

RESERVA DE DERECHOS AL USO EXCLUSIVO DE TITULO No. 04-2018-070614032000-203

VIGENCIA 06/07/2021 A 06/07/2022

ACTUALIZACIÓN 13/12/2021

ISSN 2594-1925

a cargo de la FCITEC



# RECIT

## REVISTA DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS

VOLUMEN 5 CAPÍTULO 2

ISSN: 2594-1925



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad Valle de las Palmas

# 2022

Abril-Junio



# Revalorización de terrenos agropecuarios a través de proyectos de restauración: estudio de tres casos

## *Revaluation of agricultural land through restoration projects: three case study*

Marisela Moreno Medina<sup>1</sup>, Francisco José Martín del Campo Saray<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guadalajara. Sistema de Universidad Virtual. Calle Mezquitán No. 302 Colonia Centro Barranquitas. C.P. 44100. Guadalajara, Jalisco, México.

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus El Grullo, Km 5 Carretera El Grullo-Ejutla s/n, Puerta de Barro, C.P. 48740 El Grullo, Jalisco, México.

**Autor de correspondencia:** Francisco José Martín del Campo Saray, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus El Grullo. E-mail: [francisco.martindelcampo@elgrullo.tecmm.edu.mx](mailto:francisco.martindelcampo@elgrullo.tecmm.edu.mx). ORCID: 0000-0001-7211-5366.

**Recibido:** 29 de enero del 2022

**Aceptado:** 17 de marzo del 2022

**Publicado:** 01 de abril del 2022

**Resumen.** - *El estudio que se presenta muestra la importancia de la restauración de suelos a través de la valuación, desde la última década del siglo XX la valoración agraria ha cobrado mayor relevancia, conceptos como el paisaje, los servicios ambientales y la conservación se han hecho presentes como bienes intangibles y esto brinda un nuevo sentido a los trabajos valuatorios. El objetivo de la investigación fue fundamentar el valor de la restauración de suelos en terrenos rurales y/o agropecuarios, para lo cual se consideraron tres predios agropecuarios que antes de ser sometidos a un proceso de restauración integral se realizó un avalúo comercial, una vez concluidos los trabajos de restauración y pasados cinco años, se actualiza el avalúo comercial, encontrando que, si bien la inversión que se hizo para llevar a cabo el proceso de restauración se puede recuperar con los resultados obtenidos, este tipo de trabajos no representa grandes márgenes de utilidad, lo que muestra la importancia de cuidar la degradación de las tierras.*

**Palabras clave:** Degradación de suelos; Valoración agraria; Restauración.

**Abstract.** – *The study presented shows the importance of soil restoration through valuation. Since the last decade of the 20th century, agrarian valuation has become more relevant, concepts such as landscape, environmental services, and conservation have become present as intangible assets and this gives new meaning to valuation jobs. The objective of the research was to establish the value of the restoration of soils in rural and/or agricultural lands, for which three agricultural properties were considered, which before being subjected to a comprehensive restoration process, carried out a commercial appraisal, once completed restoration work and after five years, the commercial appraisal is updated, finding that, although the investment made to carry out the restoration process can be recovered with the results obtained, this type of work does not represent large margins of utility, which shows the importance of taking care of land degradation.*

**Keywords:** Soil degradation; Agrarian evaluation; Restoration.



## 1. Introducción

El caso de interés de esta investigación se enfoca específicamente a la valoración de terrenos agropecuarios, que, por lo general, su enfoque metodológico es el productivo, es decir, a mayor producción aumenta el valor de mercado y entre menor sea la producción el valor de mercado se demerita, lo que ocasiona que los campos de productividad baja estén en el abandono.

Este trabajo intenta ver con otra óptica los terrenos agropecuarios, la importancia de estos y los proyectos de restauración como una opción para evitar se devalúen o bien se revaloricen. Para esto, se documentan tres casos de predios con altos índices de degradación, que después de someterse a proyectos de restauración ecológica incrementan nuevamente su productividad, y por consecuencia su valor.

Para poder evaluar de manera objetiva e imparcial esta investigación, la valuación de los predios se hace con; la metodología establecida por el Instituto Nacional de Avalúos y Bienes Nacionales INDAABIN y con apego a la Norma Mexicana NMX-R-081-SCFI-2015 [1]. El objetivo de esta investigación fue, fundamentar el valor de la restauración de suelos en terrenos rurales y/o agropecuarios, una vez que concluye su vida productiva, al considerar que a partir de la inversión en este tipo de proyectos se pueden generar beneficios ambientales, económicos y sociales.

Esta investigación permitió abordar variables tangibles del tipo ambiental como lo fueron la diversidad, el medioambiente y el paisaje, variables intangibles sociales, como lo fue el arraigo, el conocimiento y el sentido de pertenencia a una comunidad, que, aunque no necesariamente se vean reflejadas de manera económica fue importante identificarlas y considerarlas al momento de realizar el avalúo.

Según el informe de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD), la degradación del suelo causada por las actividades humanas, ha puesto en riesgo el bienestar del 30% de la población mundial, es decir a 2,500 millones de personas, lo que ocasiona la extinción de especies, intensifica el cambio climático y es una de las causas principales de la migración humana [2].

México no es la excepción en el problema, según el INEGI para el 2014, el 55% del territorio nacional mostraba algún nivel de degradación [3], en congruencia a esta información para ese mismo año en la Encuesta Nacional Agropecuaria, realizada por el mismo Instituto, mencionaba que el 40% de los agricultores se les dificultaba realizar actividades agropecuarias debido a la pérdida de fertilidad de los suelos, es decir la degradación ya mostraba sus consecuencias y sustituir la fertilidad con productos químicos ocasiona que se incrementen los costos en la producción de alimentos [4].

La política de salvaguardas sociales establece la necesidad de que la participación de los pueblos en los proyectos de desarrollo sea de carácter colaborativo, reconociendo la importancia de que éstos sean incluidos de forma plena y efectiva en el diseño, implementación, monitoreo y evaluación de las políticas públicas desarrolladas en su territorio [5].

A nivel global, la agricultura es el principal impulsor del cambio en los usos del suelo y la causa principal de la pérdida de biodiversidad. Por ello es necesario que los manejos agrarios se orienten a la preservación de paisajes agrarios complejos y a la restauración de la biodiversidad en las zonas agrarias y en los ecosistemas



circundantes de los que depende la agricultura [6].

De acuerdo con organismos nacionales e internacionales, acciones para frenar la degradación de suelos mediante la rehabilitación de tierras, la expansión de terrenos gestionados sosteniblemente y el incremento de iniciativas de reparación de terrenos son las vías principales hacia una mayor capacidad de adaptación y un mejor equilibrio ecológico.

En el campo de la valoración agraria, la tierra también ha tenido que adaptarse, como consecuencia de su pérdida de peso en la estructura de los costos de producción en la explotación agraria moderna y, por el contrario, aparece la necesidad de valorar otros activos y elementos tangibles e intangibles.

De acuerdo con lo anterior, se señala parte de lo analizado en el Estado del Arte; los inicios de la valoración agraria se pueden relacionar con culturas antiguas como el imperio romano, en donde ya se tienen datos sobre el uso de la agrimensura, cuyo fin iba más allá de la medición de terrenos agropecuarios, ya que también atendía cuestiones como, la transformación y división de los terrenos, la valoración o tasación, los deslindes y soportes en las excavaciones o desagües [7].

La revitalización de la actividad agraria en suelos abandonados será factible si se vincula con las políticas municipales y sectoriales. En los suelos agrarios abandonados pueden confluír las políticas públicas de alimentación sostenible, de dinamización del sector agrario y de promoción sociolaboral y los planes de protección medioambiental [8]. Los planteamientos de relocalización del sistema alimentario conectan con conceptos ya veteranos como "bio-región" y con otros más recientes como "sistemas agroalimentarios de ciudad-región" [9] ; [10]), "cuencas alimentarias" [11] o "biodistritos

agrarios" de esta forma, aparecen asociados al diseño de planes y estrategias de alimentación sostenible de las ciudades [12].

Italia se ha caracterizado por hacer grandes aportaciones a la Valuación Agraria, remontando sus primeros antecedentes en el siglo XIII, partiendo del catastro florentino [13]. Para el año 2000, la revista Genio Rurale publicaba actualizaciones bibliográficas sobre valoración [14]. España es otro país con tradición en el estudio y desarrollo de la valoración agraria, los primeros indicios de esta son en Cataluña en el siglo X [13]. La escuela alemana, se caracterizó por el desarrollo de la ciencia hacendística forestal, y de la estética forestal [14]. En Francia a finales del siglo XVIII, Alfred Puton, maestro de la ciencia económica forestal francesa, es quien por primera vez expuso, con claridad y de manera práctica, la valoración de los montes, las cuales fueron seguidas por todos los forestales franceses [7]. En Oceanía, específicamente en Australia Institutions of Surveyors se constituyó en 1952, una federación de las seis instituciones estatales existentes que dio como resultado la formación de la Institución de Agrimensores, Australia [15].

En Norteamérica, en Canadá desde su fundación en 1938 por un pequeño grupo de inspectores de préstamos de Winnipeg, el Appraisal Institute of Canada se ha dedicado a promover la profesión de tasación de bienes raíces, así como la promoción y la capacitación en ese país [16]. En lo que respecta a Estados Unidos, la American Society of Farm Managers and Rural Appraisers fue formada en 1929, los Tasadores y Valuadores de ASFMRA se han caracterizado por sus altos niveles de capacitación y experiencia en Valuación Agraria, pero adaptándose a los tratados europeos [17].

En América Latina, los antecedentes de la valuación se encuentran en culturas como la Inca, ya que se trataba de una sociedad sin moneda, ni



mercado que solo podía funcionar con la participación de tasadores y la existencia de minuciosos catastros de bienes y de manera muy especial de bienes inmobiliarios [13]. La valoración agraria en México ha venido evolucionando a la aplicación de métodos científicos a través de los trabajos del Instituto Nacional de Valuación Agropecuaria y Forestal, A. C., y con la creación de estudios formales de la materia en diversas universidades del país, destacando la UNAM, en su campus Coyoacán y la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo.

De acuerdo a [18] el valor de la tierra adquiere relevancia toda vez que determina la viabilidad económica de un proyecto de siembra e indirectamente el impacto social en las comunidades cercanas al proyecto, en este aspecto el papel del valuador rural es notable, así como la visión y análisis que tenga éste del activo objeto de análisis para la adecuada valoración.

Por su parte, [19] menciona que se desarrollan las técnicas de Agricultura de Conservación, como un sistema de producción agrícola sostenible que comprende un conjunto de prácticas agronómicas adaptadas a las exigencias del cultivo y a las condiciones locales de cada región, cuyas técnicas de cultivo y de manejo de suelo lo protegen de su erosión y degradación, mejoran su calidad y biodiversidad, contribuyen a la preservación de los recursos naturales agua y aire, sin menoscabo de los niveles de producción de las explotaciones.

La adecuada gestión de la conservación de especies vegetativas debe incluir la cooperación y acción conjunta de diversas entidades que favorezcan, en última estancia, la mejora en el estatus poblacional de su misma especie [20]. Con base en experiencias en cuanto al manejo de recursos forestales, se ha observado que la tenencia comunitaria de las tierras a pesar de las dificultades que han surgido puede lograr

mejores resultados en cuanto a conservación y sustentabilidad en comparación con un régimen público o privado [21].

Para asegurar y revertir los procesos de degradación, surge la Restauración Ecológica, actividad que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema que fue degradado, dañado, transformado o totalmente destruido como resultado directo o indirecto de las actividades humanas o de fenómenos naturales [22]. Para rehabilitar un área degradada es necesario realizar diversos estudios y observar la efectividad de estas técnicas en diversas situaciones y complejidades [23].

## 2. Enfoque metodológico

La base de la metodología empleada para el desarrollo del trabajo fue la Norma Mexicana, así como los procedimientos técnicos establecidos por el Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales (INDAABIN), que en materia de Avalúos de bienes agropecuarios ha establecido. La elección de los casos fue al azar, si bien los predios tienen características físicas y actividades diferentes, esto no afecta en nada el seguimiento de la metodología.

El primer paso fue identificar predios degradados que ingresaron al programa de Compensación ambiental por cambio de uso de Suelo, que lleva a administrar la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), a estos predios en un inicio se les realizó un avalúo comercial en las condiciones en que se encontraban, posteriormente fueron sometidos a una serie de actividades de restauración, el cual cronológicamente fueron diseñados a cinco años, en donde se incluyeron actividades de protección, restauración de suelos, reforestación y mantenimiento, con el fin de tratar de garantizar la sobrevivencia de los individuos plantados.

Una vez concluido el proyecto y pasando los 5 años se volvió a realizar un avalúo comercial con



la misma metodología que los primeros avalúos realizados, pero con la actualización de los precios y las variables, incluyendo también las variables identificadas nuevas. El avalúo se efectuó de acuerdo con lo establecido en la norma mexicana NMX-R-081-SCFI-2015 “SERVICIOS-SERVICIOS DE VALUACIÓN-METODOLOGÍA”, cuyos objetivos son, entre otros:

1. Unificar los criterios para la valoración de la prestación del servicio.
2. Establecer criterios homogéneos para la presentación del informe de valuación.
3. Garantizar la prestación adecuada del servicio.
4. Homologar los principios de valuación generalmente aceptados en su práctica en territorio nacional.
5. Validar los resultados del trabajo de restauración desde un punto de vista económico.

En congruencia con la Norma Mexicana el INDAABIN establece el “Procedimiento Técnico PT-TR para la elaboración de trabajos valuatorios que permitan dictaminar el valor comercial y/o el valor de realización ordenada de terrenos rurales de uso agropecuario”, el cual establece que:

Para este procedimiento [7] se consideran terrenos en estado rústico, o acondicionados para la labor, sin restricciones legales, ambientales o ecológicas que impidan su laboreo, aprovechamiento o transformación y que geográficamente no se localicen dentro de la traza urbana de ningún poblado.

Por terreno rural de uso agropecuario, para propósitos de avalúos, se comprende únicamente:

- Los terrenos dedicados a la agricultura directa en suelo (producción de básicos, fruticultura u horticultura, principalmente).
- Los dedicados al aprovechamiento de agostaderos y/o de pradera establecidas.

- Bosques o selvas nativos dedicados al aprovechamiento silvícola.
- Los usos combinados de estas especialidades.

El procedimiento técnico estableció la información siguiente; recepción de la solicitud, identificación del avalúo, revisión de documentación precedente. Una vez que se obtuvo esta información se realizó la carga en un Sistema de Información Geográfica (SIG), con el fin de obtener cartografía para el análisis de los predios y para poder hacer la carga de la información en un GPS previo a la inspección de campo, para tener la certeza de que la inspección se efectuara dentro de los límites señalados, para tomar las coordenadas o vértices del predio y características del terreno como lo pueden ser caminos, cuerpos de agua, fallas geológicas, áreas de cultivos, etc.

En el caso de estos trabajos se utilizó un GPS, marca Garmin 010 – 01199 Receptor GPS y Glonass de Alta Sensibilidad, y el Sistema de información Geográfica, Qgis, que es un software abierto y libre, que permite crear, editar, administrar y exportar capas vectoriales y ráster en varios formatos. A continuación, se presentan figuras de los tres estudios de caso y posteriormente en la parte de resultados se aprecia la intervención. Ver figuras de la 1 a la 6.

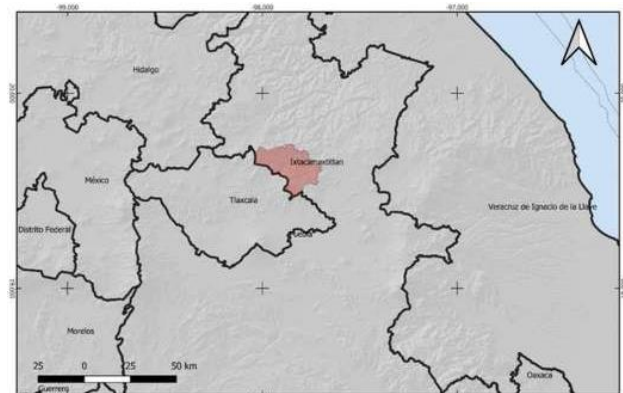
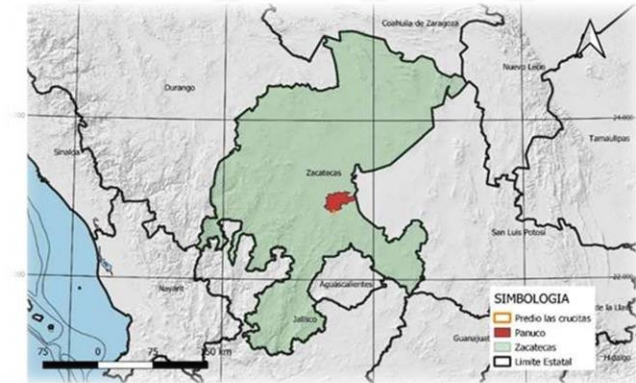


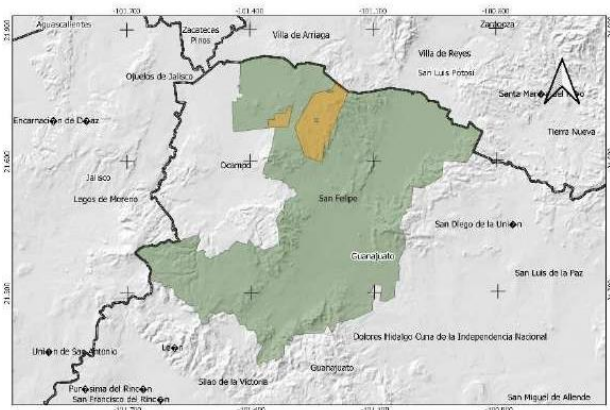
Figura 1. Estudio de caso 1, Analo, Puebla. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 2.** Predio desprovisto de vegetación, Bienes comunales de Analco, Puebla. *Fuente: CONAFOR, 2013.*



**Figura 5.** Estudio de caso 3, Ejido Panuco, Panuco, Zacatecas. *Fuente: Elaboración propia.*



**Figura 3.** Estudio de caso 2, Ejido San Pedro Almolyan, San Felipe, Guanajuato. *Fuente: Elaboración propia.*



**Figura 6.** Vista del predio a restaurar, caso 3. *Fuente: CONAFOR, 2013.*



**Figura 4.** Vista del predio a restaurar, caso 2. *Fuente: CONAFOR, 2013.*

Una vez diagnosticada la situación de los terrenos, posteriormente, el valuador debe tener claramente identificado el bien a valorar, así como los procesos a seguir y la aplicación de los resultados que emita. En el caso de los bienes que se documentaron en esta investigación fueron solo de tipo informativo y comparativo, ya que no se tuvo programado ningún proceso de venta, expropiación o enajenación.

