



Artículo de investigación



Evaluación de la vulnerabilidad territorial: Definiendo la escala de producción datilera sustentable. El caso de la Laguna Salada, México

Assessment of territorial vulnerability: Defining the scale of sustainable date production. The case of Laguna Salada, Mexico

Erika Rubí Nemesio-Laguna , Adriana Margarita Arias-Vallejo 

Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México.

Autor de correspondencia: Erika Rubí Nemesio Laguna, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México. E-mail: erika.laguna@uabc.edu.mx. ORCID: 0000-0003-1684-9386.

Recibido: 17 de marzo del 2022

Aceptado: 02 de mayo del 2022

Publicado: 13 de mayo del 2022

Resumen.- Ante la aridez del territorio de la Laguna Salada (México) y la escasez de datos hidro-productivos sobre el cultivo datilero en el continente americano; la presente investigación tiene como propósito determinar en qué medida y condiciones la superficie datilera se podría expandir por la Laguna Salada sin vulnerar su capacidad para desarrollarse sustentablemente. Metodológicamente lleva a cabo una evaluación de la vulnerabilidad del territorio para conseguir el objetivo. Los resultados de la evaluación determinan la posibilidad de expandir la superficie datilera porque la escala de producción promedio (3 hectáreas) se encuentra por debajo de la escala de producción sustentable (7 hectáreas). No obstante, también señalan que existe una baja capacidad de adaptación del territorio ocasionada por la existencia de mecanismos de gestión de riesgos inoperantes y deficientes. El área más adecuada para expandir la superficie es el noroeste de la zona de estudio.

Palabras Clave: Vulnerabilidad; Escala de producción datilera; Sustentabilidad; Resiliencia.

Abstract. - Given the aridity of the Laguna Salada territory (Mexico) and the scarcity of hydro-productive data on date cultivation in the American continent; The purpose of this research is to determine to what extent and under what conditions the date palm surface could be expanded by the Laguna Salada without violating its capacity to develop sustainably. Methodologically, it carries out an assessment of the vulnerability of the territory to achieve the objective. The results of the evaluation determine the possibility of expanding the date palm surface because the average production scale (3 hectares) is below the sustainable production scale (7 hectares). However, it is also pointed out that there is a low capacity for adaptation of the territory caused by the existence of inoperative and deficient risk management mechanisms. The most suitable area to expand the surface is the northwest of the study area.

Keywords: Vulnerability; Date production scale; Sustainability; Resilience.

1. Introducción

Dada la escasez hídrica y los problemas sociales que sufren los principales países productores de dátil: el Medio Oriente y Norte de África (MENA); actualmente, el comercio de dátil es un negocio rentable para los territorios áridos de Chile, Estados Unidos, México y Perú. Tal es el éxito comercial del producto que esperan incrementar la superficie sembrada; sin embargo, desconocen si el territorio es capaz de proveer una producción comercial constante y sustentable, sobre todo ignoran el área donde se posee la mejor aptitud para expandir la producción.

Las escasas publicaciones sobre requerimientos hídricos y el manejo del riego [1], la falta de un manual de prácticas agrícolas regionalizadas [2], el uso de modelos económicos que administran los recursos en función del volumen demandado [3] y los múltiples beneficios sociales, económicos y ambientales que produce el cultivo en entornos de baja productividad agrícola (suelos salinos, con climas extremos de 4-46°C [4]) [5–7] son algunas de sus causas; mientras que la consecuencia de la falta de conocimiento, suposiciones y/o valoraciones erróneas es la vulneración de la capacidad del territorio para desarrollarse.

Siendo los oasis desérticos, la superficie apta para producir la mejor calidad de dátil demandada por el comercio internacional [8] es necesario determinar (matemática y espacialmente) si los desiertos americanos pueden expandir la superficie datilera sin que esta vulnere la capacidad del territorio para desarrollarse. La presente investigación contribuirá con determinar: ¿en qué medida expandir la superficie datilera del territorio árido de la Laguna Salada (México) compromete su capacidad para desarrollarse sustentablemente? ¿qué acciones se deberían implementar para evitar que la expansión vulnere la capacidad

productiva del territorio árido de la Laguna Salada?

La Laguna Salada es probablemente el único valle agrícola datilero del continente que: no ostenta escasez hídrica, solo produce dátil con un único sistema de riego: goteo [9] y es un laboratorio natural que depende únicamente del agua subterránea para subsistir [10, 11]. Estadísticamente es parte de la principal zona de producción datilera en el continente [12, 13]. En 2014 presentó un déficit hídrico [14] y actualmente sus productores desean conocer el área de mayor aptitud para la producción.

Por otra parte, la capacidad de un sistema para sufrir perturbaciones y mantener sus funciones y controles [15] ha sido explorada por los estudios de resiliencia [16], los cuales usan como herramienta la evaluación de la vulnerabilidad (EV) para tal objetivo.

Generalmente, la EV mide la capacidad en función del grado de exposición, fragilidad y la capacidad de adaptación del sistema al evento dañino [15, 17-19]; aunque algunos autores prefieran medirla a través de indicadores multifactoriales del sistema dañado [20–22].

Las EV más recientes son investigaciones espaciales que analizan subsistemas territoriales afectados por el cambio climático; por ejemplo, la vulnerabilidad: del agua [19], la ecológica [20, 22–24], de la producción agrícola [17, 25] y desarrollo urbano sustentable [26]; de los medios de vida [21]; o bien, son investigaciones exploratorias preocupadas por el desarrollo regional [27, 28].

Según [29], la EV tiene 80 años evolucionando e integrando perspectivas de las ciencias naturales (física, ecología, geografía, etc.) y sociales (economía, antropología, psicología, etc.). Hasta 2003, se le asocia con la sustentabilidad como un indicador clave para la toma de decisiones en apoyo a su transición [18, 30].

A partir de 2015, la superficie sustentable agrícola se define en función de la capacidad de implementar prácticas resilientes que conduzcan a: aumentar la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático y otros desastres (fenómenos meteorológicos extremos, sequías, inundaciones, etc.), y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y el agua [31]. Por ende, el objetivo de la EV consiste en identificar, sugerir y/o señalar las prácticas.

Hasta ahora, la única investigación datilera que se aproxima a un estudio de sustentabilidad-vulnerabilidad fue realizada en Irán y señala que solo el 0.1% de la superficie datilera apta del país también es viable económicamente [4]. La convergencia territorial del cambio climático, taxonomía y propiedades fisicoquímicas del suelo, pendientes de 10°, los usos de tierra aptos, la distancia a una fuente de agua, el riesgo de una enfermedad letal causada por *Fusarium oxysporum f. spp.* y el rendimiento financiero (medido a través del Valor Actual Neto - VAN), ha sido su argumento.

Para efectos de esta investigación, tal estudio es un referente pues: ostenta un problema metodológico, los indicadores financieros solo son representativos dentro de los primeros 20 años de evaluación; no incluye una medida de disponibilidad de agua a pesar de que el país ostente una alta escasez hídrica [32]; y no toma en cuenta la capacidad de adaptación de la sociedad. Por ende, no se sabe si el 0.1% es sustentable.

Metodológicamente, el estudio de [18] es relevante porque cuantifica la superficie de vulneración; no obstante, estudia la vulnerabilidad de los productores de trigo (cultivo extensivo y estacional) ante el cambio climático en el Valle del Yaqui en el estado árido de Sonora, México. Por otra parte, la relevancia de los estudios de [2] y [33] consiste en señalar

como se produce el dátil en Baja California; mientras que las imágenes satelitales de la NASA han sido utilizadas por [34] y [35] para hacer inferencias sobre el volumen de agua subterránea.

En este contexto, la presente investigación realiza una EV con el propósito de: estimar (espacial y matemáticamente) la magnitud en la que la expansión de la superficie sembrada con palma datilera (*Phoenix Dactylifera L.*) vulnera la capacidad del territorio árido de la Laguna Salada (México) para desarrollarse sustentablemente, así como determinar las acciones correspondientes para evitar la vulneración del territorio.

A continuación, se describe los pasos para realizar una EV bajo estas condiciones. Posteriormente, se expone los principales resultados; y por último se otorga conclusiones sobre el tema.

