecto.	\$15,000	varios	1	\$15,000	UABC
Total					\$315,000	
Gasto de Inversión						
15	Equipo de campo - Dron con cámara Dron equipado con cámara para realizar monitoreos desde el aire y recopilar información referente a distribución y densidad de vegetación, elevación del terreno y del lecho de cuerpos de agua, levantamientos urbanos y corrientes de agua, posición de la línea de costa, oleaje cercano a la costa y otros parámetros.	\$180,000	pza	1	\$180,000	UABC
16	Equipo de cómputo - PC de escritorio Computadoras para manejos y análisis de datos	\$25,000	pza	1	\$25,000	UABC
17	Equipo de cómputo - PC portátil Computadoras para manejos y análisis de datos	\$25,000	pza	1	\$25,000	UABC
Total					\$230,000	

DESGLOSE FINANCIERO POR ACTIVIDAD - ET 2 (Segundo etapa) PARTE MEXICANA

No	Descripción	Costo Unitario	Unidad	Cantidad	Total	Institución
Gasto Corriente						
1	Gastos de Operación de Laboratorio Se refiere a los gastos de materiales, consumibles e instrumentos que se requieren para los análisis de reactivos y para la colecta, transportación y conversión de muestras.	\$10,000	varios	1	\$10,000	UNAM
2	Materiales y consumibles de campo Se refiere a los recursos destinados a la adecuación y preparación del trabajo de campo como es: tornillería, sujetadores de diversos tipos, instalación de equipos en embarcaciones, contenedores para almacenamiento de muestras, guantes y aditamentos de seguridad. Se incluye una campaña de campo en el primer año.	\$70,000	varios	1	\$70,000	UNAM
3	Viáticos para reunión operativa Viáticos y transporte local para 3 personas por 6 días en Alemania para una reunión de trabajo	\$3,570	día/persona	24	\$85,680	UNAM
4	Pasajes para reunión operativa Pasajes internacionales para la asistencia de 3 personas a una reunión de trabajo en Alemania	\$20,400	boleto	4	\$81,600	UNAM
5	Viáticos para trabajo de campo Se plantea una salida de campo con 5 personas por 6 días de duración	\$1,200	día/persona	30	\$36,000	UNAM
6	Pasajes para trabajo de campo Pasajes nacionales para la salida de campo con 5 personas	\$5,000	boleto	5	\$25,000	
7	Publicaciones Impresión de artículos, tesis y gastos de publicación	\$15,000	varios	1	\$15,000	UNAM
8	Acervo bibliográfico Adquisición de documentos en distintos formatos con información de calidad, específica y confiable para los estudios relacionados con el proyecto.	\$5,000	varios	1	\$5,000	UNAM
9	Gastos de Auditoría Se refiere al pago de honorarios por gastos de auditoría relacionados con el proyecto	\$100,000	pza	1	\$100,000	UNAM
Total					\$428,280	
Gasto de Inversión						
Total					\$0	
Gasto Corriente						
10	Materiales y consumibles de campo Se refiere a los recursos destinados a la adecuación y preparación del trabajo de campo como es: tornillería, sujetadores de diversos tipos, instalación de equipos en embarcaciones, contenedores para almacenamiento de muestras, guantes y aditamentos de seguridad.	\$70,000	varios	1	\$70,000	UABC
11	Viáticos para trabajo de campo Se plantea una salida de campo por etapa con 4 personas por 4 días de duración	\$1,250	día/persona	16	\$20,000	UABC
12	Transporte local para trabajo de campo Gasolina, peajes, renta de lanchas y contratación de locales para apoyo general	\$500	varios	4	\$2,000	UABC
13	Viáticos para reunión operativa Viáticos y transporte local para 4 personas por 6 días en Alemania para una reunión de trabajo	\$3,570	día/persona	24	\$85,680	UABC
14	Pasajes para reunión operativa Pasajes internacionales para la asistencia de 4 personas a una reunión de trabajo en Alemania	\$20,400	boleto	4	\$81,600	UABC
15	Gastos de personal. Horas de trabajo dedicadas a labores propias del proyecto. Se refiere a la ejecución de campañas de campo, análisis de datos y recopilación de información bibliográfica. (Técnico)	\$16,500	mes	12	\$198,000	UABC
16	Publicaciones Impresión de artículos, tesis y gastos de publicación	\$10,000	varios	1	\$10,000	UABC
17	Acervo bibliográfico Adquisición de documentos en distintos formatos con información de calidad, específica y confiable para los estudios relacionados con el proyecto.	\$15,000	varios	1	\$15,000	UABC
Total					\$482,280	