Son tres fechas diferentes y necesarias al momento de emitir el documento, entendiéndose como fecha de inspección la fecha en la cual se realizó la visita de inspección al bien valuado, la fecha de valores, al momento de cierre de valores en el trabajo y en la fecha de emisión del



dictamen, se debe asentar la fecha en que se firmó el dictamen valuatorio por los responsables de su emisión [24].

En apego al artículo 148 de la Ley General de Bienes Nacionales es de seis meses en los casos de terrenos ejidales o comunales, en apego al artículo 74 del Reglamento de la Ley Agraria en Materia de Ordenamiento de la Propiedad Rural.

Previo a la inspección fue importante tener toda esta información en virtud de que brinda certeza jurídica y legal del predio a inspeccionar, de no ser así, se tendría el riesgo de invertir tiempo y recursos de manera innecesaria.

Luego, se realizó la inspección física y descripción del terreno y su entorno donde se señala que es la etapa en la cual el valuador de bienes nacionales, observa, investiga y analiza, todos aquellos elementos que incrementan o restan valor al terreno o predio.

Parte de la importancia de un buen trabajo previo y del manejo de la información digital, es que esta información puede ir precargada en el GPS y verificar en tiempo real, que esta sea la correcta, y poder complementarla con el trabajo en gabinete a través de los sistemas de información geográfica, lo que permitió obtener la cartografía temática con los resultados de la inspección de campo.

Se debe incluir información previa a la inspección o durante la inspección si se localizaron, afectaciones, régimen de propiedad, uso de suelo y situación jurídica sobre construcciones, ocupaciones y servidumbres.

La información sobre climatología se pudo obtener a través de la CONAGUA o el Sistema Meteorológico Nacional, ya que existe una red de estaciones climatológicas, de la cual se pudo identificar la estación más cercana al predio a valuar y de ahí se pudo obtener el historial de la

zona y a partir de esta información se adquirieron datos como:

- Temperatura media anual
- Precipitación media anual con su distribución
- Presencia de heladas
- Presencia de granizadas
- Sequías
- Inundaciones
- Otros meteoros

Esta información se complementa en campo para el análisis y descripción de las características agronómicas y agrológicas que el valuador identifique.

De acuerdo con el procedimiento técnico, las características edafológicas que debe incluir el dictamen son:

- Color
- Textura
- Profundidad de la capa arable
- Pedregosidad
- Permeabilidad y drenaje
- Salinidad
- Erosión, tipo y grado
- Salinidad

Para finalizar con el apartado metodológico, el valuador realiza el estudio de mercado donde obtiene muestras de predios efectivamente vendidos y procura que dichos comparables tengan características semejantes al predio valuado.

El Valor Comercial de terrenos rurales de uso agropecuario resulta de la ponderación de sólo dos indicadores: valor de mercado y valor de capitalización de rentas, resultantes de la aplicación de los enfoques valuatorios: comparativo de mercado y de ingresos [24]. De acuerdo con lo señalado y con apego al procedimiento técnico para la realización de los avalúos y realizado el análisis de los mismos, se





tomó el enfoque comparativo de mercado y el enfoque de ingresos para la realización de este estudio.

### 3. Resultados y discusión

En este apartado se realiza una breve descripción de los terrenos que fungieron como casos de la investigación y se presentan los resultados de mejoramiento después de la intervención de restauración de tierras y reforestación de vegetación, al final se muestra el análisis de los avalúos realizados con el método de aplicación utilizado.

**En el caso 1**, Bienes Comunes de Analco, Ixtacamatlán, Puebla, es un ejido localizado a más de 120 kilómetros de la capital del Estado, con una población aproximada de 320 personas de los cuales 106 son ejidatarios. Este ejido cuenta con una superficie de 664 hectáreas de las cuales 140.30 son de uso común. El ejido se encuentra dentro de la Sierra Madre Oriental y forma parte de esta región montañosa, también conocida como la subprovincia de Anáhuac. Como antecedente, este predio no se encontraba en etapa productiva debido a que su superficie de 65 hectáreas eran suelos endurecidos (Tepetates), lo que hace que las tierras no sean productivas, lo que representó poco menos de la mitad de su uso común.

De las características ambientales no se detectaron afectaciones importantes en aire, suelo, ruidos y vibraciones, radiaciones u otras que tuvieran consecuencias sociales o legales en el predio o su entorno. Tampoco se detectaron restricciones por ocupaciones temporales o servidumbres de paso.

De acuerdo con el Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Puebla y conforme a lo verificado en campo no existió ningún ordenamiento ecológico en la zona correspondiente que fuera requerido por algún

tipo de explotación llámese granjas, minas, aprovechamiento forestal, entre otros.

Ahora bien, en febrero del 2013 el **predio caso 1** tenía un valor inicial de \$0.00 (cero pesos 00/100 M.N). Posterior al avalúo se desarrolló el programa de restauración en donde se trabajaron los dos polígonos, que en su conjunto dio un total de 65 hectáreas para lo cual se realizaron las actividades siguientes:

Consistieron en la roturación del suelo con el fin de quebrar el tepetate para poder trabajar directamente en suelo, otra actividad fue la formación de terrazas individuales, para poder ahí hacer posteriormente la reforestación.



**Figura 7. Forma de roturación del suelo.** Fuente: Recuperado de Google.com, 2019.

Una vez hecha la roturación, se realizó en todo el predio terrazas individuales, que pueden describirse como plataformas circulares de 1.5 metros de diámetro en cuyo centro normalmente se siembran árboles, la distribución de éstas en el terreno se hace en tresbolillo.



**Figura 8. Realización de terrazas individuales.** Fuente: Recuperado de Google.com, 2019.



**Figura 9.** Vista de reforestación de terreno caso 1. Fuente: CONAFOR, 2015.

En resumen, del primer caso se tiene lo siguiente;

**Tabla 1.** Inversión de caso 1. Fuente: Elaboración propia.

Monto de Inversión	\$1,942,889.28
Hectáreas	65.00
Monto de inversión por Hectárea	\$29,890.60
Monto de inversión por hectárea Anual	\$5,972.00
Numero de Jornales Generados	5,800
Monto de inversión en Jornales	\$986,000.00
% de la inversión total en Jornales	49.25%

Una vez concluido el proyecto se realizó el segundo avalúo y aunque en el contenido se volvieron a considerar todas las variables que señala tanto la Norma Mexicana, como el procedimiento técnico, solamente se desarrollaron las características en donde hubo cambios a cuantificar y que influyeron directamente en el avalúo.

Al mes de febrero del 2018 el predio tuvo un Valor Final de **\$2,631,000.00 (Dos millones seiscientos treinta y un mil pesos 00/100 M.N).**

A la conclusión del proyecto además de los nuevos valores reflejados en el nuevo avalúo del predio se detectaron algunos valores intangibles que por las características de los mismos no pudieron ser cuantificables, sin embargo, representaron un valor para la comunidad como lo son: la generación de empleos, ya que el 50% del recurso se invirtió en pago a jornaleros, personas de la misma comunidad a las que se les asignaron las actividades diversas del proyecto, lo que en consecuencia trajo la disminución de la migración, ya que en la época de cosecha había gente que emigraba a trabajar a otros estados por la falta de oportunidades en el ejido. La incorporación de 65 hectáreas de estar obsoletas a ser productivas, y la satisfacción personal de la gente que participó en el proyecto, que de acuerdo con los habitantes de la zona nunca esas tierras habían sido fértiles, por lo que el legado que dejan a su descendencia los hizo sentirse orgullosos.

**El caso 2 de estudio,** correspondió a el Ejido de San Pedro Almoloya, San Felipe, Guanajuato. Se ubica al norte del municipio de San Felipe, en el estado de Guanajuato, El ejido se encuentra inscrito en el Registro Agrario Nacional y cuenta con una superficie registrada de 15, 856 hectáreas de las cuales 11, 936 hectáreas son de uso común, la población del ejido es de 1, 220 personas de los cuales 440 son ejidatarios y de estos solo 40 son mujeres. De la superficie del Ejido, más de 70%



corresponde a uso común, es por eso que el ejido ha dividido esta área para la explotación de cultivos diversos y pastoreo, pero también a zonas que por su baja producción han quedado obsoletas para actividades productivas, por lo que la asamblea en la búsqueda de opciones decidió entrar al programa de compensación ambiental para el año del 2013, con una superficie de 257 hectáreas.

De las características ambientales no se detectaron afectaciones importantes en aire, suelo, ruidos y vibraciones, radiaciones u otras que tengan consecuencias sociales o legales en el predio o su entorno. Tampoco se detectaron restricciones por ocupaciones temporales o servidumbres de paso. De acuerdo con la carta de uso de suelo y vegetación a escala 1:200,000 serie IV del INEGI, el predio estaba compuesto principalmente por vegetación de pastizal, con algunas zonas de bosque de coníferas, aunque en la región también existía vegetación como matorral y pastizal inducido. Con relación a la erosión, ésta se presentó del tipo hídrico y por compactación.

El grado de erosión fue de ligera a moderada en varias zonas. Es importante señalar, que esta área ha padecido algunos incendios en épocas anteriores al año 2019, lo que favoreció las condiciones para el aumento de la erosión. Para la elaboración del procedimiento técnico, se realizó el método de la línea de Canfield para determinar la cobertura vegetal del predio y mediante el coeficiente de agostadero de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGARPA) para determinar la productividad del predio.

El valor del predio al mes de febrero de 2013 fue de **\$9,183,000 (NUEVE MILLONES CIENTO OCHENTA Y TRES MIL PESOS 00/100 M.N.)**

El proyecto de restauración con una duración de cinco años inició con la exclusión del predio con un cercado de 10.7 Kilómetros de postes de fierro con alambre de púas para impedir el paso al ganado.



**Figura 10.** Cercado de alambre de púas, caso 2. *Fuente: Elaboración propia.*

Debido al índice alto de erosión en el predio se realizaron diferentes obras de suelo, aprovechando el material de la zona, esto con el objetivo de poder contener los procesos de degradación, pérdida del suelo y favorecer la retención de la humedad.

Entre las obras que se realizaron fueron: zanjas trincheras, barreras de piedra, cabeceo de cárcavas y presas de piedra. Una vez que estas obras empiezan a dar resultados se prepara el suelo para la reforestación, también se realizaron terrazas individuales y estas terrazas reciben la reforestación.



**Figura 11.** Cabeceo de cárcavas, caso 2. *Fuente: Elaboración propia.*

Para la reforestación del lugar se plantaron 100,000 plantas, de Pino y Encino, con la técnica de marco real, así como Agave, en las zonas donde el suelo tenía una profundidad de 15 centímetros. Para reforzar la reforestación, se realizaron actividades como fertilización, riegos de auxilio en la temporada de sequía y la apertura de brecha cortafuegos para proteger la reforestación de incendios posibles.

En resumen, del segundo caso se tiene lo siguiente;

**Tabla 2.** Inversión de caso 2. *Fuente: Elaboración propia.*

Monto de Inversión	\$ 4,598,078.80
Hectáreas	257.00
Monto de inversión por Hectárea	\$17,891.40
Monto de inversión por hectárea Anual	\$3,578.28
Numero de Jornales Generados	15,350
Monto de inversión en Jornales	\$2,301,500
% de la inversión total en Jornales	50.07%

Una vez concluido el proyecto y para contar con las mismas condiciones que el caso 1, se realizó

de nuevo el avalúo, en el mismo mes, pero cinco años después. Para el segundo avalúo se actualizaron los valores del método de valor de capitalización de rentas, así como los valores del método de capitalización de mercado, las características que cambiaron en relación al primer avalúo fueron qué; las especies reforestadas se contabilizaron y se les dio el valor de planta de vivero, que no cuenta con permisos para aprovechamiento forestal, ni cuenta con la edad para aprovechamiento, la sobrevivencia de las especies fue de un 65% en promedio. La superficie de agostadero tuvo muy buena recuperación, y hubo retención de la degradación en la zona, las condiciones para pastoreo se hicieron óptimas para la práctica.

Las obras de suelo realizadas en el año del 2013 no se contabilizan como mejoras, ya que al año 2018 que se realizó el segundo avalúo, estas ya habían cumplido su función y esto se ve reflejado tanto en la disminución de la degradación de suelos, como en la recuperación de la cubierta vegetal. El valor del segundo avalúo a marzo del 2018 fue de: **\$15,020,000 (QUINCE MILLONES VEINTE MIL PESOS 00/100 M.N).**

La disminución de la migración fue uno de los fenómenos que la gente percibió casi de manera inmediata y así lo expresaron. Además de que en ese momento buscaron revertir este proceso e invitar a sus migrantes que regresaran.

A partir de esta experiencia, los ejidatarios aprovecharon este tipo de programas y hasta marzo del 2018, este ejido ya ha participado con 11 proyectos, entre ellos, restauración de suelos, reforestación y pago por servicios ambientales, entre otros.

**Y finalmente, para el caso 3,** correspondió al Ejido Panuco, Panuco, Zacatecas, se localiza en el municipio del mismo nombre en el estado de Zacatecas, aproximadamente a 20 kilómetros de



la capital del estado. Este ejido cuenta con una superficie de 4,950.87 hectáreas, de las cuales 2,112.62 corresponde a áreas parceladas, 31.39 hectáreas a asentamientos humanos y 2,806 hectáreas a uso común RAN, la población que vive en el ejido eran aproximadamente 963 habitantes [3].

El ejido decidió entrar al programa de compensación ambiental en el año del 2013, específicamente en el paraje Las Crucitas, parte del uso común, el cual según los planos presentados eran 340 hectáreas. Al interior del predio, no se detectó ningún tipo de contaminación en aire, agua o suelo, ni se identificó alguna forma de explotación como minas o granjas, tampoco se localizó alguna restricción de paso u ocupación dentro del predio. De acuerdo con la carta de uso de suelo y vegetación serie IV del INEGI, la vegetación de la zona era pastizal natural y su uso era de agostadero, lo cual correspondió también a la información obtenida en campo.

El avalúo realizado de este ejido con fecha de febrero del 2013 dio como resultado un valor de **\$8,279,000.00 (OCHO MILLONES DOSCIENTOS SETENTA Y NUEVE MIL PESOS 00/100 M.N.)**

Una vez que el ejido ingresó al programa de restauración y se analizaron las características del terreno y los niveles de degradación, se realizó una inversión de \$3,469,314.83 para desarrollar el proyecto en 340 hectáreas, en donde se realizaron las siguientes actividades; se levantó una cerca de protección de 8.13 Kilómetros el cual consistió en la limpieza, trazo de línea, apertura de pozos para los postes y construcción del mismo, incluyó 4 hilos de alambre de púas, dos separadores entre postes y postes de fierro a cada 4 m, retenidas a cada 100 m. Esta actividad fue con el fin de excluir el ganado del predio.



**Figura 12.** Cercado de poste de fierro con alambre de púas. Fuente: CONAFOR, 2018.

Una vez concluida la exclusión del predio se realizaron las obras de restauración de suelos como zanjas bordo manual, barreras vivas, terrazas individuales y presas de llantas. Esto con el objetivo de tratar de contener la degradación, retener la humedad en el suelo y prepararla para el momento de la reforestación [25].



**Figura 13.** Presa de llantas, caso 3. Fuente: CONAFOR, 2015.



**Figura 14.** Vista de zanja-bordo, caso 3. *Fuente:* CONAFOR, 2015.

Para las actividades de reforestación se realizó una adquisición de 70,000 árboles de Mezquite, Palma y Pino piñonero, así como 85,000 plantas de nopal y maguey, las cuales fueron reforestadas al segundo año una vez iniciado el proyecto.



**Figura 15.** Reforestación, caso 3. *Fuente:* CONAFOR, 2015.

En resumen, para este caso se muestra la tabla 3;

**Tabla 3.** Inversión de caso 3. *Fuente:* Elaboración propia.

Monto de Inversión	\$ 3,469,314.83
Hectáreas	340.00
Monto de inversión por hectárea	\$10,204.00
Monto de inversión por hectárea Anual	\$2,040.00
Numero de Jornales Generados	13,690
Monto de inversión en Jornales	\$2,053,500
% de la inversión total en jornales	59.25%

La población de árboles de especies como pino piñonero, mezquite y palma alcanzaron una altura promedio de 1.30 m que, si bien, aún corresponde a medidas consideradas como de vivero, pero el costo por estas especies tiene un valor mayor que cuando se realizó la adquisición, la población de estas especies es de 50,000 árboles distribuidos en las 340 hectáreas. Entre las mejoras al terreno se contabilizó el cercado de poste de fierro con alambre de púas, la presa de mamposteo y las zanjas derivadoras de escorrentía, mientras que las obras de suelo como las zanjas bordo y las terrazas individuales ya no se contabilizaron, en virtud de que ya cumplieron su función y el valor de ésta fue trasladado a los resultados en el predio.