2. Metodología

2.1 La Laguna Salada: el área de estudio

El territorio de la Laguna Salada se encuentra ubicado en el noroeste de México, en el estado de Baja California, entre los municipios de Mexicali, Ensenada y Tecate. Limita al norte con el estado de California en Estados Unidos, al este con la Sierra Cucapá y al oeste con la Sierra Juárez (Figura 1). Se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 32° 13' N y 115° 41' O.

Productivamente hablando, es parte de la principal zona de producción datilera en México, Distrito de Desarrollo Rural 002 Río Colorado [13]. Depende en un 100% del agua subterránea para cualquier actividad humana [10]. Su acuífero (0209) se ubica en la Región Hidrológica No. 4 Baja California Noroeste (Laguna Salada), en la subcuenca Laguna Salada y forma parte de la vertiente del Océano Pacífico [10].

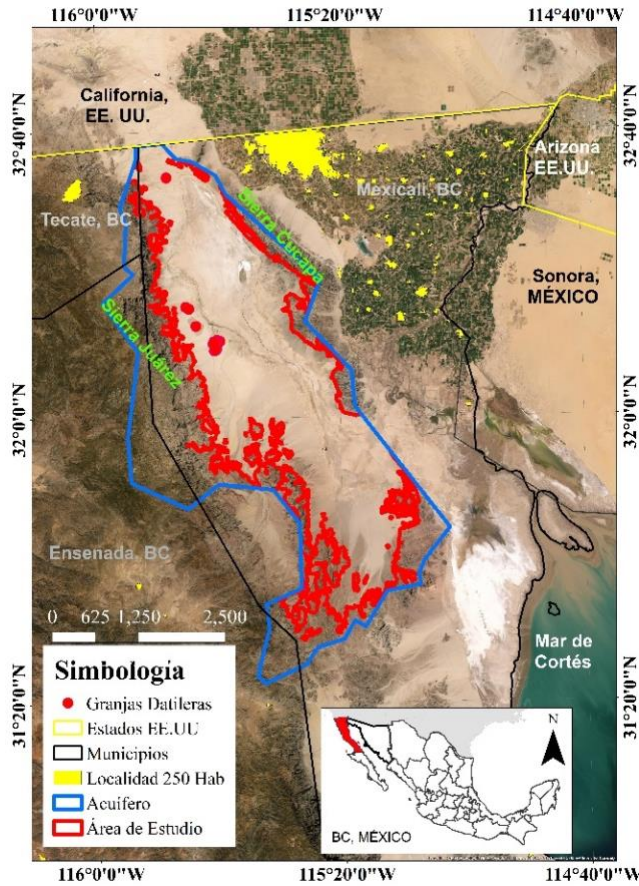


Figura 1. Área de estudio. Fuente: Elaboración propia con base en [10] y [11].

Eliminando la zona de serranías de la extensión del acuífero, su extensión territorial es de 3,370 Km². La densidad de población es menor o igual a 0.0017 (no se puede saber por protección de datos) [36], la cual depende de su única actividad productiva: el cultivo datilero. Las extracciones de agua llegan a los 17.9 hm³/año [10]. El número total de productores datileros es de 28. La superficie actual de palma datilera se aproxima a 93.86 hectáreas.

2.2 Fases metodológicas

Como la EV depende de tres aspectos: Exposición, Fragilidad y Capacidad de adaptación [30]; cada uno de ellos integra una fase metodológica y tiene un procedimiento propio (Figura 2).



Figura 2. Fases metodológicas de la evaluación de vulnerabilidad. AAS=Almacenamiento de Agua Subterránea, AP=Aspectos productivos, DA=Demanda de agua del cultivo, IF=Indicadores financieros.

La Fase I: De la Exposición Territorial comprende el *cálculo de Oferta de Agua Subterránea (OAS)* actual y futura. La ecuación (1) comprende el cálculo de la OAS:

$$OAS = AAS * Sup_{LS} * 0.25 \quad (1)$$

donde OAS es la oferta de agua subterránea, AAS es el Almacenamiento de Agua Subterránea, Sup_{LS} es la superficie del área de estudio, 0.25 es el factor internacional de estrés hídrico donde empieza la escasez hídrica [32].

El cálculo de la OAS futura dependió de: realizar la ecuación 1 para cada imagen satelital de la NASA sobre AAS dentro del periodo 1984-2020; encontrar la mejor recta de regresión del periodo AAS y proyectar el AAS 2020 con tal recta de regresión.

También incluye el *análisis de idoneidad productiva del territorio*, el cual requirió de promediar 18 ráster clasificados por idoneidad productiva en la calculadora de ArcGIS y, posteriormente, delimitar su tamaño en kilómetros. La Tabla 1 especifica los términos en los que se clasificó cada ráster. Para tal clasificación se adecuaron las características del cultivo según la información disponible, el estudio de [4] y las características de la zona.

La variable climatológica no se contempla porque anteriormente estudiosos han determinado que durante los próximos ochenta años la superficie del oeste de México será cada vez más apta para la siembra de palma datilera [37]. La variación de temperatura, humedad de

suelo, estrés por frío y calor, viento y acumulación de estrés por calor fueron sus variables analizadas. Tampoco se contempla el riesgo de una enfermedad letal causada por *Fusarium oxysporum f. spp.* debido a la indisponibilidad de datos.

Tabla 1. Clasificación de variables para identificar y estimar las zonas de mayor aptitud para expandir la producción

VARIABLES	Alta (7)	Media-Alta (5)	Media-Baja (3)	Baja (1)	Nula (0)
1. AAS 2020 (m/mes)	Entre 188.0 y 208.9	Entre 167.9 y 188.0	Entre 145.8 y 167.9	Entre 124.8 y 145.8	
2. Variación AAS (m/mes)	Entre 0 y -9.2	Entre -9.2 y -14.1	Entre -14.1 y -19.0	Entre -19.0 y -23.8	
3. Humedales	No existencia			Existencia	
4. Zona de Inundación	No existencia			Existencia	
5. Edafología	Calificación promedio de tres secciones				
6. Vegetación	Calificación promedio de cuatro capas				
7. Zona Arenosa	Arena			Dunas	No Aplica
8. Pendiente (Grados)	Menor a 10			Mayores a 10	
9. Área Ejidal	Ejidal			No Ejidal	
10. Tenencia de la tierra	Zona parcelada	Tierras de uso común	Asentamiento humano	No Ejidal	
11. Beneficiarios ejidales***	Entre 40 y 83	Entre 10 y 40	Hasta 10	Sin beneficiarios	No Ejidal
12. Disp. Sup. Crecer (Hectáreas/Beneficiario)	De 1288 a 1979	Entre 119 y 899	Entre 35 y 51.6	Sin disponibilidad	
13. Disp. Mano Obra*(Hab.)	Igual a 12557	Entre 3366 y 3533	Igual a 1836	Igual a 176	No Ejidal
14. Dist. Mano Obra* (Km)	Menor a 10	Entre 10 y 20	Entre 20 y 40	Mayor a 40	
15. Dist. Insumos** (Km)	Menor a 10	Entre 10 y 62	Entre 62 y 100	Mayor a 100	
16. Dist. Empaque (Km)	Menor a 10	Entre 10 y 20	Entre 20 y 40	Mayor a 40	
17. Dist. Caminos (Km)	Menor a 5	Entre 5 y 10	Entre 10 y 25	Mayor a 25	
18. Dist. Carreteras (Km)	Menor a 10	Entre 10 y 20	Entre 20 y 40	Mayor a 40	

Fuente: Elaboración propia con base en [11][38]–[41]. *Localidad Cercana, **Centro de población cercano a la ciudad de Mexicali, ***Según título de propiedad.

En el caso de *Edafología*, la calificación (C_{Edafo}) dependió de valorar las tres secciones de suelo (VS1, VS2 y VS3) según su idoneidad productiva, aplicar su factor edafológico (0.6 ó 0.2) y promediar los resultados. La ecuación (2) sintetiza el procedimiento.

$$C_{Edafo} = \frac{(VS1*0.6)+(VS2*0.2)+(VS3*0.2)}{3} \quad (2)$$

El factor edafológico es definido por [11]. La idoneidad productiva dependió de si el tipo de suelo predominante era: Arenosol y Luvisol (=7); Cambisol y Vertisol (=5); Fluvisol, Phaeozem, Regosol y Solonetz (=3); u otro tipo (=1).