DESGLOSE FINANCIERO POR ACTIVIDAD - ET 3 (Tercera etapa) PARTE MEXICANA

No	Descripción	Costo Unitario	Unidad	Cantidad	Total	Institución
Gasto Corriente						
1	Gastos de Operación de Laboratorio Se refiere a los gastos de materiales, consumibles e instrumentos que se requieren para los análisis de reactivos y para la colecta, transportación y conversión de muestras.	\$60,000	varios	1	\$60,000	UNAM
2	Publicaciones Impresión de artículos, tesis y gastos de publicación	\$5,000	varios	1	\$5,000	UNAM
3	Acervo bibliográfico Adquisición de documentos en distintos formatos con información de calidad, específica y confiable para los estudios relacionados con el proyecto.	\$10,000	varios	1	\$10,000	UNAM
4	Gastos de Auditoría Se refiere al pago de honorarios por gastos de auditoría relacionados con el proyecto	\$100,000	pza	1	\$100,000	UNAM
Total					\$175,000	
Gasto de Inversión						
Total					\$0	
Gasto Corriente						
5	Materiales y consumibles de campo Se refiere a los recursos destinados a la adecuación y preparación del trabajo de campo como es: tornillería, sujetadores de diversos tipos, instalación de equipos en embarcaciones, contenedores para almacenaminto de muestras, guantes y aditamentos de seguridad. Se incluye una campaña de campo en el primer año.	\$70,000	varios	1	\$70,000	UABC
6	Viáticos para trabajo de campo Se plantea una salida de campo por etapa con 4 personas por 4 días de duración	\$1,250	día/persona	16	\$20,000	UABC
7	Transporte local para trabajo de campo Gasolina, peajes, renta de lanchas y contratación de locales para apoyo general	\$500	varios	4	\$2,000	UABC
8	Gastos de personal. Horas de trabajo dedicadas a labores propias del proyecto. Se refiere a la ejecución de campañas de campo, análisis de datos y recopilación de información bibliográfica. (Técnico)	\$16,500	mes	12	\$198,000	UABC
9	Publicaciones Impresión de artículos, tesis y gastos de publicación	\$10,000	varios	1	\$10,000	UABC
10	Talleres y Conferencias Gastos relacionados con la organización y elaboración de talleres para difusión de los resultados de la investigación	\$20,000	pza	1	\$20,000	UABC
11	Acervo bibliográfico Adquisición de documentos en distintos formatos con información de calidad, específica y confiable para los estudios relacionados con el proyecto.	\$15,000	varios	1	\$15,000	UABC
Total					\$335,000	

Los concurrentes no se encuentran incluidos en el presupuesto solicitado a CONACYT y descrito en las tablas anteriores. El monto aportado por concurrentes se desglosa en la siguiente tabla.

DESGLOSE FINANCIERO DE CONCURRENTES DEL PROYECTO (Parte Mexicana)