El segundo avalúo con fecha de febrero del 2018 dio como resultado un valor de: **\$16,479,000.00 (DIECISEIS MILLONES CUATROSCIENTOS SETENTA Y NUEVE MIL PESOS 00/100 M.N.)**

Uno de los primeros cambios que la gente manifestó, fue la disminución del vandalismo y la delincuencia, ya que se generaron fuentes de trabajo. También la sinergia entre la población, ya que se elaboraron grupos de trabajo para las



actividades, no solo las de campo, sino también se organizaron para la distribución de alimentos y la adquisición de la planta. Durante el segundo año del proyecto en 2015, se empezó a ver el retorno de la fauna ya que hubo avistamientos de mapache, zorrillo, coyote, conejo, ardilla y liebre. La reincorporación a las actividades productivas de algunas personas de la tercera edad, como supervisores en campo, quienes dijeron sentirse nuevamente motivados por ser parte del proyecto. Reactivación de la economía, ya que se generó empleo, pero también se recibieron visitas de dependencias federales, estatales, escuelas tecnológicas y escuelas secundarias interesadas en conocer el proyecto, por lo que el negocio local tuvo un ingreso adicional. Esto permitió tener recurso y capacitación para generar proyectos productivos sustentables en el ejido, y que admitiera promover prácticas de manejo integral y el fortalecimiento para la creación de un ordenamiento territorial.

#### **4. Conclusiones y hallazgos**

En el caso de los agricultores, este tipo de ejercicio brinda la idea de cuánto cuesta rehabilitar una parcela, aunque la restauración de un predio depende de una variedad de condiciones, este tipo de ejercicios presenta situaciones reales de inversión por hectárea para poder ejecutar proyectos de renovación.

Los tres casos mostraron características geográficas físicas y sociales completamente diferentes, lo que permite identificar peculiaridades, pero con relación a lo que el ejercicio de valuación señala es: el monto de inversión para la restauración de un predio disminuye, entre mayor sea la cantidad de hectáreas a restaurar.

De los proyectos de restauración el 50% en promedio es destinado a la generación de jornales para el desarrollo del proyecto, por lo que ese

recurso queda en la localidad para beneficio de la población.

Para los tres casos el valor de la hectárea se duplicó una vez restaurado el predio, sin embargo, también se habla de un programa impulsado por el Gobierno Federal, es decir, la inversión es a fondo perdido.

Otro ámbito por resaltar es en el aspecto social, en todos los casos se identificó una sinergia al momento de desarrollar los proyectos, problemas como la inseguridad y la migración tuvieron una disminución, perceptible casi de inmediato para la población de la localidad.

Para el caso de los profesionales en valuación este ejercicio sirve para evaluar la pertinencia de la normatividad existente, para el caso de la valuación agraria o valuación agropecuaria, ya que esta requiere de un mayor conocimiento y en muchos casos el apoyo multidisciplinario, por lo que es importante apreciar cómo se debe de cubrir cada uno de los requerimientos y ser muy certero durante el proceso, para poder identificar todos los bienes tangibles e intangibles que se encuentren durante esta fase.

Al lograr que las tierras de cultivo sean más productivas, se disminuyen los costos de producción al utilizar menos fertilizantes, genera empleos en las localidades, lo que disminuye la migración de los campos de cultivo, fortalece el campo como un sistema y al incrementar los precios de los predios rurales, ocasiona reducir las fuerzas centrifugas que genera el crecimiento urbano.

En el marco del día mundial de la lucha contra la desertificación 2018, la convención de las Naciones unidas, promovió esta celebración con el lema: "La tierra tiene un verdadero valor: invierta en ella". Este organismo, señala que: Al convertir la degradación de la tierra en restauración de la tierra, se puede realizar todo el



potencial de la tierra. Una tierra saludable y productiva puede traer no solo beneficios ambientales, sino también beneficios económicos significativos [2].

Esta convención señala que, si los productores invirtieran una parte de sus ganancias en la restauración de la tierra, esta será fértil durante más tiempo y en consecuencia el costo de producción sería menor, entonces la responsabilidad va desde el consumidor, quienes tendrían que pagar precios justos y consumir variedad de productos.

La investigación, intenta promover la inversión para la ejecución de proyectos, conservación y restauración de las tierras para que no sea el gobierno el único en invertir en este tipo de programas, sino que también los agricultores y empresarios inviertan para evitar la degradación o restaurar las tierras improductivas.

Otra cuestión de resaltar es que, el estudio realizado abona directamente al método de restauración de suelos agrarios donde se aplicaron avalúos de tipo comercial antes y después de intervenidas las tierras, de esta manera, se establece la relación restauración-valoración y la pertinencia de indagar sobre este tipo de bienes.

## 5. Reconocimiento de autoría

*Marisela Moreno Medina:* Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, recursos, curación de datos, escritura-borrador original, administración del proyecto. *Francisco José Martín del Campo Saray:* Metodología, análisis formal, investigación, escritura-revisión y edición, visualización, supervisión, administración del proyecto.

## Referencias

- [1] INDAABIN Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales, recuperado de: <https://www.gob.mx/indaabin/que-hacemos>
- [2] CNUCLD. Convención de las Naciones Unidas para Combatir la Desertificación. “Comunicado de prensa en el marco de la conmemoración del El Día Mundial de Lucha contra la Desertificación”, 17 de junio del 2018. Recuperado de: <https://www.unccd.int/actions17-june-world-day-combat-desertification/celebrate-2018wdcd>
- [3] INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. “Conjunto de datos de erosión de suelos, escala 1:250 000 serie I, continuo nacional. Elaboración de mapas” 2009-2013, 2014.
- [4] INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. “Resultados principales de la Encuesta Nacional Agropecuaria”, 2013.
- [5] E. L. Sánchez, Evaluación social del programa “Restauración forestal en cuencas hidrográficas prioritarias” con localidades mazahuas del sistema de microcuencas prioritarias Cutzamala, 2019.
- [6] G. de España, “Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas”. Vicepresidencia cuarta del Gobierno, Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2020. <https://bit.ly/2N9mSzz>.
- [7] I. Giol y Soldevilla, “Tratado de Agrimensura”. Madrid, España: Editorial MAXTOR. Pág. 65-68, 2003.
- [8] M. Simón Rojo, D. Parra, N. Morán Alonso, R. Córdoba Hernández, E. D. Labra López, A. Godín ... y R. Sota, “Suelos agrarios abandonados en el Área Metropolitana de Madrid y estrategias de recuperación”, 2021.
- [9] H. Renting, M. Schermer, and A. Rossi. “Building food democracy: Exploring civic food networks and newly emerging forms of food citizenship.” The International Journal of Sociology of Agriculture and Food 19 (3):289-307, 2012.
- [10] M. Dubbeling, G. Santini, H. Renting, M. Taguchi, L. Lançon, J. Zuluaga, L. De Paoli, A. Rodriguez, and V. Andino. “Assessing and planning sustainable city region food systems: Insights from two Latin American cities.” Sustainability 9 (8):1455, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9081455>.
- [11] A. Baysse-Lainé, and C. Perrin, “Les espaces agricoles des circuits de proximité: une lecture critique de la relocalisation de l’approvisionnement alimentaire de Millau.” Natures Sciences Sociétés 25 (1):21-35, 2017. <https://doi.org/10.1051/nss/2017017>.
- [12] S. Cesaro, “La experiencia de los bio-distritos: el ejemplo del Bio-Distretto Cilento y las oportunidades para los territorios de la Comunidad Valenciana”, 2018.





- [13] V. Caballer Mellado, “Valoración Agraria, Teoría y Práctica”: México: Ediciones Mundiprensa. Pág.15-78, 2008.
- [14] V. Caballer Mellado, “Valoración Agraria y Rural, Teoría y Práctica”: México: Ediciones Mundiprensa. Pág. 105-166, 2019.
- [15] Enciclopedia de la Ciencia Australiana. “Institutions of Surveyors”, 2018. recuperado de: <http://www.eoas.info/biogs/A000227b.htm>
- [16] AIC. Appraisal Institute of Canada. “Tasadores de Canadá”, 2019. Recuperado de: <https://www.aicanada.ca/fr/evenements-aic/seminaires-et-evenements/>
- [17] ASFMRA. American Society of Farm Managers and Rural Appraisers. Sociedad Americana de Administradores Agrícolas y Tasadores Rurales, 2019. Recuperado de: <https://www.asfmra.org/about-us/about-us-page>
- [18] C. A. Restrepo Ramirez, “Determinación de las variables explicativas a utilizar para la aplicación de un modelo multicriterio en la valoración de predios rurales destinados a la producción de banano de exportación en los municipios de zona bananera, aracataca y pueblo viejo, departamento del Magdalena”, 2020.
- [19] M. G. Ariza, y O. V. González, “Agricultura de conservación y sus impactos”. Experiencias de la asociación española agricultura de conservación suelos vivos con algunas metodologías de evaluación mediante indicadores, s/f.
- [20] V. Carracedo, J. C. García-Codron, C. Garmendia, y V. Rivas, “Conservación, Gestión y Restauración de la Biodiversidad”, s/f.
- [21] G. A. H. Dzib, “Evaluación de impacto socioeconómico y ecológico del Programa Nacional Forestal (PRONAFOR) en su componente III (Modalidad BI, sobre conservación y restauración) en los ejidos Eugenio Echeverría Castellet I y La Guadalupe, en el municipio de Calakmul, Campeche” (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Campeche). 2018.
- [22] E. Ceccon, “Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales”. Ediciones Díaz de Santos, 2014.
- [23] G. Graciano-Ávila, E. Alanís-Rodríguez, O.A. Aguirre-Calderón, E. A. Rubio-Camacho, y M. A. González-Tagle, “Estructura y diversidad postincendio en un área del matorral espinoso tamaulipeco”. Polibotánica, (45), 89-100, 2018.
- [24] INDAABIN. “Procedimiento técnico PT-TR para la elaboración de trabajos valuatorios que permitan dictaminar el valor comercial y/o el valor de realización ordenada de terrenos rurales de uso agropecuario”. Procedimientos de carácter técnico en Materia Valuatoria, Publicado en el Diario Oficial de la Federación, el lunes 12 de enero de 2009.
- [25] PROCEDIMIENTO Técnico PT-TGF para la elaboración de trabajos valuatorios que permitan dictaminar el valor de terrenos urbanos, en transición o rurales de gran fondo, por el método de franjas, s/f.

Derechos de Autor (c) 2022 Marisela Moreno Medina, Francisco José Martín del Campo Saray



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/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 delicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)



# Viabilidad del uso de vidrio recuperado en la producción de cerámica. Una propuesta orientada por la ecoeficiencia, la economía circular y la sustentabilidad

## Feasibility of the use of recovered glass in ceramic production. A proposal oriented by eco-efficiency, circular economy and sustainability

Jaime Miguel Hernández González<sup>1</sup> , José Leandro Mendoza Cuenca<sup>1</sup> , Octavio Francisco González Castillo<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04960, Ciudad de México, México

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Avenida Ferrocarril San Rafael Atlixco No. 186, Colonia Leyes de Reforma 1A Sección, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, Ciudad de México A.P. 55-535

**Autor de correspondencia:** Jaime Miguel Hernández González, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04960, Ciudad de México, México. E-mail: [jaimehglz@gmail.com](mailto:jaimehglz@gmail.com). ORCID: 0000-0002-7248-1988.

**Recibido:** 17 de septiembre del 2021

**Aceptado:** 25 de marzo del 2022

**Publicado:** 01 de abril del 2022

**Resumen.-** En esta investigación se realizaron pruebas para corroborar la viabilidad de integrar vidrio considerado un residuo, en el proceso de fabricación de cerámica, y así disminuir tanto el uso de materias primas vírgenes, como el consumo de energéticos. Se recuperó y procesó vidrio de botellas de un solo uso para integrarlo en la formulación de compuestos cerámicos. Se utilizó el enfoque de la ecoeficiencia para comparar los resultados obtenidos, y así configurar procedimientos que se integraron a la propuesta planteada. Debido a que cada comunidad alfarera dispone de una materia prima con características propias, que le son dadas de acuerdo al entorno particular en el que se desarrollan, fueron seleccionadas dos arcillas, cuyas muestras se ubicaron en los extremos de las características de un material óptimo para confeccionar piezas cerámicas: a) una arcilla con alto grado de plasticidad y b) una tierra rojiza con alto contenido de hierro. Las pruebas de plasticidad, encogimiento, porosidad y resistencia a la deformación se realizaron con un compuesto cerámico que contenía tierra, arcilla y vidrio molido en diferentes proporciones, para comparar sus propiedades después de un proceso de cocción. Los resultados muestran la factibilidad de reutilizar residuos de vidrio al incorporar éstos en el proceso de fabricación de cerámica, logrando obtener piezas de características adecuadas, al tiempo que: a) se disminuye, hasta en 20%, el consumo de arcillas y b) se promueve una mayor eficiencia energética del proceso de cocción: a la misma temperatura, las muestras a las que se ha agregado el vidrio registraron una disminución en el punto de sinterización, lo que representa un ahorro en el consumo de energía.

**Palabras clave:** Vidrio; Cerámica; Ecoeficiencia; Economía circular; Sustentabilidad.

**Abstract. -** In this research, tests were carried out to corroborate the feasibility of integrating glass, considered a waste, in the ceramic manufacturing process, and thus reduce both the use of virgin raw materials and energy consumption. Glass from single-use bottles were recovered and processed to integrate it into the formulation of ceramic compounds. The eco-efficiency approach was used to compare the results obtained, and thus configure procedures that were integrated into the proposed proposal. Due to the fact that each pottery community has a raw material with its own characteristics, which are given according to the particular environment in which they are developed, two clays were selected, whose samples were located at the extremes of the characteristics of an optimal material for making ceramic pieces: a) a lump of clay with a high degree of plasticity and b) a reddish soil with high iron content. Plasticity, shrinkage, porosity, and resistance to deformation tests were carried out with a ceramic compound containing soil, clay, and ground glass in different proportions, to compare their properties after a firing process. The results show the feasibility of reusing glass waste by incorporating them into the ceramic manufacturing process, achieving pieces with adequate characteristics, while: a) reducing, up to 20%, the consumption of clays and b) promoting the greater energy efficiency of the firing process: at the same temperature, samples to which the glass has been added registered a decrease in the sintering point, which represents a saving in energy consumption.

**Keywords:** Glass; Ceramics; Eco-efficiency; circular economy; Sustainability.

## 1. Introducción

Al estar inmersos en una economía mercantilizada, la sociedad involucra a sus integrantes en el papel de consumidores, basados en un excedente de mercancías y una corta vigencia de ofertas [1]. Esta dinámica de consumir y desechar, en el que los productos que cumplieron con su utilidad son eliminados, ocasiona que el volumen de residuos se incremente año con año [2].

Los sistemas productivos consumen materias primas y recursos energéticos, tanto renovables como no renovables. En México, ambos recursos se extraen de la naturaleza, en algunos casos de forma indiscriminada, para alimentar las subsecuentes etapas de transformación, almacenaje y traslado de materiales para la fabricación de bienes y servicios, sustentando así el desarrollo económico y social del País [3, 4].

La “Economía Circular” es el discurso utilizado por aquellos sectores productivos que han iniciado su transformación con base en los principios de la ecoeficiencia [5,6] y del ecodiseño [7]. En un sentido de dejar de lado una “Economía Lineal<sup>1</sup>”, criticada por las diferentes corrientes del pensamiento y la práctica hacia la sustentabilidad [9].

Thomas Malthus en su trabajo “Ensayo sobre el principio de la población” [10], advirtió sobre los riesgos implícitos en un escenario en el que la población humana mantuviera una dinámica de crecimiento geométrico, al tiempo que los medios de subsistencia lo hicieran sólo de manera aritmética. Desde entonces, a la par del inexorable crecimiento de la población mundial, así como de su problemática socio-ambiental, el

pensamiento y práctica económica ha debatido en torno a ¿cómo impulsar el “desarrollo” al tiempo que se evita el “deterioro” socio-ambiental?

Así, la economía circular se propone para cerrar los ciclos de materia y energía desde la concepción de los sistemas productivo, para lo cual se deben integrar los siguientes objetivos: reducir desechos, incrementar la eficiencia en el uso de recursos, cerrar los ciclos económicos de la producción y maximizar la retención de valor económico de los materiales y productos [11]. Pero no sólo en el proceso sino desde etapas tempranas, ya que el ochenta por ciento del impacto ambiental al confeccionar un producto o servicio se determina en la etapa de diseño [12].

Es así, como el tema de la Economía Circular lo encontramos hoy en día en artículos que presentan casos desde niveles locales [13, 14], urbanos [15, 16], regionales [17, 18, 19, 20], hasta globales [21], encontrándose presente en publicaciones provenientes de Asia [22], África [23], América [24], Europa [25, 26, 27, 28], y Oceanía, [29]. De igual manera, el tema se encuentra presente en prácticamente todos los sectores productivos de la economía, sólo por citar algunos ejemplos: en las ramas extractivas [30] del sector primario de la economía; en la rama alimentaria [31], del empaque [32] manufacturera [33], textil [34], de la moda [35], de la electrónica y de los electrodomésticos [36], del vidrio [29], del papel [29], de las llantas y el plástico [36, 37] en el sector secundario de la economía y en las ramas de la construcción [38], de la industria turística [39, 40] y de los servicios públicos [14, 22] en el sector terciario de la economía.

En el mismo sentido, el ecodiseño abarca un panorama que incluye requisitos ambientales en el proceso de fabricación y desarrollo de productos. Comprende una variedad de herramientas para mejorar los procesos, una de

---

<sup>1</sup> De acuerdo con Murray, *et al.* [8], se utiliza el término “Economía Lineal” como una crítica a aquellos modelos de desarrollo económico en el que los recursos naturales son convertidos en residuos, con la intermediación de la producción y el consumo.

ellas, la ecoeficiencia está encaminada a un mejor aprovechamiento de recursos para mitigar los impactos ambientales, pero sin descuidar cualidades técnicas, formales o funcionales de los productos [41].