En el caso de *Vegetación*, la calificación dependía de promediar cuatro capas de información (Uso de suelo, Vegetación por grandes grupos, Tipo de vegetación y Características de la vegetación). Cada capa contenía varias variables, las cuales fueron valoradas según el impacto ambiental que generaban. 7 recibieron las variables con bajo impacto y 1 para las de alto impacto.

- Uso de suelo: Agropecuaria (=7) y Ecológica, Florística y Fisionómica (=1).
- Vegetación por grandes grupos: No aplicable (=7), Vegetación inducida (=5), Vegetación hidrófila y Matorral xerófilo (=3), Otros tipos de vegetación (=1).

- Tipo de Vegetación: Sin vegetación aparente (=7); los tipos restantes (=5); Vegetación de galería, Vegetación halófila hidrófila y Pastizal inducido (=3), “Otros tipos de vegetación” (=1)
- Características de la Vegetación: No aplicable (=7), Secundaria (=5), Primaria (=3), No disponible (=1).

La **Fase II: De La Fragilidad Productiva Territorial** depende de estimar y evaluar la ecuación (3) para distintas escalas de producción:

$$GVT = \left(\frac{SSens * P}{SSust * P} - 1 \right) * 100 \quad (3)$$

donde: *GVT* es el grado de vulnerabilidad territorial que se obtiene de expandir la superficie sembrada de palma datilera en el área de estudio; *P* es el número de productores datileros en el área de estudio; *SSens* es la escala de producción por productor; *SSust* es la escala de producción que el productor debe ostentar para producir el menor impacto al ecosistema, los mayores beneficios sociales y la mayor rentabilidad posible. Tal ecuación es una adaptación de la de [18]; resolverla dependerá de analizar *SSens* y estimar *SSust*.

El **análisis de *SSens*** es un diagnóstico de la situación productiva actual y de la factibilidad de la expansión datilera. Incluye información sobre productores, superficies y beneficios sociales generados por el cultivo (disponibles en [2, 5, 32, 42-44]); y datos prospectivos sobre demanda de agua, empleo, crédito e indicadores financieros (TIR, PRI) para diferentes *SSens*. Los datos prospectivos e indicadores financieros se obtienen actualizando la Memoria de Cálculo Datilera (MDC) de [33] y resolviendo las ecuaciones (4), (5) y (6) con información de [2, 44-48]:

$$VAgua_{ad} = \frac{Cuota_{ad}}{L * SSens} \quad (4)$$

$$CRiego_{ad} = \frac{Cuota_{ad} + Jornal_{ad} + Mant_{ad} + Bombeo_{ad}}{L * SSens} \quad (5)$$

$$ConsAgua = L * (SSens * P) \quad (6)$$

donde: *VAgua* es el valor estimado del agua usada por el productor en la producción de dátil; *Cuota* es el pago de los productores al ejido por concepto de cuota de agua; *L* es la lámina de riego igual a 13,338.08 y 32,000 m³/hectárea; *SSens* es la escala de producción por productor; *CRiego* es el costo de regar; *Jornal* es el pago por concepto de jornales involucrados en riego; *Mant* es el pago por concepto de mantenimiento del sistema de riego; *Bombeo* es el pago por concepto de bombeo de agua; el subfijo “*ad*” significa suma de valores ajustados descontados desde el año 0 al año 10; *ConsAgua* es el consumo de agua total; *P* es el número de productores.

Los valores ajustados descontados hacen referencia al precio del dinero en el tiempo y a una metodología financiera que utiliza los flujos de efectivo y la Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable para invertir (TREMA). La MCD tiene en cuenta que los productores pagan una cuota fija por el uso de agua y supone que:

- el empaque de la Laguna Salada puede recabar toda la producción de su territorio;
- los precios se mantienen constantes durante diez años (periodo de evaluación de proyectos de dátil en Baja California);
- no hay apoyo gubernamental y la aportación social es el 15% de la inversión;
- el valor del crédito dependerá de mantener como flujo de efectivo mil pesos anuales, los créditos se terminan de pagar hasta el año 10;
- la unidad de transporte: tiene un rendimiento de combustible de 14Km/L, y puede soportar una carga de cinco toneladas;
- *SSens* mínima es la *SSens* cuando la TIR (Tasa Interna de Retorno) = TREMA = 13%.

La variable “Crédito” será la suma de las necesidades de crédito ajustadas y descontadas con la TREMA; mientras que “Empleo” serán los jornales divididos entre 365 (días).

La **estimación de *SSust*** depende de identificar el **Umbral Superficial (*USup*)** de: *VAgua_{ad}*,

CRiego_{ad}, Crédito, Empleo, PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión) y TIR; realizar un análisis comparativo entre los *USup*; y seleccionar la *SSust* respecto a este análisis. Matemáticamente, *USup* es un punto de inflexión. Aquí representa la *SSens* más importante para las variables a analizar. El *USup* más pequeño es *SSust*, por lo que *USup* nunca debe ser menor a la *SSens* mínima.

Posteriormente se *calcula GVT* con la ecuación (1) y se realiza un análisis de regresión simple entre *GVT* y: Empleo, Crédito, TIR, *VAgua_{ad}*, *CRiego_{ad}*.

La **Fase III: De la Capacidad Adaptativa Territorial** requirió de llevar a cabo dos procesos. El primero es un **análisis de sensibilidad** de los indicadores financieros ante un cambio de parámetros productivos. Los parámetros técnicos son los incluidos en la MCD antes mencionada. El segundo es un **análisis de los mecanismos de gestión de riesgos**. Valora las condiciones del marco legal existente (leyes, programas, manual de prácticas, planes, etc.), la disponibilidad de información y financiamiento. La información necesaria para esta fase se encuentra disponible en [11, 38, 40, 41, 45, 49, 50, 59-63, 51-58].

3. Resultados y Discusión

3.1 Fase I: De la Exposición Territorial

La exposición territorial hace referencia a la superficie expuesta y sus características (tamaño, ubicación, etc.). La superficie expuesta está en función de la idoneidad productiva del territorio. Al existir escasez de información hidrológica oficial, el análisis de idoneidad productiva incluye un análisis de *Oferta de Agua Subterránea (OAS)* realizado con imágenes satelitales de la NASA sobre el *Almacenamiento de Agua Subterránea (AAS)*.

El **análisis de OAS** encontró que, en 2020, el área de estudio mantuvo un espesor de AAS de 160.26 m. Aplicando la ecuación 1 se obtuvo un AAS de 135.02 Km³ en tal año. El año de mayor acumulación fue 1992 y el de menor fue 2002. La tendencia del OAS es negativa. Durante el periodo 1984-2020, la tasa anual a la que disminuye el OAS fue de 2.7%. Según la mejor recta de regresión del OAS, en 2030 se espera que haya 133.68 Km³ de agua disponible.

Como las imágenes satelitales no contabilizan los impactos antropogénicos [64], la tendencia señala que conforme pasan los años el territorio es menos capaz de producir agua. Con base en [27] y [35], la tendencia y los periodos húmedos y secos concuerdan con los de la Cuenca del Río Colorado, pero divergen de los reportados por fuentes oficiales [14, 65, 10].

Espacialmente, el área de mayor acumulación de AAS colinda con la Sierra Juárez. La superficie cercana a tal serranía es la que ha disminuido más el espesor de AAS. Las granjas datileras actuales se encuentran dentro de la zona de mayor acumulación, cerca de la Sierra Juárez y en la zona con menos variabilidad hídrica. Este hecho sugiere que el AAS está más relacionada con cambio climático que con la expansión de la superficie; sin embargo, los datos sobre producción aún son escasos como para sostener tal afirmación.

Comparando el nivel de extracción y la densidad de siembra reportados en [2, 10], hidrológicamente la superficie datilera puede crecer; de hecho, si se sembrara toda el área de estudio, el hectareaje consumiría 0.10 Km³ anuales. No obstante, se recomienda ser cautelosos al definir la escala de producción pues: puntualmente no se han comprobado la existencia de los espesores de agua, la resolución de las imágenes de la NASA es de 0.25° y hay gran divergencia con las cifras oficiales.

Al integrar los mapas de AAS 2020 y la variación de AAS junto con 16 variables más, *el análisis de idoneidad productiva* determinó que: la superficie expuesta a la expansión datilera abarca 83,511.51 Km² (equivalentes al 24.78% del área de estudio). El noroeste es su ubicación (Figura 3).