No	Descripción	Costo Unitario	Unidad	Cantidad	Total	Institución
Gasto Corriente POR ETAPA						
1	Gastos de personal. Horas de trabajo dedicadas a labores propias del proyecto. En esta primera etapa se refiere a la ejecución de campañas de campo, análisis de datos y recopilación de información bibliográfica referente a la degradación de los ecosistemas protectores. (Investigador Titular C)	\$167	hora	720	\$120,240	UNAM
2	Gastos de personal. Horas de trabajo dedicadas a labores propias del proyecto. En esta primera etapa se refiere a la ejecución de campañas de campo, análisis de datos y recopilación de información bibliográfica referente a la degradación de los ecosistemas protectores. (Técnico Académico Titular C)	\$120	hora	960	\$115,200	UNAM
3	Gastos de personal Horas de trabajo dedicadas a labores propias del proyecto. En esta primera etapa se refiere a la ejecución de campañas de campo, análisis de datos y recopilación de información bibliográfica referente a la degradación de los ecosistemas protectores. (Jefe de taller)	\$37	hora	960	\$35,520	UNAM
4	Gastos de personal Horas de trabajo dedicadas a labores propias del proyecto. En esta primera etapa se refiere a la ejecución de campañas de campo, análisis de datos y recopilación de información bibliográfica referente a la degradación de los ecosistemas protectores. (Técnico)	\$18	hora	960	\$17,280	UNAM
Total					\$288,240	

Monto Total de Concurrentes UNAM (por las tres etapas)	\$864,720
---	------------------

** Los concurrentes son iguales para cada una de las etapas, por lo que en la tabla se muestran los concurrentes de una etapa individual y posteriormente el total por las tres etapas.

DESGLOSE FINANCIERO POR ACTIVIDAD PROYECTO - ET 1 (Primera etapa) PARTE ALEMANA

No	Descripción	Costo Unitario	Unidad	Cantidad	Total	Institución
Gasto Corriente						
1	Viáticos y Pasajes para reunión operativa Viáticos, Pasajes y transporte local para 2 investigadores por 10 días a México para reunión operativa de inicio	€ 245	día/persona	20	€ 4,900	TU-BS
2	Gastos de personal. Horas de trabajo dedicadas a labores propias del proyecto. (Asistente de Investigación)	€ 5,150	mes	12	€ 61,800	TU-BS
Total					66,700.00 €	
Gasto de Inversión						
Total					\$0	

DESGLOSE FINANCIERO POR ACTIVIDAD PROYECTO - ET 2 (Segunda etapa) PARTE ALEMANA

No	Descripción	Costo Unitario	Unidad	Cantidad	Total	Institución
Gasto Corriente						
4	Viáticos y Pasajes para reunión operativa Viáticos, Pasajes y transporte local para 2 investigadores por 10 días a México para reunión operativa de inicio	€ 245	día/persona	40	€ 9,800	TU-BS
5	Traslados de equipo Transporte vía aérea de equipo geodésico para trabajo de investigación	€ 3,000	varios	1	€ 3,000	TU-BS
2	Gastos de personal. Horas de trabajo dedicadas a labores propias del proyecto. (Asistente de Investigación)	€ 5,150	mes	12	€ 61,800	TU-BS
6	Viáticos y Pasajes para Conferencia Viáticos, Pasajes y transporte local para 1 investigador para asistencia a Conferencia EGU	€ 1,000	pza	1	€ 1,000	TU-BS
Total					\$75,600	
Gasto de Inversión						
Total					\$0	

DESGLOSE FINANCIERO POR ACTIVIDAD PROYECTO - ET 3 (Tercera etapa) PARTE ALEMANA

No	Descripción	Costo Unitario	Unidad	Cantidad	Total	Institución
Gasto Corriente						
4	Viáticos y Pasajes para reunión operativa Viáticos, Pasajes y transporte local para 2 investigadores por 10 días a México y Ensenada para reunión operativa de cierre de proyecto y talleres de trabajo	€ 204	día/persona	28	€ 5,700	TU-BS
5	Talleres y Conferencias Gastos relacionados con la organización y elaboración de talleres para difusión de los resultados de la investigación	€ 10,000	varios	1	€ 10,000	TU-BS
2	Gastos de personal. Horas de trabajo dedicadas a labores propias del proyecto. (Asistente de Investigación)	€ 5,150	mes	12	€ 61,800	TU-BS
6	Viáticos y Pasajes para Conferencia Viáticos, Pasajes y transporte local para 1 investigador para asistencia a Conferencia AGU	€ 2,000	pza	1	€ 2,000	TU-BS
Total					\$79,500	
Gasto de Inversión						
Total					\$0	

DESCRIPCIÓN POR ETAPA.