Se debe tener presente que, si el consumo de los recursos sobrepasa su capacidad de renovación, o de sustitución, habrá un desequilibrio tanto de materiales como de recursos energéticos [42]. Por ello se requiere disminuir el uso, particularmente de los recursos naturales no renovables, por medio de la reducción, reutilización y el reciclaje<sup>2</sup> de materiales procesados que sirvieron o que ya cumplieron su propósito, pero que se les puede aprovechar para un fin diferente para el que fueron concebidos [43].

Por lo tanto, la reutilización de residuos es una buena fuente de materia prima, ya que a lo largo de la historia el ser humano ha producido desechos, pero es ahora en esta sociedad de consumo, donde el volumen de los desperdicios se ha incrementado considerablemente [44]. Al reciclar un residuo se transforma en un recurso útil nuevamente, ya que este vuelva a circular y se reintegra en el mercado con un valor económico, con beneficios tanto económicos como ambientales [45].

La mayoría de los residuos considerados desperdicios, si son tratados adecuadamente a partir de su composición química [46], pueden reintegrarse a un ciclo productivo y convertirse en recursos, que podemos utilizar total o parcialmente para disminuir el agotamiento de materias primas vírgenes [47]. En un flujo de materiales de tipo técnico, que son revalorizados sin necesidad de llegar a los rellenos sanitarios [7].

---

<sup>2</sup> Potting *et al.* [36] identifican diez R-estrategias que representan una visión más amplia y que son: recuperar, reciclar, reutilizar, remanufacturar, restaurar, reparar, re-usar, reducir, repensar y rechazar

Los envases de vidrio de un solo uso, representan casi un 20% de la industria del envase en México [48]. Dichos envases una vez que son desechados van a parar a rellenos sanitarios, son recolectados y llevados a centros de acopio o son recuperados por medio de programas como los mercados de trueque en la Ciudad de México, en los que se logra recuperar hasta 37 toneladas de vidrio [44].

El vidrio es un material que se puede reciclar y que mantiene sus propiedades iniciales, empresas como Vitro, S.A. de C.V., lo reintegra a su sistema de producción por contar con la infraestructura para este propósito [49], pero a nivel local se puede aprovechar si se integra a la producción de piezas cerámicas, debido a la compatibilidad de ambos materiales [50].

La industria de cerámicos en el 2019 tuvo una proyección de valor de mercado de alrededor de 24 mil millones de pesos [51] y una parte está conformado por talleres familiares de artesanos. Actualmente se promueve el uso de la cerámica por medio de campañas como la de Lauren Moreira, alfarera que fundó el proyecto “Más arcilla, menos plásticos” [52], en el que se anima a las personas a elegir la cerámica en lugar de materiales plásticos, al resaltar las ventajas que conlleva el uso de la cerámica y el respeto al ambiente.

La producción de cerámica requiere el uso de recursos energéticos como: leña, gas o electricidad, utilizados a lo largo de su cadena productiva [53]. En nuestro país, las comunidades alfareras disponen de yacimientos de arcillas que están a su alcance y realizan la extracción por excavación, ya sea por lavado o en seco [54]. También existen empresas que se dedican a la comercialización de materiales estandarizados y éstas utilizan la minería a cielo abierto con cargas explosivas que impactan en el ambiente [55]. No obstante, si se integran procesos que contemplen el uso de materiales procesados y el menor uso de combustible para hacer más eficiente el proceso de producción de

cerámica, se disminuirá la explotación de materias primas vírgenes y se obtendrá un producto con un mayor valor en el mercado.

Al integrar el aprovechamiento del vidrio post-consumo en el proceso de producción de piezas cerámicas y utilizar una estrategia medioambiental que nos ayude a observar y medir la eficiencia que representa el uso de vidrio recuperado, puede facilitar el que los alfareros se decidan a rediseñar sus procesos productivos para contribuir con acciones encaminadas a la ecoeficiencia, a la circularidad de la economía y finalmente a la sustentabilidad socioambiental.

Con el uso de la ecoeficiencia se puede establecer una ruta para empezar a utilizar de manera local la compatibilidad entre materias primas vírgenes y materiales recuperados, al integrar cualidades técnicas, debido a que la transferencia de tecnología al sector artesanal conlleva diferentes perspectivas que engloban la ética, las tradiciones y creencias, o incluso los riesgos de insostenibilidad de las propuestas [56].

Estando de acuerdo con Thackara [12] convendrá tener presente en todo momento que se trabaja con un sistema complejo, sujeto a múltiples dinámicas y una conectividad considerable, por lo que convendrá mantener un seguimiento constante a las intervenciones que se propongan, implementen y adecuen, ya que modificaciones aparentemente pequeñas o puntuales podrían derivar en transformación inesperadas y significativas a nivel del sistema en su conjunto.

## **2. Antecedentes**

El vidrio recuperado se puede aprovechar en diferentes proporciones y tamaños de partícula, de acuerdo a la utilidad del material. En el caso de materiales de construcción en el que se utiliza un aglutinante se puede aprovechar como

agregado grueso [57, 58, 59, 60, 61, 62], para la fabricación de concreto, o para la fabricación de cubiertas con resina [63]. También se puede sustituir parcialmente la arena [64, 65, 66, 67], o incluso el cemento [68, 69, 70, 71], al prepararse como agregado fino [72, 73, 74, 75, 76]. En la mayoría de este tipo de investigaciones se propone una sustitución de agregados, en proporciones óptimas que oscilan entre un 5% y un 30% [77], pero algunas destacan por sustituir el agregado fino por vidrio recuperado en una proporción del 90% [78] e incluso el 100% [79, 62].

Se ha probado la reutilización de vidrio como material para carreteras [80], para la fabricación de azulejos, tejas [81] y ladrillos [82] en sistemas de filtración de agua y de limpieza con chorro de arena [77].

En las investigaciones en que se aborda la reutilización de vidrio para la fabricación de azulejos y ladrillos, no sólo se manipulan las cantidades y los tamaños de partícula en los compuestos [83], sino que también se realiza un comparativo de cocciones a diferentes temperaturas [84, 85].

Los resultados obtenidos por el equipo dirigido por el Dr. Silvio Delvasto mostraron que al sustituir vidrio de ventana por feldespato, se presenta una disminución del poro abierto y un ahorro energético, al comparar dos pruebas, con una cocción de 1100°C y 1450°C, cada una, con un tamaño de partícula menor a 69 µm y dos porcentajes de vidrio agregado [86].

Otras investigaciones se enfocan en el uso de vidrio de manejo delicado, como el de televisores [87, 88], en el que se requiere equipo y una capacitación específica para su procesamiento, porque representa un riesgo en su manejo tanto para el ambiente como para el personal que lo manipula.

Los trabajos en los que se utiliza vidrio recuperado para elaborar esmaltes cerámico se procesa a un tamaño de partícula inferior a 110 µm, incluso llegando a 45µm, lo cual requiere equipo especializado de laboratorio, que podría no estar al alcance de las comunidades alfareras [89, 90].

Con el análisis de artículos científicos se establecieron los aspectos necesarios para realizar las pruebas de laboratorio en los que se

que se utiliza principalmente en la decoración de jardines, en un segundo nivel se transforma y caracteriza con la finalidad de tener un material estandarizado con características homogéneas. Ya en un tercer nivel se ubican las empresas que integran el vidrio recuperado en su proceso de producción para transformarlo en nuevos productos en el cuerpo cerámico. Un esquema de los procesos para reutilizar el vidrio recuperado se esquematiza en la figura 1.

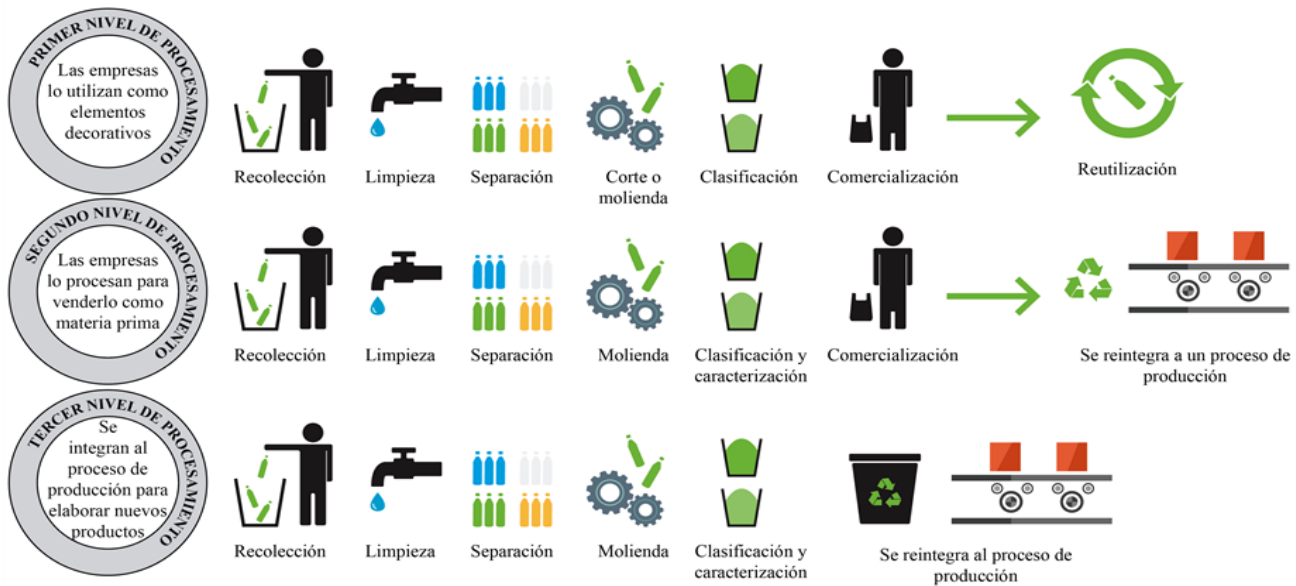


Figura 1. Niveles de procesamiento

utilizó vidrio recuperado para sustituir material virgen, de acuerdo a la tendencia cada vez mayor de las empresa de trabajar con sustituciones parciales de materiales para disminuir impactos ambientales y mejorar las características del producto con una reducción del consumo energético en el proceso [91], adoptando un modelo circular y regenerativo, que imita los procesos y ciclos de la naturaleza [92].

En un análisis de las acciones que han adoptado las empresas para reutilizar el vidrio, se observó que se presentan diferentes niveles de procesamiento; en un primer nivel sólo se separa, limpia y se muele, para obtener material

### 3. Materiales y métodos

Se utilizó la metodología proyectual de Gui Bonsiepe, que comprenden las etapas de: estructuración del problema, diseño y realización [93].

La etapa de estructuración del problema se estableció para comparar una serie de muestras con diferentes porcentajes de vidrio, y establecer las diferencias de acuerdo a cada una de las características que los materiales debe tener para elaborar las muestras de acuerdo a la literatura consultada. La etapa de diseño se estableció para estructurar las pruebas y los formatos de registro que se utilizaron de acuerdo a la

literatura consultada. La etapa de realización se planteó para solicitar los espacios necesarios para realizar las pruebas y efectuar el registro de datos para su posterior comparación y análisis figura 2.

Se utilizó el método de diseños centrales compuestos porque se pudo establecer un rango de incrementos, y a partir de estos incrementos establecer un centro con propiedades óptimas, que sirva para elaborar la propuesta del proceso que reutiliza vidrio recuperado; es decir, establecer varios porcentajes de vidrio agregado,

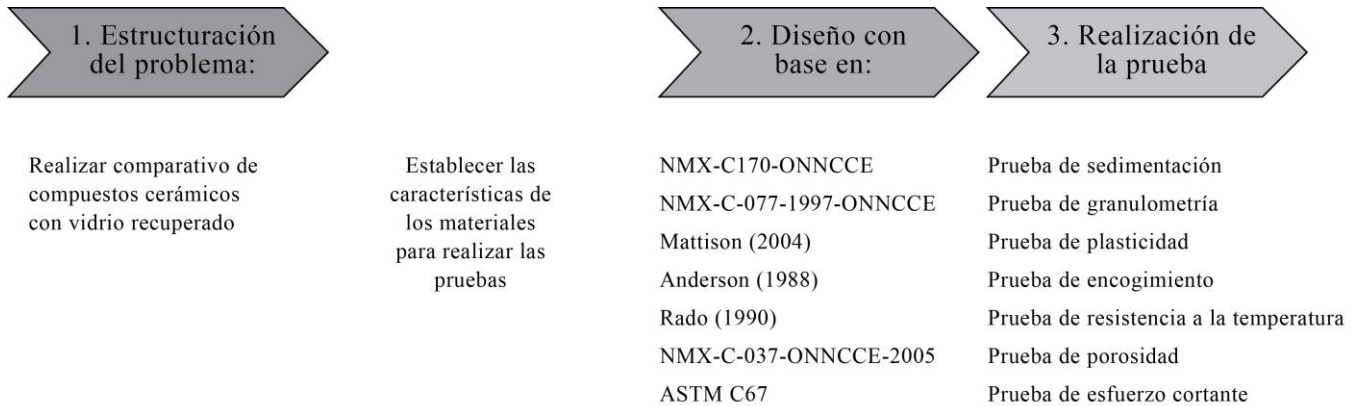


Figura 2. Etapas para realizar las pruebas

Para establecer las características de los materiales se realizaron visitas a centros de acopio y visitas a casas de materiales. También se analizó el método de recuperación de los residuos sólidos en la Ciudad de México (CDMX) para establecer la forma en que se obtendría el vidrio.

Con la revisión de los métodos de recolección y acopio, se estableció que se utilizaría el vidrio de las botellas y frascos para procesarlo y conformar un compuesto cerámico.

Para obtener un compuesto cerámico que presentara elevada plasticidad se utilizó una arcilla comercial nacional y como material estructurante se seleccionó una tierra que se comercializa como agregado fino para la construcción.

en los que se observará si las propiedades aumentan o disminuyen, y poder determinar el punto en el que las características son apropiadas para trabajar el compuesto cerámico [94].

Una vez establecido el material con el que se iba a trabajar se utilizó de referencia el trabajo de Lucero Silva titulado “Reutilización de Residuos de Vidrio como Adición Mineral de Cementantes Hidráulicos” [95]. Las etapas que estableció para su trabajo fueron: 1) recolección y preparación de residuos, 2) procesamiento de los residuos de vidrio, 3) tamizado y selección, 4) diseño y elaboración de morteros y 5) pruebas de resistencia mecánica, por lo que se adecuó la metodología utilizada y se describieron las sub-etapas necesarias para elaborar y realizar pruebas en probetas elaboradas con diferentes compuestos cerámicos tabla 1.

Tabla 1. Descripción de las etapas para elaborar las probetas, someterlas a pruebas y registrar los datos

ETAPA		SUB-ETAPAS		ETAPA		SUB-ETAPAS	
1	Recolección y organización de materiales	1.1	Recolectar botellas en la calle	4	Elaboración de probetas	4.1	Preparar molde
		1.2	Recolectar tierra de ladrillera			4.2	Llenar molde
		1.3	Comprar arcilla			4.3	Marcar molde
2	Procesamiento y preparación de los materiales	2.1	Limpiar y retirar etiquetas de botellas			4.4	Desmolde de probeta
		2.2	Moler, tamizar y clasificar por tamaño de partícula el vidrio			4.5	Medir y marcar
		2.3	Tamizar y clasificar por tamaño de partícula de la tierra			4.6	Dejar secar y volver a medir
3	Preparación de las muestras	3.1	Etiquetar contenedores para compuesto	5	Cocción de probetas	5.1	Estiba de probetas
		3.2	Pesar porcentajes de materiales			5.2	Preparación del horno
		3.3	Mezclar en el mortero el compuesto			5.3	Monitoreo de cocción
		3.4	Hidratar y amasar los compuestos			5.4	Descarga del horno
						5.5	Medición después de cocción
6	Prueba de probetas			6	Prueba de probetas	6.1	Prueba de plasticidad
						6.2	Prueba de encogimiento
						6.3	Prueba de resistencia a la temperatura
						6.4	Prueba de porosidad
						6.5	Prueba de esfuerzo cortante



Para realizar las pruebas de laboratorio se elaboraron probetas con un compuesto cerámico que contenía diferentes porcentajes de vidrio, tierra y arcilla. La variable que se modificó fue la cantidad de vidrio, para realizar un comparativo de las características de acuerdo con la cantidad agregada, con un tamaño de partícula que corresponde a uno que se pueda trabajar tanto en el laboratorio como en un proceso artesanal. Debido a que en el proceso de molido y tamizado se requiere tiempo y energía, se utilizó para este trabajo de investigación el procesamiento manual con equipo básico de

laboratorio. Pero para trasladarlo a una escala mayor se debe considerar el equipo necesario.

La primera prueba que se realizó fue la de sedimentación de la tierra rojiza, la cual nos proporcionó información de la cantidad de arcilla y arena, correspondiendo el 30% de arcilla, el 55% de arena y el resto material orgánico. Por lo que nos indica que es un material que tiene muy baja plasticidad y para trabajar con este material se debe agregar arcilla. Pero no se descarta su uso debido a que es una tierra con alto contenido en hierro y es una muestra que representa un espectro amplio



de la tierra que se puede utilizar para fabricar piezas cerámicas.

Se determinó a partir de esta prueba, que se utilizaría la tierra como estructurante, pero se agregaría una arcilla comercial que le otorgaría plasticidad al compuesto. Dicho compuesto sería una muestra homogénea que sería representativa con relación a los resultados de las pruebas a las que se les agregó vidrio molido.

Se realizó una prueba de granulometría para determinar el porcentaje útil de material con un tamaño de grano menor a 0.15 mm, este tamaño se estableció debido al equipo disponible y dado que a mayor procesamiento se requiere de mayor tiempo de trabajo y del uso de una mayor cantidad de recursos energéticos. Por lo que para el vidrio recuperado también se manejó el mismo tamaño de partícula.

La prueba se realizó de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-C170-ONNCCE-1997 [96], en el que se establecen los métodos para la reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo hasta obtener el tamaño apropiado para la prueba. La Norma Mexicana NMX-C-077-1997-ONNCCE [97] señala el método para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños a través de las cribas.