Según la Figura 3, gran parte de la idoneidad se debe a que: el 95.45% del área de estudio posee pendientes menores que 10°, los humedales y las zonas de inundación se localizan en la porción central del acuífero, la distancia a caminos y que el área ejidal altamente idónea converge con los ejidos que mayor disponibilidad de superficie tienen para crecer.

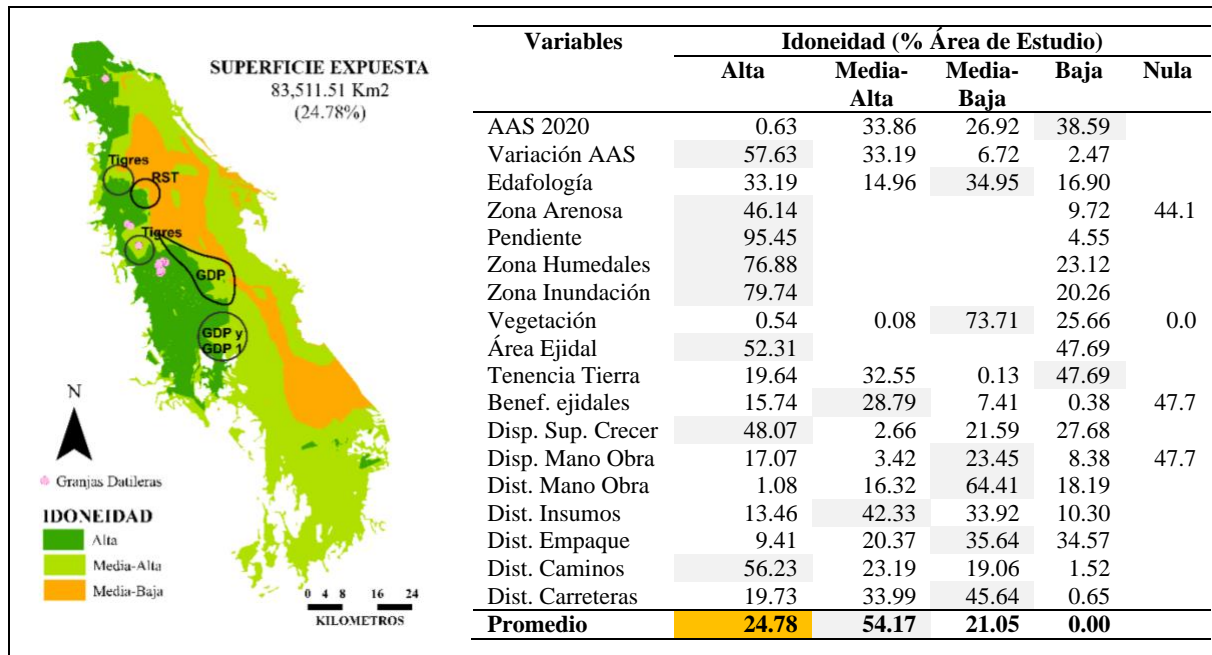


Figura 3. Superficie expuesta y la idoneidad productiva de las variables analizadas. *Nota.* Ejido: Tigres del desierto: “Tigres”, General Rodolfo Sánchez Taboada: “RDT”, Guardianes de la Patria: “GDP”. Fuente: Elaboración propia con base en

El principal problema para expandir la superficie datilera se asocia con el AAS y la tenencia de la tierra pues, gran proporción de área en tales temáticas ha sido clasificada como que ostenta una idoneidad baja para la expansión. Otras problemáticas se relacionan con: edafología (ej. fertilidad del suelo), disponibilidad y distancia a la mano de obra y distancia a carreteras (ej. escasez de mano de obra, dependencia a precios del combustible, aumento de mermas en postcosecha).

Hasta ahora, [2] reporta un problema de mermas y menciona una dependencia al combustible; mientras que algunos los productores han señalado pequeños rendimientos en la primera

cosecha y diferentes alturas de palmas en un mismo predio.

En cuanto a los ejidos: Felipe Ángeles II, José Saldaña II, Plan Agrario y Jamú; presentarán problemas para expandir sus hectáreas ya que se localizan al sur del área de estudio donde las variaciones de agua son mayores, hay zonas de inundación y humedales, tienen menos acceso a mano de obra y los mercados locales contiguos son pequeños.

En los ejidos: Guardianes de la Patria, Guardianes de la Patria 1 y General Rodolfo Sánchez Taboada; se debería exigir el análisis de suelo y agua como medida para expandir su superficie datilera debido a que parte de sus

tierras caen en una idoneidad media-alta (Figura 3), están cerca de suelos salinos, zonas de inundación y humedales.

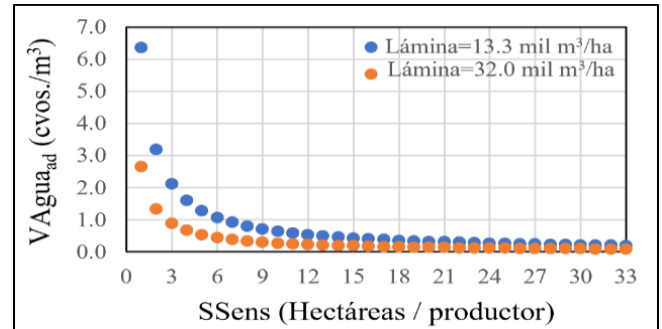
Actualmente, el ejido “Tigres del Desierto” posee hectáreas que están ubicadas fuera de la región más idónea (Figura 3), por lo que sus productores pueden tener problemas con los rendimientos productivos. Los 16 ejidos restantes no tendrían problemas para expandir su superficie productiva debido a que se encuentran en la zona de más alta idoneidad; no obstante, se debe ser cauteloso con la escala de producción porque la cartografía utilizada se encuentra a una escala de 1:250 000.

3.2 Fase II: La Fragilidad Productiva Territorial

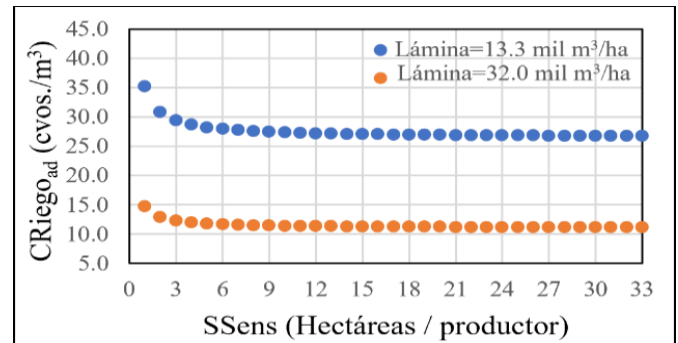
El estudio de la fragilidad realizado por esta investigación: expone las condiciones productivas actuales y la factibilidad de expandir la superficie datilera (análisis de *SSens*), determina la distancia existente con el escenario deseado (*SSust*), cuantifica el grado de vulneración territorial al expandir la superficie datilera (*GVT*) e identifica los factores que más tienden a aumentarla. El **análisis de *SSens*** encontró que:

- la superficie datilera total (93.86 hectáreas) se divide en predios de 0.1-30.0 hectáreas. El 82.14% de los productores posee una *SSens* menor a la media (3.35 hectáreas); y el 35.7% no obtiene rentabilidad económica ya que ostenta una *SSens* menor a la mínima (0.674 hectáreas);
- por madurez productiva de la palma, solo se cosecha el 11.71% de las hectáreas y solo dos productores reciben ingresos;
- los ingresos recibidos son en dólares porque el destino de la producción es el mercado internacional. Esto genera un clima económico de incertidumbre asociado con el tipo de cambio y logística
- el volumen de agua consumido por las 93.86 hectáreas es de 1.2-3.0 hm³/año;

- la política hídrica ejidal de la “cuota fija” conlleva a que la expansión productiva disminuya el valor del agua (Gráfica 1) y a que se derroche más agua porque a menor lámina de agua implementada (tecnología de riego eficiente), mayor costo de riego (Gráfica 2).