ETAPA 1

A. Descripción de la etapa:

Se procederá al desarrollo del estado del arte relacionada con la situación bioeconómica del área de estudio considerando la integración y análisis de información bibliográfica existente, así como la realización de campañas de campo intensivas para comenzar el desarrollo de herramientas de análisis y aplicación de las metodologías de trabajo.

B. Meta:

Elaborar un estado del arte que identifique y apunte hacia la generación de un conocimiento de frontera que sea aplicable para un óptimo manejo de los recursos hídricos en un región árida costera con presencia de actividades socioeconómicas relevantes. Definir los puntos clave de análisis y nichos de conocimiento aun no desarrollados que afecten al presente proyecto.

C. Actividades a desarrollar:

Análisis de la información bibliográfica existente y bases de datos disponibles. Caracterización del clima marítimo (oleaje y mareas). Definición de los escenarios de cambio climático a ser analizados. Descripción del medio físico (geología, hidrogeología, geofísica, tipo de suelo, ubicación de acuíferos y niveles de explotación). Descripción de las actividades socioeconómicas. Análisis preliminar de la relación de dependencia entre las actividades económicas y el agua extraída de acuíferos sobreexplotados. Estudios preliminares de campo, monitoreo de la zona de estudio y procesamiento de datos. Campañas piloto para determinación de las características del tipo de suelo y revisión de la salinización de los suelos. Modelaciones preliminares aplicando las técnicas SPRC, percepción remota y definición de las bases para el empleo de algoritmos SVM. Análisis de los flujos hidrológicos e hidrogeológicos. Valoración económica y social de las producciones agropecuarias y turísticas en la región. Recopilación de información del sector salud para identificación de patologías. Detectar puntos o elementos sin información disponible.

D. Productos:

Identificación de los servicios ecosistémicos clave para las actividades económicas desarrolladas en el área de estudio analizando los posibles efectos en su provisión derivados de perturbaciones antropogénicas. Definir, de forma preliminar, la relación entre las afectaciones inducidas por el sistema acuífero sobre la salud de la población y las implicaciones económicas que conlleva su sobreexplotación.

ETAPA 2

A. Descripción de la etapa:

Diagnóstico, monitoreo y aplicación de técnicas de percepción remota, SPRC, valoración económica, evaluación multicriterio, métodos con algoritmos SVM para la identificación de sitios vulnerables a la sobreexplotación de los acuíferos.

Trabajo interdisciplinario de integración de información para conseguir las metas del proyecto. Campañas de campo para monitoreo de puntos de control identificados en la etapa 1.

B. Meta:

Aplicación multidisciplinaria de modelos, técnicas y métodos para la descripción del medio físico, y el tipo/forma de las interacciones con las variables socioeconómicas. Valoración de los servicios ecosistémicos. Establecimiento del riesgo y vulnerabilidad en la región árida costera.

C. Actividades a desarrollar:

Descripción de los servicios ecosistémicos evaluando los posibles impactos originados por las actividades antrópicas en la zona. Evaluación de la vulnerabilidad/riesgos del acuífero, la infraestructura, salud pública y capacidad de mantenimiento de las actividades económicas en la zona. Evaluación a escala regional de las características geológicas, geofísicas, hidrogeológicas, geodésicas, ambientales y socioeconómicas así como monitoreo de sus componentes, generando series de tiempo. Establece cimiento y modelación de escenarios de incremento del nivel del mar, tectónica, precipitaciones e hidrología. Desarrollo de un modelo conceptual de flujo de aguas subterráneos y afectaciones al sistema acuífero. Determinación tasas de subsidencia. Elaborar un análisis detallado de la vulnerabilidad y riesgos ante los cambios inducidos por la sobreexplotación de los acuíferos en el área. Identificación de la vulnerabilidad y el riesgo en la zona costera y actividades asociadas. Modelación de los flujos superficiales y subsuperficiales de agua (que permitirán inferir la intrusión salina en el área). Diseño preliminar de escenarios agrupando la información para la identificación de zonas prioritarias de atención.