Se conformó el compuesto con una composición de 50% de tierra y 50% de arcilla para la prueba testigo, y a partir de esta muestra se elaboraron compuestos en los que se agregó vidrio molido en porcentajes de 5%, sin sobrepasar el 50% de su peso. Se realiza la distribución y la asignación de nombre para cada una de las muestras tabla 2.

**Tabla 2.** Distribución de porcentajes para cada material con el que se elaboró cada una de las muestras.

Variable	Porcentaje de vidrio	Porcentaje de tierra	Porcentaje de arcilla
<b>M0</b>	0.00%	50.00%	50.00%
<b>M1</b>	5.00%	47.50%	47.50%
<b>M2</b>	10.00%	45.00%	45.00%
<b>M3</b>	15.00%	42.50%	42.50%
<b>M4</b>	20.00%	40.00%	40.00%
<b>M5</b>	25.00%	37.50%	37.50%
<b>M6</b>	30.00%	35.00%	35.00%
<b>M7</b>	35.00%	32.50%	32.50%
<b>M8</b>	40.00%	30.00%	30.00%
<b>M9</b>	45.00%	27.50%	27.50%
<b>M10</b>	50.00%	25.00%	25.00%

El número de probetas que se fabricaron para realizar las diferentes pruebas fueron de 8 piezas para cada muestra, debido a que se realizaron dos cocciones con diferente temperatura, y pruebas para registrar características mecánicas tabla 3.

**Tabla 3.** Número de probetas consideradas para cada prueba

Prueba	Cocción a 855°C	Cocción a 1140°C
<b>Plasticidad y encogimiento</b>	Todas las probetas (4 muestras de cada compuesto cerámico desde M0 hasta M10)	Todas las probetas (4 muestras de cada compuesto cerámico desde M0 hasta M10)
<b>Resistencia a temperatura</b>	Al menos una probeta de cada muestra	Al menos una probeta de cada muestra
<b>Porosidad</b>	Todas las probetas (4 muestras de cada compuesto cerámico desde M0 hasta M10)	Todas las probetas (4 muestras de cada compuesto cerámico desde M0 hasta M10)
<b>Esfuerzo cortante</b>	Al menos tres probetas de cada muestra	Al menos tres probetas de cada muestra

Para la preparación de las muestras se realizó la mezcla e hidratación de materiales con los porcentajes establecidos para cada muestra. Una vez conformadas las muestras, se inició con la prueba de plasticidad para establecer parámetros con relación al aumento de vidrio en el

compuesto cerámico y registrar las variaciones de cada muestra.

Para realizar las pruebas de encogimiento, resistencia a la temperatura, porosidad y esfuerzo cortante se elaboraron probetas por compresión, proceso de fabricación aplicando presión en un molde que corresponde a la forma de fabricación de piezas utilitarias en las comunidades alfareras. Una vez fabricadas las probetas se marcaron y dejaron secar para su posterior cocción en horno eléctrico y las subsecuentes pruebas de laboratorio.

Una semana después de la elaboración de las probetas, se registró una primera medición en la que se tomó nota del primer encogimiento. Debido a que el encogimiento se presenta en diferentes etapas, primero se midió antes de la preparación para la cocción, para después realizar una segunda posterior a la primera cocción, así como contemplar una tercera si se requiriese una segunda cocción [98].

Para este trabajo de investigación se realizó experimentación con dos temperaturas de cocción, ambas ubicadas en los rangos de temperaturas comerciales, para la terracota y para la loza de barro. La terracota se trabaja con una cocción ubicada entre 850°C y 1000°C. La loza de barro entre 1000°C y 1200°C. Por lo que, para las pruebas se decidió trabajar con temperaturas ubicadas en estos rangos. La primera cocción se realizó a una temperatura de 855°C y la segunda a una temperatura de 1140°C.

Una vez finalizado el proceso de cocción, se realizó una segunda medición, tanto de las probetas con una cocción a 855°C como de las que se cocinaron a 1140°C. Se registró tanto el encogimiento como la resistencia de cada compuesto a la temperatura. Dicho registro se pudo obtener porque se colocaron las probetas sobre dos postes y al llegar al punto de fase líquida el material se deforma, presentando una

curva que se mide con respecto a la horizontal, por lo que el dato obtenido nos proporciona una referencia de la cantidad de vidrio adecuada para tener una resistencia óptima en la fabricación de piezas cerámicas y si a mayor cantidad de vidrio en el compuesto cerámico se puede disminuir la temperatura para fabricar cerámica.

La prueba de porosidad se realiza para establecer la cantidad de agua que absorben las muestras con relación a la cantidad de vidrio agregado y si hay un aumento o disminución en el peso, que represente una mejora que se pueda aplicar para la fabricación de piezas cerámicas.

Para establecer el porcentaje de absorción de agua se requiere pesar y registrar el peso de las probetas en seco antes de la prueba. Para su posterior comparación, en el que el primer peso registrado se contrasta con el segundo registro, que es el peso resultante al dejar hervir las probetas por una hora. El segundo registro debe ser inmediato al retiro de agua hirviendo, considerando que no tengan agua en la superficie, sólo la que absorbieron durante la prueba.

Una vez registrados los datos se procede a calcular el porcentaje para elaborar una gráfica y tener una mejor interpretación de los resultados. La fórmula para determinar el porcentaje de absorción [99] es el siguiente:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

$P_i$  = Peso inicial  
 $P_f$  = Peso final

Por último, con la prueba de esfuerzo cortante se pudo establecer un comparativo de la resistencia al agregar vidrio al compuesto cerámico.

#### 4. Análisis de resultados

##### 4.1. Plasticidad

Esta prueba es muy importante para verificar si una arcilla es susceptible de ser modelada. La clasificación se estableció al amasar el compuesto cerámico y elaborar una tira cilíndrica, para flexionarla y ubicarla de acuerdo a la intensidad de las grietas que presentó y que se ejemplifica en la figura 3.

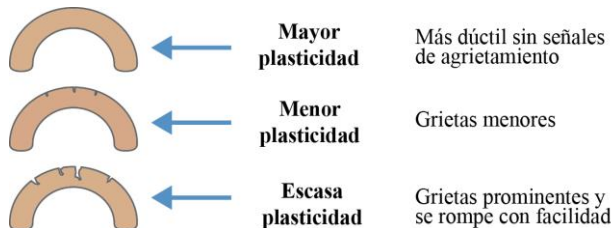


Figura 3. Criterio para establecer escala de plasticidad [98]

Con este procedimiento se puede apreciar la propiedad que permite que un material cambie su forma, sin rotura, al aplicar una fuerza externa, y que puede retener dicha forma cuando la fuerza es eliminada o reducida en cierto valor, por lo que se considera que una arcilla es más plástica que otra cuando soporta deformaciones mayores sin que aparezcan grietas [100].

En esta prueba se establecieron cinco rangos, en los cuales los compuestos con 5%,10% y 15% de vidrio molido presentan una excelente plasticidad, lo que favorece el amasado y evita la formación de grietas durante la conformación de cilindros. Los compuestos con 20% de vidrio presentan una buena plasticidad, sin embargo comienza a registrarse cierta pérdida de humedad. Los que contienen 25% y 30% de vidrio presentan una menor plasticidad, por lo que durante el amasado y la elaboración de cilindros se presentan pequeñas grietas. Los compuestos con porcentajes de 35% y 40% de vidrio muestran una pobre plasticidad con una presencia mayor de grietas y mayor pérdida de humedad, y por último, los compuestos con 45% y 50% de vidrio presentan una nula plasticidad, ya que se registró una mayor

pérdida de humedad y una prácticamente nula plasticidad, lo que derivó en un mayor grado de agrietamiento figura 4.

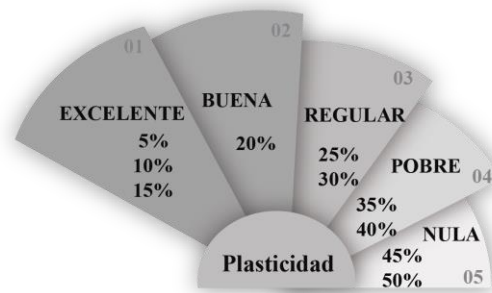


Figura 4. Plasticidad observada de acuerdo al porcentaje de vidrio en cada compuesto cerámico.

La mayoría de las investigaciones ubican proporciones de vidrio reutilizado, hasta en un 30% de su peso, para mejorar sus propiedades [101]. Pero al estar enfocados en ladrillos cocidos, no se considera la plasticidad debido a que su conformación es por compresión, a diferencia del modelado manual de las piezas cerámicas utilitarias u ornamentales, a las cuales después de su conformación se deben dejar secar para continuar con su proceso de fabricación.

##### 4.2. Encogimiento

Los datos obtenidos en la prueba de encogimiento corresponden a una relación de las características comunes de todos los minerales arcillosos de estructura laminar, los cuales tienen la capacidad de absorber agua en la superficie y entre las placas. Porque cuando a las arcillas se les agrega agua son maleables, y al perder humedad sufren una contracción o encogimiento [102], figura 5.

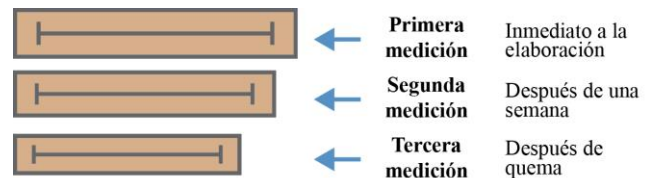


Figura 5. Encogimiento de probetas al secado, para esta prueba se realizó medición después de una semana de secado al ambiente y después de una sola cocción.

Con los datos obtenidos en la medición de las probetas se elaboró una gráfica en la que se aprecia que a mayor cantidad de vidrio el encogimiento es menor figura 6.

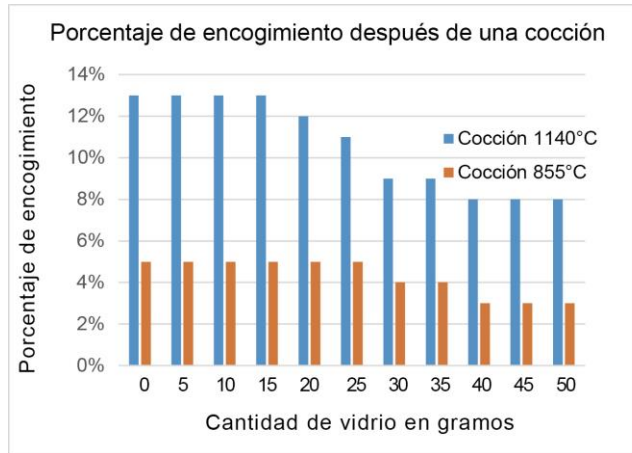


Figura 6. Relación de encogimiento de acuerdo a la temperatura de cocción de cada grupo de probetas

El resultado de esta prueba concuerda con los resultados de las investigaciones, en las que se ha encontrado que el encogimiento aumenta en relación a la cantidad de vidrio agregado y a la temperatura de cocción [77].

Aunque en muchas investigaciones se realizan las pruebas con un tamaño de partícula menor a 75µm [103], para este trabajo se utiliza un malla #100, que corresponde a un tamaño de 150µm, que es el que se consideró para ser escalado al trabajo de campo en el que los alfareros puedan hacer uso de vidrio recuperado y transformarlo para su incorporación al cuerpo cerámico.

#### 4.3. Resistencia a la deformación durante el proceso de cocción

Los datos obtenidos de las probetas, tanto las que fueron sometidas a una temperatura de 855°C como a 1140°C, demuestran que a mayor cantidad de vidrio se promueve una fase líquida. La literatura indica que algunas arcillas se derriten cuando se cuecen a temperaturas elevadas, especialmente las que contienen alto contenido de óxido de hierro, el cual actúa como fundente [98], y en este caso el vidrio trabaja en

conjunto con el óxido de hierro para promover un mayor nivel de fundición. El comportamiento de las probetas cocidas a diferentes temperaturas se ejemplifica en la figura 7.

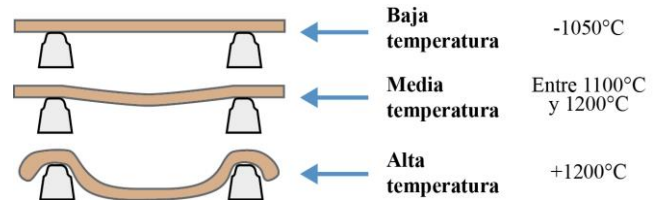
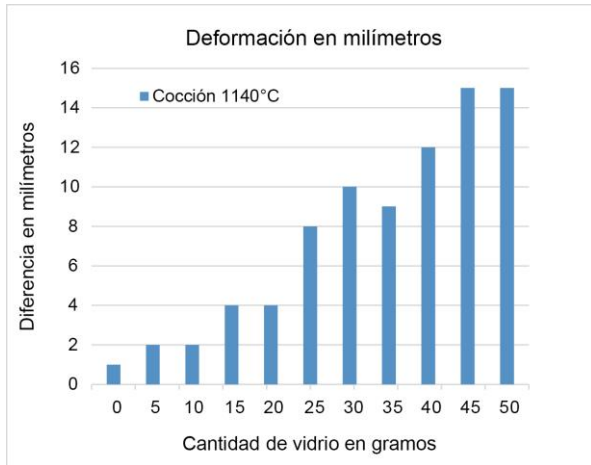


Figura 7. Comportamiento de compuestos a cocciones de diferentes temperaturas.

En la figura 8 sólo se presentan los datos de la cocción de 1140°C, porque a una temperatura de 855°C no se presentó una fase líquida como lo menciona Paul Rado al indicar que los cambios químicos que presentan las arcillas al cocinarse aproximadamente a 500°C es la formación de meta-caolín, cerca de los 925°C presenta fase tipo espinela, entre 1050°C y 1100°C pasa a fase mullita y a partir de los 1200°C la fase de la mullita evoluciona con parámetros de red firmes [104].

Debido a que el compuesto cerámico contiene arcilla roja con alto contenido de hierro, tiende a presentar una fase líquida a una mayor temperatura de cocción, y si a esto se le suma el porcentaje de vidrio tendremos un compuesto que presentará una menor resistencia a la temperatura. Lo que provocará que las piezas cerámicas no conserven sus formas, presentando deformaciones no consideradas en su modelado inicial. En las investigaciones consultadas no se aborda esta prueba debido a que la temperatura de cocción de los ladrillos se ubica debajo de los 1000°C [85] y la forma de producción de las losetas evita su deformación, pero las piezas utilitarias presentan conformaciones que si poseen baja resistencia a la temperatura, pueden llegar a ocasionar deformaciones no contempladas.



**Figura 8.** Deformación de las probetas en mm en probetas con una cocción de 1140°C

#### 4.4. Porosidad

Se obtuvieron datos representativos que se pudieron cruzar, porque los objetos cerámicos con menor porosidad tienen ventaja y son fabricados a una temperatura mayor a 1200°C, por lo que, si obtenemos datos que demuestren que se pueden obtener piezas menos porosas a una temperatura menor, se puede obtener una eficiencia de recursos. Además de que la absorción de agua agrega peso a los objetos cerámicos, y dicha absorción puede afectar un adecuado funcionamiento.

En la tabla 4 se registró la absorción de agua en las probetas que se sometieron a una cocción de 1140°C, los datos fueron más significativos en las probetas con mayor cantidad de vidrio, en las cuales se observa un incremento en el peso, aún en un primer registro en seco.

**Tabla 4.** Relación de porcentaje de absorción e incremento de peso para muestras con cocción de 1140°C.

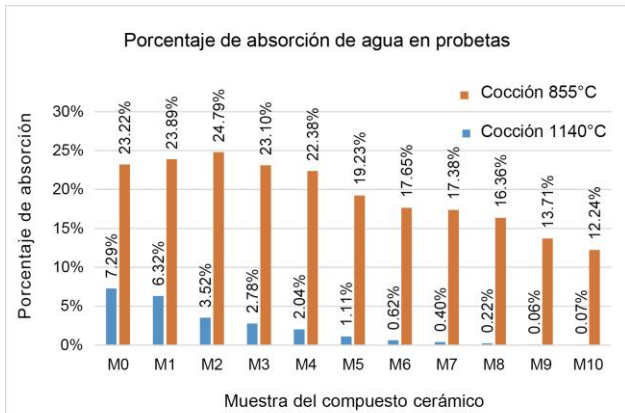
Variable	Peso antes de prueba	Peso después de inmersión	Porcentaje de absorción
M0	16.05 g	17.22 g	7.29%
M1	16.21 g	17.23 g	6.32%
M2	16.90 g	17.50 g	3.52%
M3	17.29 g	17.77 g	2.78%
M4	17.31 g	17.66 g	2.04%
M5	17.83 g	18.03 g	1.11%
M6	17.62 g	17.73 g	0.62%
M7	20.20 g	20.28 g	0.40%
M8	18.31 g	18.35 g	0.22%
M9	19.85 g	19.86 g	0.06%
M10	22.09 g	22.10 g	0.07%

Los datos recopilados de las probetas con una cocción de 855°C demuestran que a mayor cantidad de vidrio también se obtiene una reducción en el porcentaje de absorción tabla 5.

**Tabla 5.** Relación de porcentaje de absorción e incremento de peso para muestras con cocción de 855°C.

Variable	Peso antes de prueba	Peso después de inmersión	Porcentaje de absorción
M0	14.11 g	17.39 g	23.22%
M1	14.95 g	18.52 g	23.89%
M2	14.22 g	17.74 g	24.79%
M3	15.22 g	18.73 g	23.10%
M4	14.42g	17.65 g	22.38%
M5	14.90 g	17.76 g	19.23%
M6	16.22 g	19.08 g	17.65%
M7	14.62 g	17.16 g	17.38%
M8	16.26 g	18.92 g	16.36%
M9	18.61 g	21.16 g	13.71%
M10	18.39 g	20.64 g	12.24%

La figura 9 muestra que el porcentaje de absorción disminuye cuando la cantidad de vidrio aumenta, para los casos de cocciones de 855°C y 1140°C.