Gráfica 1. El valor del agua (*VAgua_{ad}*) según escala de producción datilera (*SSens*) y lámina de agua aplicada. *Nota.* cvos. =centavos (en moneda nacional), ha=hectárea. Fuente: Elaboración propia con base en [47, 48]



Gráfica 2. El costo de regar hectáreas datileras (*CRiego_{ad}*) según escala de producción datilera (*SSens*) y lámina de agua aplicada. *Nota.* cvos. =centavos (en moneda nacional), ha=hectárea. Fuente: Elaboración propia con base en [47, 48].

- aunque producir dátil genera retornos de inversión de 13.05-35.0% (según TIR), los productores pasan entre seis y ocho años en incertidumbre financiera, sin poder recuperar su inversión y dependiendo del crédito.
- si el productor ostenta una línea de crédito menor a 600,000 pesos, aumenta la posibilidad de que abandone la actividad y con ello, de que su superficie vulnere el territorio. Cada hectárea adicional requerirá de un crédito mayor a 350,000 pesos.

- según la Tabla 2, el cultivo datilero en la Laguna Salada no producirá todos los beneficios sociales. Su capacidad de generar beneficios es media-alta (=3.4). Entre los beneficios que no se producirán se encuentra: generar gran cantidad de empleo, frenar la migración a la ciudad y ser participe en la cultura local.

Tabla 2. Beneficios socioeconómicos y socioambientales que genera el cultivo datilero en la Laguna Salada

Beneficios de producir dátil	Posible	Actual
1. Es una industria intensiva en mano de obra.	1.0	1.0
2. Las agroindustrias rodean las principales áreas productoras.	4.5	1.0
3. Bajos costos de producción.	4.5	4.5
4. Juega un papel integral en la vida cultural y religiosa de su población.	1.0	1.0
5. Detiene el flujo de personas de las zonas rurales a las ciudades.	1.0	1.0
6. Se utiliza para la contención de tormentas de arena.	4.5	1.0
7. Se utiliza para controlar y mitigar la desertificación.	7.0	1.0
8. Proporciona materiales y subproductos.	7.0	7.0
9. Proporciona nutrientes a la población.	4.5	4.5
10. Contribuye a mejorar y mantener los medios de vida en las zonas rurales.	4.5	4.5
11. Produce salarios competitivos.	7.0	7.0
12. Genera trabajo para las mujeres.	7.0	7.0
Capacidad productiva (Media)	4.5	3.4

Nota. 7=Si, 1=No, 4.5=Tal vez. Capacidad productiva Alta= 5-7, Media-Alta=3-5, Media-Baja= 1-3, Baja= 0-1. Fuente: Elaboración propia con base en [2, 5, 42, 43, 66].

El umbral superficial (*USup*) del Empleo, el PRI, la TIR, el *CRiego_{ad}* y el *VAgua_{ad}* se compararon con el propósito de *estimar SSust*. El *USup* elegido como *SSust* fue el del *VAgua_{ad}* (=7 hectáreas). Ser el más pequeño *USup*, ser mayor que *SSens mínima* y asegurar cierto valor del agua fueron las razones principales por las cuales se eligió.

Un *USup* pequeño aumenta la probabilidad de que un productor pueda acceder al crédito y mantenga su ingreso familiar. Ser mayor que *SSens mínima* asegura cierta rentabilidad económica y cierta cantidad de empleos. El conservar el valor del agua, disminuye el impacto al ecosistema. El no disponer de información sobre capacidad de endeudamiento de los

productores fue otra razón. La Tabla 3 resume el análisis comparativo llevado a cabo para determinar la *SSust*.

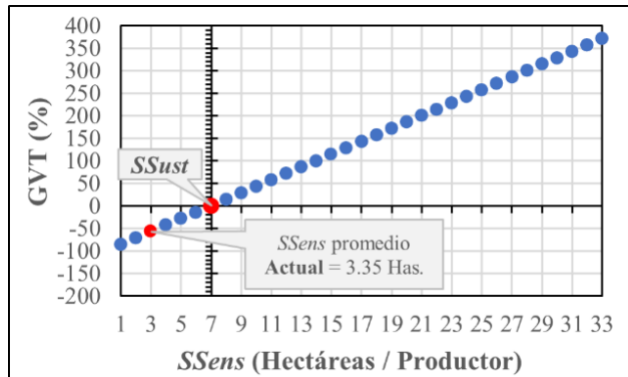
Tabla 3. Análisis comparativo de *USup* para definir *SSust*

Variable	<i>USup</i>	Razón de importancia	Crédito*
Empleo	11	Se eligió 11 hectáreas como <i>USup</i> porque generarían 2 empleos formales, en vez de 1.3 empleos generados por establecer 7 hectáreas (<i>VAgua_{ad}</i>).	4.2
PRI	14	14 hectáreas es la escala que tarda menos tiempo en recuperación la inversión = 6 años.	5.3
TIR	13	A partir de 13 hectáreas los aumentos de la TIR son menores al 0.1 puntos porcentuales.	5.0
<i>CRiego_{ad}</i>	15	Los incrementos en el costo de riego que son menores a 0.01 centavos/m ³ se alcanzan sembrando 15 hectáreas (ver Gráfica 2);	4.2
<i>VAgua_{ad}</i>	7	A partir de 7 hectáreas, la diferencia en el valor del agua (según láminas implementadas) es casi imperceptible (menor que 0.1 centavos/m ³) (ver Gráfica 1).	2.8

Fuente: Elaboración propia con base en la actualización de la MDC de [33]. * Millones de pesos.

Más allá de que en la Gráfica 3 se puedan observar los resultados del *cálculo de GVT*, la gráfica señala que, al implementar la ecuación (1), los tomadores de decisiones pueden discernir si es recomendable o no expandir la superficie, y pueden tener una idea de qué sucederá si eligen cierta *SSens*; o qué tan frágil y alejados se encuentran del escenario deseado *SSust*. Específicamente muestra que, todas las *SSens* por debajo de *SSust* pueden expandir la superficie productiva porque el territorio aun es resiliente; en cambio, todas las *SSens* por encima de *SSust* indican que el territorio es frágil y que la

expansión productiva aumentará la vulnerabilidad.



Gráfica 3. Grado de Vulnerabilidad Territorial (GVT) por expandir la superficie datilera en la Laguna Salada. Fuente: Elaboración propia.

Si bien los tomadores de decisiones podrían aumentar *SSust* y así manipular los resultados, la Tabla 3 indicaría que solo se podría aumentar hasta 15 hectáreas pues aumentar a más conduciría a un desequilibrio ambiental o se requeriría de mayor crédito. Para incrementar *SSust* se debería estar seguro de la suficiencia del volumen de agua subterránea (ver sección 3.1) y contar con información sobre la línea de crédito de los productores. De ahí que, una EV como la que se plantea implica un análisis profundo de *SSens* y *SSust*.

Considerando el número total de productores datileros y los resultados de la Gráfica 3, hoy en día se puede incrementar la superficie sembrada hasta 196 hectáreas (7 hectáreas por productor). No obstante, la Gráfica 1 señala que tal vez existan problemas de manejo en las granjas.

Para conocer que variable influye más en GVT se relacionó cada una de las variables de la Tabla 4 con GVT. Los resultados de tal ejercicio indican que: el empleo y el crédito son variables que actualmente condicionan la expansión datilera pues (R^2) fue cercano al 100% y (R) indica una asociación positiva. Otra de las relaciones más significativas fue *VAgua_{ad}*, la R^2 se situó en 99.96%; mientras que la positividad de R indica que a mayor valor de agua mayor vulnerabilidad.

Posteriormente, se encuentran las relaciones positivas del PRI ($R^2=86.14\%$), el *CRiego_{ad}* ($R^2=68.16\%$) y finalmente la relación con la TIR ($R^2 = 67.03\%$).

3.3 Fase III: La Capacidad Adaptativa Territorial

La fase tres responde a: qué tan capaz son los actores del desarrollo de mejorar su situación actual, cuáles son los impedimentos que no permiten adaptarse y qué estrategias/políticas se deben seguir para fortalecer la resiliencia territorial. En este sentido, se llevó a cabo un **análisis de la sensibilidad** de los indicadores financieros ante un cambio de parámetros productivos (Tabla 4). El análisis encontró que, para mejorar la rentabilidad de las granjas sin tener que expandir el área productiva, los productores deben empezar a vender subproductos de la palma (ej. Hijuelos) y acceder a mercados de nicho (ej. orgánico-ecológico). El no haber usado fertilizantes ni pesticidas en la producción será un punto a favor en los mercados de nicho.