D. Productos:

Evaluación de impacto y dependencia de las actividades económicas de la región con respecto a los servicios ecosistémicos. Identificación de las áreas proveedoras de servicios ecosistémicos y aquellas que son beneficiadas por los mismos.. Recomendaciones de manejo para disminuir la pérdida de cultivos causada por la salinización de las tierras. Identificación de zonas e infraestructura vulnerable a los efectos de la subsidencia y su relación con la extracción de agua. Generación de mapas identificando las zonas clave por la provisión de servicios ecosistémicos. Mapas de subsidencia y de niveles piezométricos en el área de estudio. Modificaciones de líneas de costa. Mapas preliminares de los impactos en la infraestructura, generación de fallas y de zonas de posibles deslizamientos activos asociados con la extracción del agua. Diseño preliminar de escenarios agrupando la información para la identificación de zonas prioritarias de atención.

ETAPA 3

A. Descripción de la etapa:

Durante esta etapa se capitalizarán los entregables más representativos del proyecto, es decir, se desarrollará la integración de los resultados de los análisis realizados e información obtenida en las etapas anteriores para la emisión de

recomendaciones para el manejo sustentable del agua en regiones áridas costeras con la inclusión de la interacción con la población y las actividades económicas.

B. Meta:

Generar una herramienta de monitoreo robusta y confiable para estimación del comportamiento de las variables del sistema (ecosistémicas y socioeconómicas) que pueda ser aplicable a otras regiones áridas costeras. Emisión de recomendaciones para un manejo sustentable del agua en la región. Difusión de los resultados obtenidos en el proyecto. Mapas de riesgo y vulnerabilidad en la región e implicaciones en la población y en las actividades socioeconómicas.

C. Actividades a desarrollar:

Análisis del nivel piezométrico de los acuíferos y su evolución en el tiempo. Aplicación de técnicas de percepción remota como una herramienta de monitoreo del comportamiento de los acuíferos. Simulación de escenarios históricos y de predicción del comportamiento del sistema acuífero. Conjunción del manejo del agua con el desarrollo de las actividades económicas. Determinar la influencia de eventos tectónicos y meteorológicos. Desarrollo de talleres informativos sobre los peligros de la sobreexplotación de los acuíferos y sus efectos en la calidad de vida. Valuación económica de los servicios ecosistémicos provistos por los ecosistemas naturales y antropizados por la región así como las relaciones de impacto-dependencia entre las actividades económicas clave y los servicios ecosistémicos. Definición cuantitativa y cualitativa de la intrusión salina. Determinación de las zonas vulnerables y del número de habitantes afectados. Generación de mapas de riesgo y vulnerabilidad considerando distintos elementos e interacciones entre el medio físico, el ambiente, la sociedad, las actividades económicas y la infraestructura. Definir la relación entre las afectaciones inducidas por el sistema acuífero sobre la salud de la población y las implicaciones económicas que conlleva su sobreexplotación.

D. Productos:

Desarrollo de un índice multicriterio para la identificación de sitios vulnerables a la intrusión salina. Elaboración de un geo-portal agrupando los principales resultados obtenidos en el proyecto que podrá ser consultado por la población en general pero que estará dirigido a orientar a tomadores de decisiones de la región para mejorar el uso del agua. Atlas de riesgo y vulnerabilidad por intrusión salina en los acuíferos de la región. Emisión de recomendaciones para entidades de Manejo de Recursos Naturales/Hídricos, Gobierno y tomadores de decisiones. Difusión de resultados a la población en general. Recomendaciones de manejo del agua enfocadas a disminuir o evitar las enfermedades asociadas con la salinización de agua extraída de pozos e incrementar la calidad de vida de los usuarios del recurso.