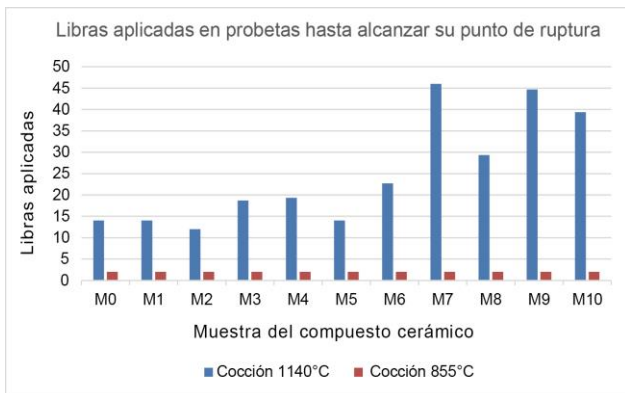


**Figura 9.** Disminución del porcentaje de absorción de agua en prueba de porosidad para ambas cocciones.

Con los datos obtenidos podemos observar que a mayor cantidad de vidrio la porosidad disminuye, pero el peso aumenta, y este no es proporcional, por lo que se tiene un objeto más pesado que puede no compensar la absorción de agua, de acuerdo a la aplicación del objeto cerámico.

#### 4.5. Dureza

En la prueba de dureza se registraron sólo los datos de las probetas elaboradas a una temperatura de 1140°C, debido a que el equipo de laboratorio no contaba con el rango necesario para realizar la prueba a las probetas elaboradas a 855 °C figura 10.



**Figura 10.** Libras soportadas para cada muestra

Los datos registrados de la prueba en las probetas elaboradas a una temperatura de

1140°C demuestran que a mayor cantidad de vidrio la resistencia aumenta. Presentando una mayor resistencia con la muestra M7 que contiene un 35% de vidrio agregado, pero a partir de este porcentaje la resistencia empieza a disminuir debido a que la muestra se comporta como un vidriado, el cual tiene una mayor dureza pero una menor resistencia a la ruptura.

Una vez obtenido los datos se establece el rango de acción para el porcentaje de vidrio a utilizar en la propuesta del proceso, las posibles aplicaciones de diseño e investigaciones futuras.

De acuerdo con la prueba de plasticidad, esta se reduce a partir del 25% por lo que se decidió contemplar hasta un 20% de vidrio en la arcilla. La prueba de encogimiento demostró que hasta con un 25% la diferencia es de uno por ciento pero al agregar 30% la diferencia se incrementa en 2% por lo que ya no se consideró dentro de la proporción adecuada. Al igual que con la prueba de resistencia a la temperatura en el que el valor más amplio se observa en la prueba de 25% al duplicarse el valor obtenido en la prueba con 20% de vidrio. La porosidad disminuye a partir del 15% y conserva un rango aceptado para productos cerámicos y aunque la resistencia al esfuerzo cortante se presenta como una propiedad notable a partir del 35% se decidió que los valores en el 15% y el 20% son aceptables con relación a las otras pruebas.

### 5. Propuestas para el trabajo a futuro

El siguiente paso es la aplicación de la propuesta en una comunidad.

El proceso de caracterización de materiales dentro y fuera de las pruebas de laboratorio se debe considerar, ya que es importante que el trabajo se pueda replicar en lugares con una baja infraestructura tecnológica o con recursos limitados [105]. Por lo que el trabajo de sustitución de materiales en laboratorio con equipo especializado se debe adecuar para el

trabajo con comunidades alfareras [106]. Aunado al uso del equipo, la materia prima con la que trabaja cada comunidad posee características particulares [20], por lo que los criterios de selección de muestras deben tener un rango que abarque características homogéneas de plasticidad y estructura de un compuesto cerámico [107].

Llevar la alternativa tecnológica propuesta en este trabajo tanto a los talleres familiares como a las organizaciones que apoyan a los artesanos requerirá generar en paralelo nuevas actividades y esfuerzos comunitarios orientados al acopio, clasificación, limpieza, molido, tamizado, procesamiento y aprovechamiento del vidrio residual, a partir de una práctica consciente que los beneficia de forma económica, social y ambiental.

Posteriormente se puede extender el alcance de las redes de cooperación para compartir experiencias incorporando a productores, distribuidores y usuarios, para facilitar la logística de acopio, optimizar el procesamiento del vidrio recuperado a una mayor escala e incluso hacerlo extensivo a otras empresas.

Si bien, las propuestas de la ecoeficiencia y la ecología industrial, son un paso importante para reorientar al sector productivo hacia una economía circular, es necesario ir más allá, para promover la construcción de saberes, valores y prácticas orientadas hacia la sustentabilidad del socioecosistema en su conjunto.

## **6. Conclusiones**

En esta investigación se demostró la factibilidad de agregar vidrio recuperado, molido y tamizado —con un tamaño de partícula menor a 0.15 mm— en la preparación de un compuesto cerámico. Así mismo se determinó que al hacerlo en una proporción de entre 15% y 20% mejoran las propiedades del material y se puede

lograr una disminución en el uso de recursos energéticos durante el proceso de cocción.

Las principales mejoras observadas en las características del material fueron las siguientes:

### **6.1. Plasticidad**

La plasticidad es una característica poco estudiada en otras investigaciones debido a que abordan el análisis desde un enfoque de ciencia de materiales, aunque distante del enfoque de un productor de cerámica.

Esta propiedad se conserva en un estado óptimo al agregar hasta con un 20% de vidrio, a partir de este porcentaje la plasticidad empieza a disminuir, con lo que se establece que se puede aprovechar hasta un 20% de material recuperado.

### **6.2. Resistencia a la deformación**

En una pieza cerámica utilitaria, en la que la pared es de 5 mm aproximadamente se debe tener resistencia a la deformación en el proceso de cocción para que el producto no adopte formas inesperadas.

Los resultados de la investigación muestran que la resistencia a la deformación de las probetas en una temperatura de cocción de 1140°C es inversamente proporcional a la cantidad de vidrio agregado. A partir de una proporción del 45%, la deformación es notable y por arriba del 50%, el compuesto se comporta como un esmalte.

### **6.3. Porosidad**

La porosidad es una propiedad relevante para la industria cerámica debido a que los materiales con menor porosidad son más requeridos para espacios con alta humedad, ya sea para aplicación en pisos o para recubrimientos de fachadas e interiores.

Se constató que la porosidad es una propiedad sensible e inversamente proporcional al porcentaje de vidrio que se incorpora en el compuesto cerámico. Este resultado está en concordancia con los resultados reportados por otros autores, sin embargo, en este trabajo se destaca la relación existente entre el porcentaje de vidrio agregado, el peso de la probeta y la absorción de agua, encontrando que a mayor porcentaje de vidrio el peso de las muestras aumenta, pero disminuye la absorción de agua.

#### 6.4. Resistencia mecánica

La resistencia mecánica es una propiedad relevante en los productos cerámicos, ya que presentan mayor dureza y durabilidad, con un menor desgaste al uso.

Se constató que la resistencia mecánica es una propiedad que mejora de manera directamente proporcional al porcentaje de vidrio que se agrega al compuesto cerámico. Sin embargo, presenta un límite, ya que a partir de la muestra con 40% de vidrio se presenta una disminución de la resistencia, al presentar una composición cercana a un esmalte.

En síntesis, la investigación determinó la viabilidad de incorporar vidrio recuperado en la elaboración de material cerámico, teniendo entre otros efectos benéficos: menor porosidad, mayor dureza y menor punto de sinterización. Sin embargo, como un efecto colateral también se observa la modificación en algunas otras propiedades, por ejemplo: la plasticidad y el peso, cuyo impacto en el proceso de elaboración de cerámica debe ser considerado.

#### 6.5. Implicaciones prácticas de los resultados

La cerámica tiene un rango de aplicaciones muy variado, ya que entre otros se puede utilizar en objetos utilitarios, ornamentales, de construcción o eléctricos.

En el caso de la elaboración de tejas, si bien al agregar vidrio el material cerámico incrementa su peso, se tiene la ventaja de que éste permanecerá más constante debido a que la reducción de la porosidad del material disminuye la absorción de agua. De manera adicional resultaría atractivo explorar la posibilidad de que un diseño conformado por capas de diferentes compuestos cerámicos pudiera otorgarle al material una menor porosidad sin que se presentara un incremento en su peso.

La posibilidad de obtener un material con mayor dureza, favorece la elaboración de baldosas, con una mayor resistencia al uso.

Es necesario tener presente que todo incremento en alguna característica deseada del material, puede presentar algún efecto colateral que disminuya otra, lo que pudiera incluso llegar a afectar la viabilidad del diseño.

Así, el diseño de cada producto deberá adecuarse para cumplir con los requerimientos específicos de su uso, al tiempo que se beneficia con las características que le confiere la incorporación del vidrio recuperado.

#### 6.6. Beneficios en pro de la sustentabilidad

Los beneficios ambientales de incorporar vidrio residual en el proceso de elaboración de piezas cerámicas son: a) disminuir la extracción de materiales utilizados como materias primas, b) evitar que el vidrio residual llegue como un desecho a los rellenos sanitarios y c) disminuir el consumo energético debido a la presencia de vitrificación en el cuerpo cerámico a menores temperaturas de sinterización.

El beneficio económico de utilizar vidrio recuperado en la elaboración del compuesto cerámico obtenido, es la sustitución del 20% de arcilla por un material que no implica un costo monetario, ya que éste puede ser recolectado o



aportado por los integrantes de la propia comunidad.

Las acciones que generan nuevas prácticas encaminadas hacia la sustentabilidad requieren esfuerzos comunes, lo que contribuye a fortalecer actividades cooperativas y de ayuda comunitaria, lo que establece nuevos hábitos, que se pueden extender a otros recursos aprovechables.

## 7. Agradecimientos

Para la realización de este trabajo de investigación se solicitó el uso del taller de cerámica y el de vidrio al coordinador de la licenciatura en Diseño Industrial de la UAM Xochimilco, el Mtro. Miguel Ángel Vázquez Sierra. Así como las facilidades otorgadas por el Mtro. Juan Ricardo Alarcón Martínez por la asesoría para realizar pruebas en el Laboratorio de Investigación Tecnológica (LITEC) en la UAM Xochimilco. Se agradece a CONACYT las facilidades brindadas en el marco del apoyo al Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC).

## 8. Agradecimientos de autoría

Jaime Miguel Hernández González: Conceptualización; Ideas; Metodología; Validación; Análisis formal; Investigación; Recursos; Curación de datos; Escritura (borrador original, revisión y edición), Visualización; Administración de proyecto, Adquisición de fondos. José Leandro Mendoza Cuenca: Conceptualización; Ideas; Metodología; Validación; Investigación; Recursos; Escritura (revisión y edición); Supervisión; Administración de proyecto; Adquisición de fondos. Octavio Francisco González Castillo: Conceptualización; Ideas; Metodología; Validación; Investigación; Recursos; Escritura (revisión y edición); Supervisión; Administración de proyecto; Adquisición de fondos.

## Referencias

[1] Z. Bauman. *La cultura en el mundo de la modernidad líquida*. Distrito federal, México: Fondo de Cultura Económica, 2013, pp. 101.

[2] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). "Información sobre la generación, composición y gestión de los residuos sólidos que se originan en las actividades domésticas y comerciales de las localidades". Internet: <https://www.inegi.org.mx/temas/residuos/default.html#Tabulados> [Febr. 20, 2022].

[3] L. Bastida-Orrego, B. Ramírez, A. Cesín, J. Juárez, D. Martínez y H. Vaquera. (2019, En.). "Las comunidades de la Sierra Norte de Puebla, México, frente a los megaproyectos de minería", *Revista de El Colegio de San Luis, Nueva época*. [En línea]. Año IX (18), pp. 183-207. Disponible en: <https://doi.org/10.21696/rcs19182019899> [Sept. 10, 2021].

[4] Secretaría de Energía (SENER). "¿Qué hacemos?". Internet: [www.gob.mx/sener/que-hacemos](http://www.gob.mx/sener/que-hacemos) [Nov. 20, 2021].

[5] W.H. Putri and N.Y. Sari. (2019). "Eco-efficiency and eco-innovation: strategy to improve sustainable environmental performance" *IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science*. [On-line]. 245, pp. 1-6. Available: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/245/1/012049> [Ene. 17, 2022].

[6] G. Huppés and M. Ishikawa. (2005, Feb.) "Eco-Efficiency and Its XsTerminology". *Journal of Industrial Ecology*. [On-line]. 9(4), pp.43-46. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1162/108819805775247891> Oct. 24, 2021].

[7] F. Andreola, I. Lancellotti, P. Pozzi and L. Barbieri. (2021, Apr.) "Eco-Compatible Construction Materials Containing Ceramic Sludge and Packaging Glass Cullet". *Applied Sciences*, [On-line]. 11(8), 3545 pp. 1-17. Available: <https://doi.org/10.3390/app11083545> [Oct. 24, 2021].

[8] A. Murray, K. Skene and K. Haynes. (2017, Jul.). "The Circular Economy: An Interdisciplinary

Exploration of the Concept and Application in a Global Context”. *Journal of Business Ethics*. [On-line]. 140(3), pp. 369-380. Available: <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2> [Nov. 20, 2021].

[9] A.P.M. Velenturf and P. Purnell. (2021, Jul.). “Principles for a Sustainable Circular Economy. *Sustainable Production and Consumption*”. [On-line]. 27, pp. 1437-1457. Available: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018> [Nov. 20, 2021].

[10] T.R. Malthus. *Ensayo sobre el principio de la población*. Distrito federal, México: Fondo de Cultura Económica, 1986, pp. 619.

[11] P. Morsetto. (2020, Feb.). “Targets for a circular economy”. *Resour Conserv Recycl*. [On-line]. 153, pp. 1-12. Available: <https://doi.org/10.16/j.resconrec.2019.104553> [Nov. 20, 2021].

[12] J. Thackara. *Diseñando para un mundo complejo, Acciones para lograr la sustentabilidad*. Ciudad de México, México: Designio, 2013, pp. 180.

[13] A. Nogueira, W. Ashton, C. Teixeira, E. Lyon, and J. Pereira. (2020, Apr.). “Infrastructuring the Circular Economy”. *Energies*. [On-line]. 13(7), 1805, pp. 1-24. Available: <https://doi.org/10.3390/en13071805> [Nov. 22, 2021].

[14] K. Ampe, E. Paredis, L. Asveld, P. Osseweijer and T. Block. (2020, Oct.). “A transition in the Dutch wastewater system? The struggle between discourses and with lock-ins”. *J. Environ. Policy Plan*. [On-line]. 22(2), pp. 155-169. Available: <https://doi.org/10.1080/1523908X.2019.1680275> [Nov. 21, 2021].

[15] A. Petit-Boix and S. Leipold (2018, Sep.). “Circular economy in cities: Reviewing how environmental research aligns with local practices”. *Journal of Cleaner Production*. [On-line]. 195, pp. 1270-1281. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.281> [Nov. 22, 2021].

[16] E. Lakatos, L. Birgovan, O Ciomos, S. Clinci, R. Pacurariu, A. Szilagyi, O. Caba and G. Tarau. (2020, Oct. 01). *Analysis of the current situation regarding the circular economy in the center región of Romania*. [On-line]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4547811> [Nov. 20, 2021].

[17] S. Scarpellini, P. Portillo-Tarragona, A. Aranda-Usón and F. Llana-Macarulla (2019, Jan.). “Definition and measurement of the circular economy's regional impact”. *Journal of Environmental Planning and Management*. [On-line]. 62(13), pp. 2211-2237. Available: <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1537974> [Nov. 19, 2021].

[18] A. Avdiushchenko. (2018, Nov.). “Toward a Circular Economy Regional Monitoring Framework for European Regions: Conceptual Approach”. *Sustainability*. [On-line]. 10(12), pp. 1-26. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/12/4398#cite> [Nov. 21, 2021].

[19] S. Bourdin, D. Galliano and A. Gonçalves. (2021, Sep.). “Circularities in territories: opportunities & challenges”. *European Planning Studies*. [On-line]. pp. 1-9. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09654313.2021.1973174> [Nov. 24, 2021].

[20] C. Tapia, M. Bianchi, G. Pallaske and A. Bassi. (2021, Jan.). “Towards a territorial definition of a circular economy: exploring the role of territorial factors in closed-loop systems”. *European Planning Studies*. [On-line]. 29(8), pp. 1438-1457. Available: <https://doi.org/10.1080/09654313.2020.1867511> [Nov. 22, 2021].

[21] L. Anran, F. Rodríguez and S. Leipold. (2020, Nov.). “Explaining the political gridlock behind international Circular Economy: Chinese and European perspectives on the Waste Ban”. SocArXiv, [On-line]. pp. 1-24. Available: <https://osf.io/preprints/socarxiv/uyw5g/> [Nov. 28, 2021].

[22] B. Steuer. (2017, Oct.) Is China's regulatory system on urban household waste collection effective? An evidence-based analysis on the evolution of formal rules and contravening informal

practices, *Journal of Chinese Governance*. [On-line]. 2(4), pp. 411-436. Available: <https://doi.org/10.1080/23812346.2017.1379166> [Oct. 19, 2021].

[23] M.M. Andersen, E. Ogallo and L. Faria (2021, Feb.). "Green economic change in Africa - green and circular innovation trends, conditions and dynamics in Kenyan companies". *Innovation and Development*. [On-line]. pp. 1-24. Available: <https://doi.org/10.1080/2157930X.2021.1876586> [Nov. 24, 2021].

[24] C.L. García and S. Cayzer. (2019. Apr. 19). "Assessment of the circular economy transition readiness at a national level. The Colombia case" in *The Circular Economy and the Global South, Sustainable Lifestyles and Green Industrial Development*. (1st edition) [On-line]. Routledge: London, pp. 113-133. Available: <https://doi.org/10.4324/9780429434006-7>. [Nov. 21, 2021].