Tabla 4. Análisis de la sensibilidad de los indicadores financieros ante cambio en parámetros productivos base.

Parámetro Productivo (+1%)	Crédito*	TIR**
BASE <i>SSens</i> =3.35 hectáreas	1,528,039	31.754
Hijuelos vendidos	0.00%	-0.516
Precio Kg	0.22%	-0.263
Merma Rendimiento	-0.22%	0.262
TREMA	0.04%	0.252
Tipo Cambio	-0.19%	-0.183
Palmas/Hectárea	-0.28%	-0.167
Mortandad Hijuelos	-0.19%	0.097
Precio Hijuelo	-0.41%	0.079
Apoyo Gubernamental	-1.18%	0.072
Carga de Transporte	-0.09%	0.018
Precio Combustible	-0.07%	0.014
Rendimiento Combustible	0.07%	-0.014
Precio Jornal (Pesos / Jornal)	-0.01%	0.007

Nota. Para todos los escenarios PRI=8, por eso no se incluyó en este resumen. Fuente: Elaboración propia con base en la actualización de la MDC de [33]. *El escenario base está en pesos, **Puntos porcentuales adicionales al escenario base.

Por otra parte, destaca a la TREMA. Los productores débilmente son capaces de manipularla porque esta depende de: la inflación, la tasa de interés y el premio al riesgo; sin embargo, su seguimiento expone el momento adecuado para invertir. Bajo este aspecto, los efectos de la pandemia de COVID-19 actualmente elevan la inflación y tasas de interés, por lo que es momento de adquirir créditos a tasas menores e invertir.

El análisis también señala que, el apoyo gubernamental es clave para disminuir mermas productivas y evitar que los productores sientan la necesidad de expandir su superficie por no poseer una línea de crédito (financiamiento). Otra forma de apoyar es difundiendo información con mayor regularidad sobre factores que inciden: en el precio del dátil, administración del efectivo, mercados de nicho, calidad del dátil y manejo de hijuelos.

El pequeño cambio que experimentan los indicadores financieros ante un cambio en el costo de combustible está asociado con que los productores reciben ingresos en dólares y sus costos son en pesos. En este sentido, la disminución del valor del dólar frente al peso actualmente limitará los ingresos de los productores. Evitar los estragos del dólar y disminuir el costo del combustible obligará a las nuevas plantaciones a establecerse al norte del acuífero por su cercanía a las carreteras. La pequeña distancia disminuirá la probabilidad de ostentar mermas en postcosecha, elevando la capacidad productiva de las granjas.

Con base en *el análisis de los mecanismos de gestión de riesgos* (Tabla 5), la capacidad adaptativa del territorio se clasifica como media-baja. Las acciones que inmediatamente se deben implementar se relacionan con: empezar a llevar un control del sistema productivo (estadísticas), replantear el marco legal para que este concuerde y desarrollar planes de contingencia y manuales de prácticas. A medida que se mejoren estos

aspectos se puede fortalecer la capacidad adaptativa del territorio.

Hasta ahora, ninguna ley visualiza a la expansión de la superficie agrícola como un problema. Aunado a ello, la carta magna mexicana define la sustentabilidad en función de ingreso, empleo y competitividad en el mercado (Art. 25). Como la competitividad involucra los recursos disponibles, supone que si es competitivo no hay problemas con la escasez de recursos naturales. No obstante, las escasas estadísticas hidroagrícolas señalan que: a mayor competitividad en el mercado, mayor agua se extrae y mayor escasez hídrica se genera [13, 67].

La no representatividad del componente ambiental en el Art. 25. constitucional conlleva a que la política de reconversión productiva no se implemente adecuadamente. Por ejemplo, la secretaría de agricultura en Baja California desarrolla modelos de reconversión productiva, en donde la demanda de agua (requerimientos de agua) [3] o la tecnología de riego son el factor ambiental que asegurara la sustentabilidad hídrica [53].

Tabla 5. Condiciones de los Mecanismos de Gestión de Riesgos

Condiciones de la Gestión de Riesgo	CALIF.
1. Falta de marco legal claro, concordante.	1.0
2. No se ha actualizado marco legal.	4.5
3. No se ha delimitado las áreas protegidas.	4.5
4. No hay planes de contingencia productiva ante el fracaso.	1.0
5. No hay un manual de prácticas regionalizado.	1.0
6. No hay un comité ejidal.	7.0
7. No hay un comité hidrológico.	1.0
8. Las estadísticas institucionales no concuerdan.	1.0
9. Faltan estadísticas sobre agua subterránea.	1.0
10. Faltan estadísticas sobre aspectos productivos.	1.0
11. Falta información sobre la capacidad de endeudamiento.	1.0
12. No hay financiamiento para la actividad	4.5
13. Los productores no tienen acceso al crédito	4.5
Capacidad adaptativa territorial (Media)	2.5

Nota. 1=De acuerdo, 7=No de acuerdo, 4.5=Medianamente. Capacidad Alta = 5-7, Media-Alta=3-5, Media-Baja = 1-3, Baja= 0-1. Fuente: Elaboración propia con base en [36, 44-58]

Por otra parte, las leyes relacionadas con el componente físico del territorio (Cambio Climático, Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Aguas Nacionales, etc.) hacen hincapié en la degradación ambiental provocada por la expansión productiva sin mencionar al sector agrícola. Aunado a ello han promovido el análisis de impacto ambiental, el ordenamiento territorial y la evaluación de vulnerabilidad como herramientas para ser resilientes. Bajo este tópico, cabría señalar que el más reciente plan de ordenamiento territorial de Baja California data del año 2014, y el de Mexicali es del año 2000.

Gran parte de esta visión socioeconómica de las leyes agrarias se relacionaba con la postura de instituciones internacionales a cerca del desarrollo. En 2011, la FAO (*Food Agriculture Organization*) reconoce que los territorios agrícolas están en riesgo [68], por lo que conforme pasa el tiempo se espera una mayor participación del paradigma de riesgos en los planes expansivos del sector agropecuario. Mientras tanto, en la Laguna Salada se necesita:

- asegurar la fertilidad del suelo previo a la expansión. El análisis de suelo y agua pueden ayudar para tales efectos;
- redefinir conceptos hídricos pues el balance de aguas subterránea en la Laguna Salada incluye el consumo de agua de los olivos como consumo de agua agrícola, pero estos dejaron de ser una actividad agrícola desde hace varios años. Esto genera una sobreestimación de las extracciones de agua y podría ocasionar sanciones a la actividad productiva;
- conformar el comité técnico de aguas subterráneas de la Laguna Salada;
- desarrollar estudios agronómicos sobre la relación rendimiento productivo, fertilidad de suelo y cambio climático;
- generar información sobre: la línea de crédito de los productores, la proporción que ocupa el ingreso por cosecha de los ingresos totales de los productores;

- mejorar las condiciones de financiamiento en los primeros años y analizar las tarifas de agua; y
- contabilizar el consumo de agua en sitio.

4. Conclusión

La preocupación porque la expansión datilera comprometiera la capacidad del territorio árido de la Laguna Salada de desarrollarse sustentablemente llevó a la presente investigación a realizar una evaluación de la vulnerabilidad territorial. Los resultados concluyen en que, bajo la estructura productiva actual y con la información disponible, es posible expandir la superficie sembrada hasta 196 hectáreas (7 hectáreas/productor) dado que el grado de vulnerabilidad territorial (GVT) es de -57.14 ($SSens < SSust$).

Tal expansión debe generarse en la zona noroeste del área de estudio, sino correrá el riesgo de vulnerar el bolsillo de los productores y degradar el ambiente. Aunado a ello, se encontró que existen problemas de índole administrativa que si no se atienden pueden debilitar la capacidad territorial. Por ejemplo, la línea de crédito de los productores, la política hídrica ejidal, el marco legal desarticulado y desactualizado y la generación de información sobre el estatus hídrico del territorio, etc.