Referencias

- Arkema, K.K., S.C. Abramson & B.M. Dewsbury (2006). Marine ecosystem-based management: from characterization to implementation. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4: 525-532.
- Barbier, E.B., E.W. Koch, B.R. Silliman, S.D. Hacker, E. Wolanski, J.H. Primavera, E.F. Granek, S. Polasky, S. Aswani, L.A. Cramer, D.M. Stoms, C.J. Kennedy, D. Bael, C.V. Kappel, G.M. Perillo & D.J. Reed (2008). Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values. *Science* 319:321-323.
- Brett Naul (2009). A Review of Support Vector Machines in Computational Biology. *Protein Similarities and Homologies*.
- Beaumont, N.J. M.C. Austen, J.P. Atkins, D. Burdon, S. Degraer, T.P. Dentinho, S. Derous, P. Holm, T. Horton, E. van Ierland, A.H. Marboe, D.J. Starkey, M. Townsend & T. Zarzycki (2007). Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: Implications. *Marine Pollution Bulletin* 54: 253-265.
- Bell, J. & C.E. Lovelock (2013). Insuring mangrove forests for their role in mitigating coastal erosion and storm-surge: An Australian case study. *Wetlands* 33: 279-289.
- Bull, A. (2007). Oceans and coastal tourism: integrating tourism into bioeconomic models. *Tourism in Marine Environments*, 4(1), 29-39.
- Bulleri, F. & M.G. Chapman (2010). The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments. *Journal of Applied Ecology* 47: 26-35.
- COPLADEBC (2015). Programa estatal de desarrollo agropecuario 2015-2019. Gobierno del Estado de Baja California, México, pp. 67.
- Coverdale, T.C., N.C. Herrmann, A.H. Altieri & M.D. Bertness (2013). Latent impacts: the role of historical human activity in coastal habitat loss. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11: 69-74.
- DINAS-COAST Consortium (2004). DIVA 1.0. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany. Disponible en: http://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_natcom/cge/application/pdf/diva_print_me_first.pdf
- Escudero Castillo, Mireille et al. "Characterization of Risks in Coastal Zones: A Review." *CLEAN - Soil, Air, Water* 40.9 (2012): 894-905. Web. 10 Feb. 2014.
- Gillespie, I. M., & Philp, J. C. (2013). Bioremediation, an environmental remediation technology for the bioeconomy. *Trends in biotechnology*, 31(6), 329-332.
- Halpern, B.S., K.L. McLeod, A.A. Rosenberg, L.B. Crowder (2008). Managing form cumulative impacts in ecosystem-based management through ocean zoning. *Ocean and Coastal Management* 51: 203-211.
- INEGI (2015). Censo General de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- Jordan, N., Boody, G., Broussard, W., Glover, J. D., Keeney, D., McCown, B. H., ... & Wyse, D. (2007). Sustainable development of the agricultural bio-economy. *Science-New York then Washington*, 316(5831), 1570.
- Katsanevakis, S., V. Stelzenmüller, A. South, T.K. Sørensen, P.J.S. Jones, S. Kerr, F. Badalamenti, C. Anagnostou, P. Breen, G. Chust, G. D'Anna, M. Duijn, T. Filatova, F. Fiorentino, H. Hulsman, K. Johnson, A.P. Karageorgis, I. Kröncke, S. Mirto, C. Pipitone, S. Portelli, W. Qiu, H. Reiss, D. Sakellariou, M. Salomidi, L. van Hoof, V. Vassilopoulou, T. Vega-Fernández, S. Vöge, A. Weber, A. Zenetos & R. ter Hofstede (2011). Ecosystem-based marine spatial management: Review of concepts, policies, tools, and critical issues. *Ocean and Coastal Management* 54: 807-820.
- Le Houérou, H. N. (1996). Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments*, 34(2), 133-185.
- Lithgow, D. (2014). El manejo basado en ecosistemas: integrando el conocimiento científico sobre servicios ecosistémicos y restauración ecológica. Tesis doctoral. Instituto de Ecología, A.C. México.
- Martínez, M.L., A. Intralawan, G. Vazquez, O. Perez-Maqueo, P. Sutton & R. Landgrave. (2007). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics* 63:254-272.