[25] J. Mykkänen and P. Repo. (2021, Sep.). "Consumer perspectives on arranging circular economy in Finland. *Sustain. Sci. Pr. Policy* [On-line]. 17, pp. 349-361. Available: <https://doi.org/10.1080/15487733.2021.1977500> [Nov. 18, 2021].

[26] S. Leipold and A. Petit-Boix. (2018, Nov.). "The circular economy and the bio-based sector - perspectives of European and German stakeholders". *Journal of Cleaner Production*. [On-line]. 201, pp. 1125-1137 Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618323503> [Oct. 09, 2021].

[27] L. Kelleher, M. Henchion and E. O'Neill. (2021, Apr.). "Framing the Circular Bioeconomy in Ireland's Broadsheet Media, 2004-2019", *Environmental Communication*. [On-line]. 15(5), pp. 678-698. Available: <https://doi.org/10.1080/17524032.2021.1889632> [Nov. 21, 2021].

[28] T.E. Sutcliffe and I.A. Ortega. (2021, Apr.). "Domesticating circular economy? An enquiry into Norwegian subnational authorities' process of implementing circularity". *Journal of Environmental Policy & Planning*. [On-line]. 23(6), pp. 752-765.

Available: <https://doi.org/10.1080/1523908X.2021.1910016> [Nov. 15, 2021].

[29] H. Schandl, S. King, A. Walton, A. Kaksonen, S. Tapsuwan y T. Baynes. (2021, Feb.). "National circular economy roadmap for plastics, glass, paper and tires". Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australia. [On-line]. pp. 1-112. Available: [https://www.researchgate.net/publication/349413852\\_National\\_circular\\_economy\\_roadmap\\_for\\_plastics\\_glass\\_paper\\_and\\_tyres](https://www.researchgate.net/publication/349413852_National_circular_economy_roadmap_for_plastics_glass_paper_and_tyres) [Sep. 5, 2021].

[30] H. Hasheminasab, S. Hashemkhani Zolfani, E. Kazimieras Zavadskas, E. Kharrazi and M. Skare (2021, Jun.). "A circular economy model for fossil fuel sustainable decisions based on MADM techniques". *Economic Research- Ekonomska Istraživanja*. [On-line]. pp. 1-19. Available: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2021.1926305> [Oct. 15, 2021].

[31] S. Leipold, K. Weldner and M. Hohl. (2021, Sep.). "Do We Need a 'Circular Society'? Competing Narratives of the Circular Economy in the French Food Sector". *Ecological Economics*. [On-line]. 187, pp. 1-8. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107086> [Nov. 15, 2021].

[32] M. Simoens and S. Leipold. (2020, May). "Trading Radical for Incremental Change: The Politics of a Circular Economy Transition in the German Packaging Sector". *Journal of Environmental Policy & Planning*. [On-line]. 23(6), pp. 822-835. Available: <https://doi.org/10.31235/osf.io/mvx5q> [Oct. 21, 2021].

[33] R. Pacurariu, E. Lakatos, L. Nan, L. Bacali and D. Seitoar. (2021, May.). "An analysis of European Union's circular economy indicators with focus on materials: implications for the manufacturing industry". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. [On-line]. Oradea, Romania. 1169, pp. 1-9. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1169/1/012011/pdf> [Ene. 20, 2022].

- [34] L. Valentine, J. Ballie, J. Bletcher, S. Robertson and F. Stevenson. (2017, Sep.). "Design Thinking for Textiles: let's make it meaningful". *The Design Journal*. [On-line]. 20(sup1), pp. S964-S976. Available: <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1353041> [Sep. 12, 2021].
- [35] M.C. Dan and T. Østergaard. (2021, Jul.). "Circular Fashion: The New Roles of Designers in Organizations Transitioning to a Circular Economy". *The Design Journal*. [On-line]. 24(6), pp. 1001-1021. Available: <https://doi.org/10.1080/14606925.2021.1936748> [Nov. 15, 2021].
- [36] J. Potting, M.P. Hekkert, E. Worrell and A. Hanemaaijer. (2017, Jan.). "Circular Economy: Measuring innovation in product chains". PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, [On-line]. 2544, pp. 1-46. Available: [https://www.researchgate.net/publication/319314335\\_Circular\\_Economy\\_Measuring\\_innovation\\_in\\_the\\_product\\_chain](https://www.researchgate.net/publication/319314335_Circular_Economy_Measuring_innovation_in_the_product_chain) [Oct. 09, 2021].
- [37] J.J. Klemeš, Jiri, Y.V. Fan and P. Jiang. (2020, Aug.). "Plastics: friends or foes? The circularity and plastic waste footprint". *Energy Sources*, [On-line]. 43(13), pp. 1549-1565. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15567036.2020.1801906> [Nov. 15, 2021].
- [38] J. Górecki, P. Núñez-Cacho, F. Corpas-Iglesias and V. Molina. (2019, Nov.). "How to convince players in construction market? Strategies for effective implementation of circular economy in construction sector". *Cogent Engineering*. [On-line]. 6(1), pp. 1-22. Available: <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1801906> [Nov. 15, 2021].
- [39] I. Acosta-Pérez, F. Marrero-Delgado and J. Espinosa-Martínez. (2020, Apr.). "La economía circular como contribución a la sostenibilidad en un destino turístico cubano de sol y playa". *Estudios y perspectivas en turismo*. [En línea]. 29(2), pp. 406-425. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/eyp/v29n2/1851-1732-eyp-29-02-00406.pdf> [Nov. 15, 2021].
- [40] S. Mudita and L. Fukey (2020, Dec.). "Circular Economy Assessing a Progress of Resources Efficient Practices in Hotel Industry" in *Circular Economy for the Management of Operations, chapter 5*. (1st edition) [On-line]. CRC Press, Boca Raton, pp.89-117. Available: <https://doi.org/10.1201/9781003002482-5> [Nov. 15, 2021].
- [41] B. García Parra. *Ecodiseño. Nueva herramienta para la sustentabilidad*. Distrito federal, México: Designio, 2008, pp. 82.
- [42] M. Alfie Cohen. *Democracia y desafío medioambiental en México. Riesgos retos y opciones en la nueva era de la globalización*. Estado de México, México: Pomares y UAM Azcapotzalco, 2005, pp. 242.
- [43] A. del Val y A. Jiménez. *El Libro del Reciclaje. Manual para la recuperación y aprovechamiento de las basuras*. Barcelona, España: Integral, [1991] 1997, pp. 240.
- [44] Secretaria del Medio Ambiente (SEDEMA). "Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, 2019 (IRSCDMX 2019)". Internet: [https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPA/InventarioDeResiduosSolidosDeLaCiudadDeMexico\\_2019.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPA/InventarioDeResiduosSolidosDeLaCiudadDeMexico_2019.pdf) [Mzo. 12, 2022].
- [45] A. Pascual. (2016, Dic.). "Stop basura: La verdad abreviada sobre reciclar" [En línea]. España, CONAMA, pp. 1-29. Disponible: <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2016/CT%202016/1998973493.pdf> [Sept. 15, 2021].
- [46] E. Hanning, H. Rohem Gualberto, K.M. Arguelles Simões, L.C. Bertolino, E. Poiate and M. Calixto Andrade. (2019, Oct.). "Glass-ceramic produced with recycled glass". *Matéria*. [On-line]. 24(4), pp. 1-13. Available: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/hSctpQ3zf9k6cFSW/MWvXxKR/?lang=en> [Nov. 15, 2021].
- [47] S. Martínez-Martínez, L. Pérez-Villarejo, D. Eliche-Quesada, P.J. Sánchez-Soto, A. Christogerou, D. Kanellopoulou and G.N. Angelopoulos. (2020, Jan.). "New waste-based clinkers for the preparation

of low-energy cements. A step forward toward circular economy", *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* [On-line]. 17(1), pp. 12-21. Available: <https://doi.org/10.1111/ijac.13390> [Nov. 2021].

[48] M. Ramírez, "Vidrio, sólido en México: la producción crecerá 3%". Milenio Diario, sección negocios. Internet: <https://www.milenio.com/negocios/vidrio-solido-mexico-produccion-crecera-3>, Oct, 18, 2015 [Mzo. 12, 2022].

[49] Vitro. "Nuestra Compañía, Nuestra Historia". Internet: <https://www.vitro.com/es/nuestra-compa%C3%B1a/historia/> 2020 [Mzo. 12, 2022].

[50] J.L. García-Jacomino, R. Quintana-Puchol, G. González y A. Monsalve. (2013, En.). "Síntesis del compuesto cerámico Sic-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> por vía SHS-AE usando vidrios sódico-cálcicos como fuente de silicio". *Revista Cubana de Química*. [En línea]. 25(1), pp. 20-25. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543730003> [Nov. 20, 2021].

[51] Global Industries "Industria cerámica y ladrillera en México supera los 30 mil mdp". Sección de negocios e industria. Internet <https://globalindustries.mx/industria-ceramica-y-ladrillera-en-mexico-supera-los-30-mil-mdp/> Abr. 08, 2019 [Marzo, 12 2022].

[52] Cerámica, Revista Cerámica de Argentina "Proyecto: más cerámica, menos plástico" Internet <http://revistaceramica.com.ar/proyecto-mas-ceramica-menos-plastico/> Jun. 2020 [Marzo, 12 2022].

[53] E. Galán y P. Aparicio. (2006). "Materias primas para la industria cerámica" en *Utilización de Rocas y Minerales Industriales*. (1ra edición), volumen 2, Compobell, S.L. - Murcia, España. [En línea]. pp. 31-48. Disponible en: [https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-17\\_01-38-52110129.pdf](https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-17_01-38-52110129.pdf) [Nov. 18, 2021].

[54] J.M. Oliveras y Alberú, (2004, En.). "La problemática en la salud y el medio ambiente vinculada con los procesos productivos de

cerámicas". *Revista Diseño y Sociedad*. [En línea]. 16, pp. 24-31. Disponible en: <https://publicaciones.xoc.uam.mx/MuestraPDF.php> [Sept. 09, 2021].

[55] L.M. Bastida Orrego, B. Ramírez Valverde, A. Cesín Vargas, J.P. Juárez Sánchez, D. Martínez Carrera y H. Vaquera Huerta. (2018, Jul.). "Conflictos socioambientales y minería a cielo abierto en la sierra norte de Puebla, México". *Revista Textual, análisis del medio rural*. [En línea]. 72, pp. 35-66. Disponible en: <https://doi.org/10.5154/r.textual.2017.72.003> [Sept. 09, 2021].

[56] Sk S. Hossain and P.K. Roy. (2020, Sep.). "Sustainable ceramics derived from solid wastes: a review". *Journal of Asian Ceramic Societies*. [On-line]. 8(4), pp. 984-1009. Available: <https://doi.org/10.1080/21870764.2020.1815348> [Nov. 20, 2021].

[57] M. Terro. (2006, May.). "Properties of concrete made with recycled crushed glass at elevated temperatures". *Building and Environment*. [On-line]. 41(5), pp. 633-9. Available: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.02.018> [Nov. 23, 2021].

[58] M. Batayneh, I. Marie and I, Asi, (2007, Nov.). "Use of selected waste materials in concrete mixes". *Waste Manage*. [On-line]. 27(12), pp. 1870-1876. Available: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.026> [Nov. 20, 2021].

[59] S.C. Kou and C. Poon. (2009, Feb.). "Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate". *Cem Concr Compos*. [On-line]. 31(2), pp. 107-113. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.12.002> [Nov. 20, 2021].

[60] S. de Castro and J. de Brito. (2013, Feb.). "Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregates" *Journal of Cleaner Production* [On-line]. 41(7), pp. 7-14. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.021> [Nov. 24, 2021].

- [61] N. Almesfer and J. Ingham. (2014, Nov.). "Effect of waste glass on the properties of concrete". *Journal of Materials in Civil Engineering*. [On-line]. 26(11), pp. 1-27. Available: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001077](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001077) [Nov. 7, 2021].
- [62] D. Serpa, J. de Brito and J. Pontes. (2015, Jan.). "Concrete made with recycled glass aggregates: mechanical performance". *Materials Journal*. [On-line]. 112(1), pp. 29-38. Available: <https://doi.org/10.14359/51687366> [Nov. 21, 2021].
- [63] Heriyanto, F. Pahlevani and V. Sahajwalla. (2018, Aug.). "From waste glass to building materials - An innovative sustainable solution for waste glass". *Journal of Cleaner Production*. [On-line]. 191(1), pp. 192-206. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.214> [Nov. 12, 2021].
- [64] A. Shayan. (2002, Sep.). "Value-added utilisation of waste glass in concrete". *IABSE Symposium: Towards a Better Built Environment - Innovation, Sustainability, Information Technology, Melbourne, Australia, 11-13 September 2002*. [On-line], pp. 1-11. Available: <https://doi.org/10.2749/222137802796337099> [Nov. 20, 2021].
- [65] L.A. Oliveira, J.P. Gomes and P. Santos. (2008, May.). "Mechanical and durability properties of concrete with ground waste glass sand". *11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components ISTANBUL, Turkey 11-14 May 2008*. [On-line], pp. 87-94. Available: [https://www.academia.edu/21502396/Mechanical\\_and\\_Durability\\_Properties\\_of\\_Concrete\\_with\\_Ground\\_Waste\\_Glass\\_Sand](https://www.academia.edu/21502396/Mechanical_and_Durability_Properties_of_Concrete_with_Ground_Waste_Glass_Sand) [Nov. 20, 2021].
- [66] M.C. Limbachiya. (2009, Feb.). "Bulk engineering and durability properties of washed glass sand concrete". *Construction and Building Materials*. [On-line]. 23(2), pp. 1078-1083. Available: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.05.022> [Nov. 20, 2021].
- [67] P. Penacho, J. de Brito, M.R. Veiga. (2014, Jul.). "Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate". *Cement and Concrete Composites*. [On-line]. 50, pp. 47-59. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.02.007> [Nov. 20, 2021].
- [68] R. Oliveira, J. de Brito, R. Veiga. (2015, May.). "Reduction of the cement content in rendering mortars with fine glass aggregates". *J Clean Prod*. [On-line]. 95, pp. 75-88. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.049> [Nov. 21, 2021].
- [69] A.A. Aliabdo, A.E.M. Abd Elmoaty and A.Y. Aboshama. (2016, Oct.). "Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete". *Construction and Building Materials*. [On-line]. 124, pp. 866-877. Available: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.016> [Nov. 21, 2021].
- [70] A. Anwar. (2016, Nov.). "The influence of waste glass powder as pozzolanic material in concrete". *Int J Civ Eng Tech (IJCIET)*. [On-line]. 7(6), pp. 131-148. Available: [https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal\\_uploads/IJCIET/VOLUME\\_7\\_ISSUE\\_6/IJCIET\\_07\\_06\\_015.pdf](https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJCIET/VOLUME_7_ISSUE_6/IJCIET_07_06_015.pdf) [Oct. 17, 2021].
- [71] G.M.S. Islam, M.H. Rahman and N. Kazi. (2017, Jun.). "Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice". *Int J Sustain Built Environ*. [On-line]. 6(1), pp. 37-44. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijjsbe.2016.10.005> [Nov. 21, 2021].
- [72] E.E. Ali and S.H. Al-Tersawy. (2012, Oct.). "Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self compacting concrete". *Constr Build Mater*. [On-line]. 35, pp. 785-791. Available: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.117> [Nov. 20, 2021].
- [73] N. Su, J.S. Chen. (2002, Jun.). "Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass". *Resour Conserv Recycl*. [On-line]. 35(4), pp. 259-274. Available: [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00007-1](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00007-1) [Nov. 21, 2021].
- [74] Y. Sharifi, M. Houshiar, B. Aghebati. (2013, Nov.). "Recycled glass replacement as fine

aggregate in self-compacting concrete”. *Front Struct Civ Eng.* [On-line]. 7(4), pp. 419-428. Available: <https://doi.org/10.1007/s11709-013-0224-8> [Nov. 21, 2021].

[75] M. Adaway and Y. Wang. (2015, Jan.). “Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete-Effects on compressive strength”. *Electron J Struct Eng.* [On-line]. 14(1), pp. 116-122. Available: <https://ejsei.com/EJSE/article/view/195/194> [Nov. 21, 2021].

[76] L. Columbié-Lamorú, R. Crespo-Castillo, L. Rodríguez-Suárez y Y. González-Batista. (2020, Apr.). "Evaluación del uso de vidrio reciclado en la producción de hormigones cubanos", *Minería y Geología.* [En línea]. 36(2), pp. 218-231. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/2235/223563028007/223563028007.pdf> [Nov. 11, 2021].

[77] D. Kazmi, D.J. Williams and M. Serati. (2020, Nov.). “Waste glass in civil engineering applications: a review”. *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* [On-line]. 17(2), pp. 529-554. Available: <https://doi.org/10.1111/ijac.13434> [Nov. 19, 2021].

[78] C. Polley, S.M. Cramer and R.V. de la Cruz. (1998, Nov.). “Potential for using waste glass in Portland cement concrete”. *J Mater Civ Eng.* [On-line]. 10(4), pp. 210-219. Available: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1998\)10:4\(210\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1998)10:4(210)) [Nov. 19, 2021].

[79] K.H. Tan and H. Du. (2013, Jan.). “Use of waste glass as sand in mortar: Part I-Fresh, mechanical and durability properties, *Cement and Concrete Composites,* [On-line]. 35(1), pp. 109-117. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.028> [Nov. 19, 2021].

[80] W. Ferdous, A. Manalo, R. Siddique, P. Mendis, Y. Zhuge, H.S. Wong, W. Lokuge, T. Aravinthan and P. Schubeli. (2021, Oct.). "Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction - A review on global waste generation, performance, application and future opportunities", *Resour Conserv Recycl.* [On-line]. 173(11), pp. 1-39. Available:

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105745> [Nov. 11, 2021].