En este sentido, para mejorar la capacidad productiva territorial se necesita que el gobierno analice las tarifas de agua en los ejidos, otorgue mejores planes de financiamiento en los primeros años (que eviten la necesidad de querer expandir la superficie productiva), capacitar a productores en la administración de la granja y a los jornaleros en habilidades productivas; pero sobre todo en la actualización de los planes y la mejora de las leyes sobre sustentabilidad agraria

Teniendo en cuenta la dependencia de la TIR al Crédito y el PRI, los productores podrán expandir su superficie después del año 10. De

esta manera se evitan la acumulación de deudas por una nueva inversión. Si se quiere disminuir la dependencia al crédito, en los primeros años se debe vender los hijuelos, cuidar la calidad del producto y vender otros subproductos de la palma.

Por otra parte, la química de agua, la relación fertilizante-rendimiento, la información hídrica del subsuelo y las características del suelo a escalas menores de 1:250 000 son algunas variables que pueden cambiar los resultados sobre el grado de vulneración. Debido a ello, se recomienda que la academia trabaje bajo estos aspectos.

En lo que respecta a sustentabilidad agraria, concluimos que la evaluación de la vulnerabilidad territorial permite abordar todos los ejes temáticos que la componen: productividad, la rentabilidad, la resiliencia, la tierra y el agua, el trabajo decente y el bienestar [31]; no solo eso, también permite vislumbrar los efectos de la toma de decisiones. Por ende, el indicador de vulnerabilidad territorial aquí usado para calcular la escala de producción (GVT), pudiera ser usado como indicador de sustentabilidad en otros territorios. Su aplicabilidad dependerá de realizar comprobaciones en territorios con más de un cultivo.

5. Agradecimientos

Esta investigación agradece al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)* por el apoyo a la tesis que dio origen a este documento, a la *Secretaría del Campo y Seguridad Alimentaria de Baja California (SCSA)* por la información georreferenciada sobre cultivos, a la *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER)* por el directorio de agricultores y a los científicos de la NASA y del Centro Aeroespacial Alemán por los avances tecnológicos en aguas subterráneas, que sin su

información satelital hubiera hecho imposible la realización de este estudio.

6. Reconocimiento de autoría

Erika Rubi Nemesio Laguna: conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, escritura - borrador original, visualización. *Adriana Margarita Arias Vallejo*: supervisión, revisión y edición.

Referencias

- [1] A. Montazar et al. "Determination of actual evapotranspiration and Crop coefficients of California Date Palms using the residual of energy balance approach". *Water* 2020, vol. 12, no. 8, p. 2253, Aug. 2020.
<https://doi.org/10.3390/w12082253>
- [2] E. R. Nemesio Laguna. "La rentabilidad empresarial y el valor agregado en la industria datilera mexicalense: caso Rancho Vieyra." M.A. thesis, UABC, Mexico, 2017.
- [3] SEFOA. "Modelo integral de priorización de proyectos, 2016". 2016. [Online]. Available: <http://www.sefoa.gob.mx/bienvenida> [Accessed: 10-Dec-2018].
- [4] F. Shabani, O. Cacho, and L. Kumar. "Effects of climate change on economic feasibility of future date palm production: an integrated assessment in Iran". *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 22, no. 5, pp. 1268-1287, 2016.
<https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1162089>
- [5] A. Mihi, N. Tarai, and H. Chenchouni. "Can palm date plantations and oasisification be used as a proxy to fight sustainably against desertification and sand encroachment in hot drylands?". *Ecological Indicators*, pp. 1-11, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.027>
- [6] OEIDRUS-BC. "Estudio estadístico sobre producción de dátil en el municipio de Mexicali". 2010. [Online]. Available: http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/pdf/biblioteca/agropecuaria/DATIL-2010.pdf. [Accessed: 29-May-2020].
- [7] S. Ghnimi, S. Umer, A. Karim, and A. Kamal-Eldin. "Date fruit (*Phoenix dactylifera* L.): An

underutilized food seeking industrial valorization". NFS Journal, vol. 6, pp. 1-10, Mar. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.12.001>

[8] F. Shabani, L. Kumar, and S. Taylor. "Distribution of date palms in the middle east based on future climate scenarios". Experimental Agriculture, vol. 51, no. 2, pp. 244-263, 2015. <https://doi.org/10.1017/S001447971400026X>

[9] OEIDRUS-BC. "Utilización de sistemas de riego en la superficie agrícola: Baja California". 2013. [Online]. Available: http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/pdf/biblioteca/otros/UTILIZACION%20DE%20SIST%20DE%20RIEGO%20EN%20BC.pdf [Accessed: 29-May-2020].

[10] CONAGUA. "Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Laguna Salada (0209), Estado de Baja California". 2020. [Online]. Available: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCalifornia/DR_0209.pdf. [Accessed: 10-Feb-2021].

[11] INEGI. "Datos. Temas. Mapas". 2020. [Online]. Available: <https://www.inegi.org.mx/datos/?t=0150>. [Accessed: 29-May-2020].

[12] G. C. Wright. "The commercial date industry in the United States and Mexico". HortScience, vol. 51, no. 11, pp. 1333-1338, 2016. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11043-16>

[13] SADER. "Servicio de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)." SADER-SIAP, 2019. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430> [Accessed: 22-May-2018].

[14] CONAGUA. "Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Laguna Salada (0209), Estado de Baja California". 2015. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103406/DR_0209.pdf. [Accessed: 22-May-2018].

[15] H. Eakin and A. L. Luers. "Assessing the vulnerability of social-environmental systems". Annual Review of Environment and Resources, vol. 31, no. 1, pp. 365-394, 2006. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144352>

[16] B. Russo et al. "Evaluación de la resiliencia de los servicios urbanos frente a episodios de inundación en Barcelona. El Proyecto RESCCUE". Ingeniería Del Agua, vol. 24, no. 2, pp. 101-118, 2020. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.12179>

[17] B. B. Choudhary and S. Sirohi. "Understanding vulnerability of agricultural production system to climatic stressors in North Indian Plains: a meso-analysis". Environment, Development and Sustainability, pp. 1-20, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01997-7>

[18] A. L. Luers, D. B. Lobell, L. S. Sklar, C. L. Addams, and P. A. Matson. "A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico". Global Environmental Change, vol. 13, no. 4, pp. 255-267, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(03\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(03)00054-2)

[19] J. M. Vera Rodríguez and A. P. Albarracín Calderón. "Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas". Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 27, no. 2, pp. 109-136, 2017. <https://doi.org/10.18359/rcin.2309>

[20] L. He, J. Shen, and Y. Zhang. "Ecological vulnerability assessment for ecological conservation and environmental management". Journal of Environmental Management, vol. 206, pp. 1115-1125, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.059>

[21] M. Vallejo-Ilijama, J. J. Javier-Jara, and G. A. Reyes-Escárate. "Vulnerabilidad de los medios de vida ante las amenazas naturales y antrópicas". Revista Sociedad & Tecnología, vol. 5, no. 1, pp.

- 13-26, 2021.
<https://doi.org/10.51247/st.v5i1.186>
- [22] H. Wu et al. "A novel remote sensing ecological vulnerability index on large scale: A case study of the China-Pakistan Economic Corridor region". *Ecological Indicators*, vol. 129, p. 107955, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107955>
- [23] M. S. Boori, K. Choudhary, R. Paringer, and A. Kupriyanov. "Using RS/GIS for spatiotemporal ecological vulnerability analysis based on DPSIR framework in the Republic of Tatarstan, Russia". *Ecological Informatics*, vol. 67, no. November 2021, p. 101490, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101490>
- [24] X. Cai, Z. Li, and Y. Liang. "Tempo-spatial changes of ecological vulnerability in the arid area based on ordered weighted average model". *Ecological Indicators*, vol. 133, p. 108398, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108398>
- [25] INECC. "Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático". 2019. [Online]. Available: <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/> [Accessed: 03-Mar-2022].
- [26] X. Yang, Y. Yu, and Y. Zheng. "Assessment and optimization of territorial space vulnerability: A case study of Xingyang, Henan, China". *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 120, p. 102950, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102950>
- [27] N. Barbier. "Vulnerability to water shortages in the 21st Century's arid and semi-arid American West". *L'Ordinaire des Amériques*, no. 218, 2015.
<https://doi.org/10.4000/orda.1956>
- [28] É. Liddell. "Phoenix : une métropole-oasis en péril?". *L'Ordinaire des Amériques*, no. 218, Jul. 2015.
<https://doi.org/10.4000/orda.1821>
- [29] O. D. Cardona. "Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos," PhD. thesis. Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2001
- [30] B. L. Turner II et al. "A framework for vulnerability analysis in sustainability science". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 100, no. 14, pp. 8074-8079, 2003.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- [31] FAO. "Objetivos de Desarrollo Sostenible: Indicador 2.4.1 Sostenibilidad de la agricultura". 2020. [Online]. Available: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/241/es/>. [Accessed: 05-May-2021].
- [32] FAO and UN-Water. "Progress on the level of water stress. Global status and acceleration need for SDG indicator 6.4.2". 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.4060/cb6241en>. [Accessed: 29-May-2020].
<https://doi.org/10.4060/cb6241en>
- [33] J. Martínez Vieyra. "Plan de negocios para la producción de dátil," M.A. thesis, UABC, Mexico, 2012.
- [34] K. Lezzaik and A. Milewski. "A quantitative assessment of groundwater resources in the Middle East and North Africa region". *Hydrogeology Journal*, vol. 26, no. 1, pp. 251-266, 2018.
<https://doi.org/10.1007/s10040-017-1646-5>
- [35] B. R. Scanlon et al. "Hydrologic implications of GRACE satellite data in the Colorado River Basin". *Water Resources Research*, vol. 51, no. 12, pp. 9891-9903, 2015.
<https://doi.org/10.1002/2015WR018090>
- [36] INEGI. "Censo de población y vivienda 2020". 2020. [Online]. Available: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>. [Accessed: 17-May-2021].
- [37] F. Shabani, L. Kumar, and S. Taylor. "Climate change impacts on the future distribution of date