- Micheli, F. & F. Niccolini (2013). Achieving success under pressure in the conservation of intensively used coastal areas. *Ecology and Society* 18: 19.
- Millenium Ecosystem Assessment-MEA (2005). *Ecosystems and Human Well- Being: Current State and Trends*. Island Press, Washington, DC, USA.
- Müller, B., Schulze, J., Kreuer, D., Linstädter, A. & K. Frank (2015). How to avoid unsustainable side effects of managing climate risk in drylands—The supplementary feeding controversy. *Agricultural Systems*, 139, 153-165.
- Narayan, S. et al. “A Holistic Model for Coastal Flooding Using System Diagrams and the Source-Pathway-Receptor (SPR) Concept.” *Natural Hazards and Earth System Science* 12.5 (2012): 1431–1439. Web. 15 May 2014.
- Parravicini, V., A. Rovere, P. Vassallo, F. Micheli, M. Montefalcone, C. Morri, C. Paoli, G. Albertelli, M. Fabiano & C. N. Bianchi (2012). Understanding relationships between conflicting human uses and coastal ecosystem status: A geospatial modeling approach. *Ecological Indicators* 19: 253-263.
- Ribot, J. C., Magalhães, A. R., & S. Panagides (2005). *Climate variability, climate change and social vulnerability in the semi-arid tropics*. Cambridge University Press.
- Ricard, M. F., Viglizzo, E. F., & G. Podestá (2014). Comparison of adaptative strategies to climate variability in rural areas of Argentine Chaco and US Southern Plains during the last century. *Journal of Arid Environments*. 123, 68-80
- Ruckelshaus, M., T. Klinger, N. Knowlton & D.R. Demaster (2008). Marine ecosystem-based management in practice: Scientific and governance challenges. *Bioscience* 58: 53–63.
- SAGARPA/CONAPESCA (2014). *Comercio exterior acuacultura y pesca*. Secretaría de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación-Comision nacional de acuacultura y pesca, México, pp. 21.
- Sánchez-Zepeda, L. & A. Mungaray-Lagarda (2010). Quality wine: A basis of Endogenous development in the Gudalupe Valley región of Baja California [in Spanish]. *Frontera Norte*, Vol. 22, Num. 44, pp. 109-132.
- Sayers, P. B. et al. *Risk , Performance and Uncertainty in Flood and Coastal Defence – A Review*. London: N.p., 2003. Print.
- Schoelkopf, B.; Tsuda, K. and Vert, J.-P. (2004). *Kernel Methods in Computational Biology.*, ed. MIT Press, pp. 71-92.
- Shiffeld, J., E.F., Wood & M.L. Roderick (2012). Little change in global drought over the past 60 years. *Nature*, Num, 491, pp. 435-438.
- Small, C. & R.J. Nicholls (2003). A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research* 19: 584–599.
- Stelzenmüller, V., P. Breen, T. Stamford, F. Thomsen, F. Badalamenti, A. Borja, L. Buhl-Mortensen, J. Carlstöm, G. D’Anna, N. Dankers, S. Degraer, M. Dujin, F. Fiorentino, I. Galparsoro, S. Giakoumi, M. Gristina, K. Johnson, P.J.S. Jones, S. Katsanevakis, L. Knittweis, Z. Kyriazi, C. Pipitone, J. Piwowarczyk, M. Rabaut, T.K. Sørensen, J. van Dalssen, V. Vassilopoulou, T. Vega-Fernández, M. Vincx, S. Vöge, A. Weber, N. Wijkmark, R. Jak, W. Qiu & R. ter Hofstede (2013). Monitoring and evaluation of spatially managed areas: A generic framework for implementation of ecosystem based marine management and its application. *Marine Policy* 37: 149-164.
- UNEP (2012). *Releasing the Pressure: Water Resource Efficiencies and Gains for Ecosystem Services*. UNEP, 64 p.
- Villatoro, M. et al. “An Approach to Assess Flooding and Erosion Risk for Open Beaches in a Changing Climate.” *Coastal Engineering* (2013): n. pag. Web. 28 Jan. 2014.
- Zanuttigh, Barbara. “Coastal Flood Protection: What Perspective in a Changing Climate? The THESEUS Approach.” *Environmental Science & Policy* 14.7 (2011): 845–863. Web. 15 May 2014.