palms: A modeling exercise using CLIMEX". PLoS One, vol. 7, no. 10, p. e48021, Oct. 2012.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048021>

[38] B. Li, H. K. Beaudoin, and M. Rodell. "GLDAS Catchment Land Surface Model L4 daily 0.25 x 0.25 degree (GRACE-DA1 V2.2)". 2020. [Online]. Available: https://disc.gsfc.nasa.gov/datacollection/GLDAS_CLSM025_DA1_D_2.2.html. [Accessed: 02-Nov-2020].

[39] B. Li, H. K. Beaudoin, and M. Rodell. "GLDAS Catchment Land Surface Model L4 daily 0.25 x 0.25 degree V2.0 (GLDAS_CLSM025_D 2.0)". 2018. [Online]. Available: https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GLDAS_CLSM025_D_2.0/summary. [Accessed: 27-Nov-2020].

[40] RAN. "Datos Abiertos". 2022. [Online]. Available: <https://datos.ran.gob.mx/conjuntoDatosPublico.php> [Accessed: 03-Mar-2022].

[41] RAN. "Padrón e historial de Núcleos Agrarios (PHINA)". 2022. [Online]. Available: <https://phina.ran.gob.mx/index.php>. [Accessed: 28-May-2020].

[42] R. Krueger. "Date palm status and perspective in the United States," in Date palm genetic resources and utilization. Volumen 1: Africa and the Americas. J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, & D. V. Johnson, Eds. Dordrecht: Springer, 2015, pp. 447-485.

https://doi.org/10.1007/978-94-017-9694-1_14

[43] ONU. "Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible". 2015. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>. [Accessed: 29-May-2020].

[44] SADER. "Directorio de productores de palma datilera. Ciclo Otoño Invierno 2017-2018. Laguna Salada". Baja California, México, 2018.

[45] FIRA. "Agrocostos". 2020. [Online]. Available:

<https://www.fira.gob.mx/Nd/Agrocostos.jsp>.

[Accessed: 09-Jun-2021].

[46] INEGI. "Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC)". 2020. [Online]. Available: <https://www.inegi.org.mx/temas/inpc/>. [Accessed: 29-May-2020].

[47] FAO/RNE. "Workshop on: Irrigation of date palm and associated crops". El Cairo, Egipto, 2008. [Online]. Available: https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Fruitiers/FICHES_ARBRES/Palmier-dattier/date-Palm-irrigation&associated_crops.pdf [Accessed: 29-May-2020].

[48] N. L. Sánchez Ortega. "Análisis de la Planeación y Gestión del uso del Agua para riego, en el sector agrícola de Mexicali, Baja California: Un desafío de gobernabilidad," M. thesis. UABC, Mexico, 2021

[49] CEA-BC. "Programa hídrico del Estado de Baja California: Visión 2035". 2018. [Online]. Available:

<http://www.cea.gob.mx/documents/peh/2016-12-15-PH-BAJA v11.pdf>. [Accessed: 29-May-2020].

[50] POEBC. "Ley de Desarrollo Agropecuario del Estado de Baja California". 2014. [Online]. Available:

<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Baja%20California/wo56284.pdf> [Accessed: 29-May-2020].

[51] SEGOB. "Ley Agraria". Diario Oficial de la Federación, 2018. [Online]. Available: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/13_250618.pdf. [Accessed: 29-May-2020].

[52] SEGOB. "Ley de Desarrollo Rural Sustentable". Diario Oficial de la Federación, 2018. [Online]. Available:

<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/235.pdf>. [Accessed: 29-May-2020].

- [53] SEGOB. "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente". Diario Oficial de la Federación, 2018. [Online]. Available: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf. [Accessed: 29-May-2020].
- [54] SEGOB. "Ley para Impulsar el Incremento Sostenido de la Productividad y la Competitividad de la Economía Nacional". Diario Oficial de la Federación, 2017. [Online]. Available: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LII_SPCEN_170517.pdf [Accessed: 29-May-2020].
- [55] SPABC. "Programa de ordenamiento ecológico del estado de Baja California, México". 2011. [Online]. Available: <http://www.spabc.gob.mx/programas-de-ordenamiento/> [Accessed: 29-May-2020].
- [56] POEBC. "Acuerdo de concertación". 2014. [Online]. Available: <http://www.bajacalifornia.gob.mx/Gobierno/periodicoOficial>. [Accessed: 29-May-2020].
- [57] POEBC. "Programa de ordenamiento ecológico del municipio de Mexicali". 2000. [Online]. Available: <http://www.mexicali.gob.mx/sitioimip/?seccion=Servicios&serv=PLANES%20Y%20PROGRAMAS> [Accessed: 29-May-2020].
- [58] SEDAGRO. "Proyecto agropecuario estratégico estatal, 2019: Baja California". 2019. [Online]. Available: <http://www.sefoa.gob.mx/bienvenida> [Accessed: 29-May-2020]
- [59] SEFOA. "Programa de reactivación económica del Valle de Mexicali 2016". 2016. [Online]. Available: <http://www.sefoa.gob.mx/bienvenida> [Accessed: 29-May-2020]
- [60] SEFOA. "Tecnología y costos de producción hectárea de dátil". 2014. [Online]. Available: <http://www.sefoa.gob.mx/bienvenida> [Accessed: 10-Dec-2018]
- [61] SEGOB. "Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos". Diario Oficial de la Federación, 2020. [Online]. Available: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_060320.pdf. [Accessed: 29-May-2020].
- [62] SEGOB. "Ley de Aguas Nacionales". Diario Oficial de la Federación, 2020. [Online]. Available: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf. [Accessed: 29-May-2020].
- [63] SEGOB. "Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024". Diario Oficial de la Federación, 2019. [Online]. Available: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019. [Accessed: 29-May-2020].
- [64] B. Li et al. "Global GRACE data assimilation for groundwater and drought monitoring: Advances and challenges". Water Resources Research, vol. 55, no. 9, pp. 7564-7586, Sep. 2019. <https://doi.org/10.1029/2018WR024618>
- [65] CONAGUA. "Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Laguna Salada (0209), Estado de Baja California". 2018. [Online]. Available: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCalifornia/DR_0209.pdf [Accessed: 29-May-2020].
- [66] S. M. Jain, J. M. Al-Khayri, and D. V. Johnson (Eds.). Date palm biotechnology. [Online]. Dordrecht: Springer, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1318-5>
- [67] CONAGUA. "Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)". 2020. [Online]. Available: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>. [Accessed: 29-May-2020].
- [68] FAO. The state of the world's land and water resources for food and agriculture. Managing systems at risk. Roma, Italia: FAO & Earthscan, 2011.

Derechos de Autor (c) 2022 Erika Rubí Nemesio Laguna, Adriana Margarita Arias Vallejo



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)