[81] A.R. de Azevedo, M.T. Marvila, H. Rocha, L. Cruz, and C. Fontes. (2020, Jul.). “Use of glass polishing waste in the development of ecological ceramic roof tiles by the geopolymerization process”. *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* [On-line]. 17(6), pp. 2649-2658. Available: <https://doi.org/10.1111/ijac.13585> [Oct. 11, 2021].

[82] F.S. Cardona, L.A. Rengifo, J.F. Guarín Martínez, D.G. Mazo Castro, y O. Arbeláez Pérez. (2020, Jul.). “Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono”. *Lámpsakos.* [En línea]. 24, pp. 60-73. Disponible en: <https://doi.org/10.21501/21454086.3725> [Nov. 11, 2021].

[83] E. Tiffo, A. Elimbi, J.D. Manga and A.B. Tchamba. (2105, Aug.). “Red ceramics produced from mixtures of kaolinite clay and waste glass”. [On-line]. 2(4), pp. 1-13. Available: <https://doi.org/10.1186/s40552-015-0009-9> [Nov. 16, 2021].

[84] H.H. Abdeen and S.M. Shihada. (2017, Mar.). “Properties of Fired Clay Bricks Mixed with Waste Glass”. *Journal of Scientific Research and Reports,* [On-line]. 13(4), pp. 1-9. Available: <https://doi.org/10.9734/JSRR/2017/32174> [Nov. 21, 2021].

[85] A.A. Adediran, A.A. Akinwande, O.A. Balogun and O.S. Adesina, (2021, Aug.). “Study on the influence of particle sizes of waste glass on the properties of fired clay bricks”. *International Journal of Engineering.* [On-line]. 19(3), pp. 25-31. Available: <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2021/ANNALS-2021-3-03.pdf> [Nov. 2021].

[86] S. Delvasto Arjona, Á. Guzmán Aponte, J. A. Torres León, M. L. Cedeño Venté y D. Acosta Guarín. (2015, Apr.). "Viabilidad de uso del polvo de vidrio como fundente en la elaboración de baldosas de gres porcelánico". *Tecnura.* [En línea]. 19(44), pp. 59-70. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257036222005.pdf> [Nov. 17, 2021].

- [87] F. Andreola, L. Barbieri, A. Corradi, A.M. Ferrari, I. Lancellotti and P. Neri. (2007, Sep.). "Recycling of EOL CRT glass into ceramic glaze formulations and its environmental impact by LCA approach". *Int J Life Cycle Assess.* [On-line]. 12(6), pp. 448-454. Available: <https://doi.org/10.1065/lca2006.12.289> [Nov. 17, 2021].
- [88] M. Raimondo, C. Zanelli, F. Matteucci, G. Guarini, M. Dondi and J. Labrincha. (2007, May.). "Effect of waste glass (PC/TV screen and cathode tube) on technological properties and sintering behavior of porcelain stoneware tiles". *Ceram. Int.* [On-line]. 33(4), pp. 615-623. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2005.11.012> [Nov. 15, 2021].
- [89] R.J. Revelo, A.P. Menegazzo and E.B. Ferreira. (2018, Aug.). "Cathode-Ray Tube panel glass replaces frit in transparent glazes for ceramic tiles". *Ceram. Int.* [On-line]. 44(12), pp. 13790-13796 Available: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.04.222> [Nov. 16, 2021].
- [90] O. Karaahmet and B. Cicek. (2019, Aug.). "Waste recycling of cathode ray tube glass through industrial production of transparent ceramic frits". *J. Air Waste Manag. Assoc.* [On-line]. 69(10), pp. 1258-1266. Available: <https://doi.org/10.1080/10962247.2019.1654037> [Nov. 21, 2021].
- [91] V. Flores-Alés, V. Jiménez-Bayarri y A. Pérez-Fargallo. (2018, Nov.). "Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento". *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* [En línea]. 57(6), pp. 257-265. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.03.001> [Nov. 19, 2021].
- [92] C.H. Balboa C. y M. Domínguez. (2014, En.). "Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3". *Informador Técnico.* [En línea]. 78(1), pp. 82-90. Disponible en: <https://doi.org/10.23850/22565035.71> [Nov. 13, 2021].
- [93] L.C. Vilchis. *Metodología del Diseño, Fundamentos Teóricos.* Distrito federal, México: Claves Latinoamericanas, [1998] 2002, pp. 157.
- [94] H. Gutiérrez Pulido. *Análisis y diseño de experimentos.* Distrito federal, México: McGraw-Hill, 2008, pp. 489.
- [95] L.G. Silva Mancilla. "Reutilización de Residuos de Vidrio como Adición Mineral de Cementantes Hidráulicos". Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, México, 2017.
- [96] *Agregados-Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo requerido de las pruebas*, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C. NMX C170-ONNCCE-1997. Internet: [www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas35.pdf](http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas35.pdf) [Marzo, 2019].
- [97] *Agregados para concreto análisis granulométrico y métodos de prueba*, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C. NMX-C-077-1997-ONNCCE. Internet: [www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas40.pdf](http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas40.pdf) [Marzo, 2019].
- [98] S. Mattison. *Guía completa del ceramista, Herramienta, materiales y técnicas.* Barcelona, España: Blume, 2006, pp. 224.
- [99] M.A. González Lozano y P. Ponce Peña. (2012, Jul.). "Uso de vidrio de desecho en la fabricación de ladrillos de arcilla". *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias CIBA.* [En línea]. 1(2), pp. 43-56. Disponible en: <https://doi.org/10.23913/ciba.v1i2.17> [Nov. 13, 2021].
- [100] J.M. Fernández Navarro (1962 Sept.). "Plasticidad de las arcillas". *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* [En línea]. 1(7), pp. 449-473. Disponible en: <http://boletines.secv.es/upload/20120210113459.196201449.pdf> [Nov. 13, 2021].



[101] H. Du and K.H. Tan. (2017, Jan.). "Properties of high-volume glass powder concrete. *Cem. Concr. Compos.* [On-line]. 75, pp. 22-29. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.10.010> [Oct. 08, 2021].

[102] J.C. Anderson, K.D. Leaver, R.D. Rawlings y J.M Alexander. *Ciencia de los Materiales*. 2ª ed., Distrito federal, México: Limusa S.A. y Grupo Noriega, 1998, pp. 704.

[103] A. Siddika, A. Hajimohammadi, M.A. Al Mamun, R. Alyousef and W. Ferdous. (2021, Jun.). "Waste Glass in Cement and Geopolymer Concretes: A Review on Durability and Challenges". *Polymers*, [On-line]. 2021, 13(13), pp. 1-26. Available: <https://doi.org/10.3390/polym13132071> [Oct. 08, 2021].

[104] P. Rado. *Introducción a la tecnología de la cerámica*. Barcelona, España: Omega, 1988, pp. 344.

[105] N. Mahdjoub, M. Kalina, A. Augustine and E. Tilley. (2021, Feb.). "Innovating traditional building materials in Chembe, Malawi: assessing post-consumer waste glass and burnt clay bricks for performance and circularity", *International Journal of Sustainable Engineering*. [On-line]. 14(4), pp. 874-883. Available:

<https://doi.org/10.1080/19397038.2021.1889706> [Oct. 15, 2021].

[106] J. Delgado Trujillo, J.P. Martínez Chica, A. Guzmán Aponte, S. Delvasto Arjona, V. Amigó Borrás y E. Sánchez Vilches. (2015, En.). "Reemplazo del cuarzo por ceniza de tamo de arroz en la manufactura de gres porcelánico". *EIA*. [En línea]. 12(23), pp. 41-50. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n23/n23a04.pdf> [May. 21, 2021].

[107] J.D. Santos Amado, P.Y. Malagón Villafrades, y E.M. Córdoba. (2011, May.). "Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de barichara, Santander". *DYNA*. [En línea]. 78(167), pp. 50-58. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n167/a06v78n167.pdf> [May. 21, 2021].

Derechos de Autor (c) 2022 Jaime Miguel Hernández González, José Leandro Mendoza Cuenca, Octavio Francisco González Castillo



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/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 del licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)



# Fragilidad sísmica de un edificio de concreto reforzado usando medidas de intensidad sísmica vectorial basadas en la forma espectral

## *Seismic fragility of a reinforced concrete building using vector-valued seismic intensity measures based on spectral shape*

Noel Zavala Gutiérrez<sup>1</sup> , Edén Bojórquez Mora<sup>2</sup> , Manuel Antonio Barraza Guerrero<sup>1</sup> , Juan Bojórquez Mora<sup>2</sup>   
, Almendra Villela y Mendoza<sup>1</sup> , José Ignacio Torres Peñuelas<sup>2</sup> , José Rubén Campos Gaytán<sup>1</sup> , Ricardo Sánchez Vergara<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Culiacán, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México

**Autor de correspondencia:** Manuel Antonio Barraza Guerrero, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México. E-mail: [barraza.manuel@uabc.edu.mx](mailto:barraza.manuel@uabc.edu.mx). ORCID: 0000-0002-7951-9934.

**Recibido:** 24 de enero del 2021

**Aceptado:** 18 de abril del 2022

**Publicado:** 29 de abril del 2022

**Resumen.** - *Las medidas de intensidad sísmica vectorial han demostrado ser más eficientes en comparación con las medidas de intensidad sísmica tradicionales para predecir la respuesta de estructuras con comportamiento no lineal o aquellas dominadas por los modos superiores; sin embargo, pocos estudios han demostrado la habilidad de estas nuevas medidas para una estimación apropiada de la fragilidad sísmica de edificios. En el presente trabajo se analizaron ocho medidas de intensidad sísmica vectorial compuestas por dos parámetros. Para todos los casos se utilizó la pseudoaceleración en el modo fundamental de vibración de la estructura,  $Sa(T_1)$ , como primera componente del vector y la Aceleración Máxima del Suelo (AMS), Velocidad Máxima del Suelo (VMS), duración efectiva ( $T_D$ ), potencial del movimiento sísmico ( $I_D$ ) y los parámetros de forma espectral  $R_{T_1, T_2}$ ,  $Np_{S_a}$ ,  $Np_v$  y  $Np_{S_v}$ , como segunda componente del vector. Para evaluar la eficiencia de las medidas de intensidad sísmica vectorial en el análisis de fragilidad sísmica, un edificio de concreto reforzado de 10 niveles fue sometido a 30 registros sísmicos de banda angosta obtenidos en suelo blando de la Ciudad de México. Los resultados demostraron que la medida de intensidad sísmica vectorial que presenta una mejor relación con la probabilidad de falla es  $\langle Sa(T_1), Np_{S_a} \rangle$ , en comparación con las otras medidas, especialmente respecto a  $Sa(T_1)$  que es ampliamente usada en los códigos de construcción vigentes. Por lo tanto, es deseable que en los futuros reglamentos de construcción se consideren medidas de intensidad sísmica más apropiadas.*

**Palabras clave:** Medidas de intensidad sísmica; Forma espectral; Respuesta estructural; Superficies de fragilidad; Desempeño sísmico; Fragilidad sísmica.

**Abstract.** – *Vector-valued ground motion intensity measures have shown to be more efficient compared to traditional intensity measures for predicting the response of structures with non-linear behavior or those dominated by higher modes; however, few studies have demonstrated the capability of these new parameters to estimate the seismic fragility of buildings with good accuracy. In the present work, eight vector-valued seismic intensity measures composed of two parameters were analyzed. For all the cases, the pseudo-acceleration at the fundamental mode of vibration of the structure,  $Sa(T_1)$ , was used as the first component of the vector, and the peak ground acceleration, peak ground velocity, effective duration, seismic potential, and the spectral shape parameters  $R_{T_1, T_2}$ ,  $Np_{S_a}$ ,  $Np_v$ , and  $Np_{S_v}$ , as the second component of the vector. In order to evaluate the efficiency of the selected intensity measures in the seismic fragility analysis, a 10-level reinforced concrete building was subjected to 30 narrow-band seismic records obtained in the soft soil of México City. The results have shown that the vector-valued seismic intensity measures that present a better relationship with the probability of failure are  $\langle Sa(T_1), Np_{S_a} \rangle$  compared to the other parameters; especially regarding  $Sa(T_1)$  which is widely used in current building codes. Therefore, it is desirable that future building regulations should consider more appropriate ground motion intensity measures.*

**Keywords:** Intensity measures; Spectral shape; Structural response; Fragility surfaces; Seismic performance; Seismic fragility.



## 1. Introducción

El fenómeno sísmico ha sido estudiado a lo largo de la historia. En particular, se ha buscado un parámetro que describa el potencial destructivo de un movimiento sísmico, dicho parámetro se conoce como medida de intensidad sísmica (MIS), el cual es importante para la estimación del peligro sísmico, respuesta estructural, fragilidad sísmica entre otro tipo de estudios.

Debido a la importancia de las MIS, en la década de los 70's surgió la necesidad de crear medidas de intensidad sísmica con la habilidad de predecir con mayor aproximación la respuesta estructural de edificaciones basadas en modelos numéricos o cuantitativos [1, 2].

En fechas recientes, se ha optado por profundizar más en el comportamiento dinámico de estructuras no lineales dada su alta complejidad de análisis y carga computacional. Algunos códigos de construcción permiten la opción de ignorar esta interacción o de reducir las fuerzas consideradas que llegan a la base, pero ha quedado documentado que esto lleva a subestimación de las demandas estructurales llegando a resultados poco razonables. Sin embargo, las MIS tradicionales son ineficientes cuando se analizan estructuras con comportamiento no lineal, por lo que existe una carencia para evaluar estas estructuras con medidas más sofisticadas [3].

Por esta razón, diversos autores [4-8] han planteado la alternativa de seleccionar MIS que disminuyan los inconvenientes de tratar con estructuras complejas al momento de evaluar su respuesta estructural ante los efectos sísmicos. Por esto, la última década se ha enfocado a evaluar el desempeño sísmico de medidas de intensidad sísmica vectoriales (MISV) con fines de encontrar la medida que mejor describa la respuesta estructural [9-17], concluyendo que las

MISV basadas en la forma espectral tienen un mejor comportamiento.

Ahora el inconveniente se encuentra en evaluar la fragilidad sísmica utilizando estas MIS más sofisticadas debido a que pocos estudios han evaluado las MISV basadas en la forma espectral, y ninguno lo ha aplicado en edificios de concreto reforzado para obtener superficies de fragilidad, es por ello la importancia y justificación de este trabajo.

Por lo tanto, en el presente artículo se analiza el desempeño sísmico de ocho MISV, utilizando  $Sa(T_1)$  como primer parámetro del vector y AMS, VMS,  $T_D$ ,  $I_D$ ,  $R_{T_1, T_2}$ ,  $N_{p_{Sa}}$ ,  $N_{p_v}$  y  $N_{p_{Sv}}$  como segundo parámetro, para evaluar la fragilidad sísmica en función de la probabilidad de falla.

Para lograr los objetivos del presente estudio, se realizó un análisis dinámico incremental utilizando  $Sa(T_1)$  y considerando la Distorsión Máxima de Entrepiso (DME) como parámetro de demanda sísmica. Después, se aplicó una regresión logística multinomial para estimar cuál medida de intensidad presenta una mejor relación asociada a la fragilidad sísmica de un edificio de concreto reforzado de 10 niveles de altura sometido a 30 registros sísmicos de banda agosta.

## 2. Antecedentes

Las MIS se pueden catalogar como escalares (e.g. AMS, VMS, DMS), o vectoriales si relacionan dos o más variables y su influencia se puede apreciar en un plano tridimensional [18].

Algunos investigadores han orientado el campo de conocimiento hacia encontrar una MIS que represente de manera confiable la respuesta estructural de edificios ante demandas sísmicas [4, 5, 19], por lo que se estableció un índice de



MIS basadas tanto en respuestas máximas (e.g. AMS, VMS, DMS) como en respuestas estructurales (energía de entrada, energía histerética, deformación, entre otras), haciendo una correlación entre ellas [6]. Sin embargo, también se expresó la incertidumbre de utilizar  $\epsilon$  como estimador en la MIS [8] para obtener la respuesta estructural para el caso donde se tenían registros sísmicos de una fuente cercana y donde además la estructura analizada no fuera dominada por su primer modo de vibración (comportamiento inelástico). Con esto, se ha logrado incorporar un parámetro de forma espectral que permite una mayor aproximación en la respuesta estructural y reduce las limitaciones de las MIS en estructuras con comportamiento no lineal edificadas en lugares donde se presentan sismos de fuente cercana [5].

Además, dado que todos los estudios estaban limitados a estructuras regulares en dos dimensiones, se han realizado pruebas usando cinco MIS aplicadas a un edificio irregular de tres dimensiones con problemas de torsión debido al efecto de registros sísmicos bidireccionales superficiales. Se concluyó que  $S_a(T_1)$  muestra una débil correlación con la distorsión de entrepiso y de azotea debido a su inhabilidad de capturar los modos fundamentales a través de las ordenadas espectrales [9]. Posteriormente, se implementaron el uso de una MIS que considera el parámetro de aceleración espectral en el primer modo de la estructura y el parámetro  $N_p$  considerando sismos de fuente cercana y de banda angosta. Los resultados mostraron que esta nueva MISV se comportaba de manera apropiada en cuanto a eficiencia, suficiencia y robustez al escalamiento, con respecto a otras MISV que se han usado históricamente [7].

Debido a los resultados de las investigaciones en la primera década del siglo XXI respecto a MISV, y sobre todo de aquellas basadas en la forma espectral, surgieron un gran número de

estudios [10-12, 15, 16, 20-26] en los cuales revisaban el desempeño sísmico de diferentes MIS. De manera general se destaca que algunas medidas son más apropiadas que otras para ciertos casos puntuales, pero que, en general, las MISV basadas en la forma espectral representan la mejor opción en cuanto a predicción de la respuesta con la menor incertidumbre, sobre todo para aquellas estructuras que se desvinculan del rango elástico.

Posteriormente, dada la complejidad en los diferentes tipos de estructuras y que las propiedades de los movimientos del suelo con respecto a la amplitud, frecuencia y duración no pueden ser caracterizadas por una sola MIS [27], se creó una MISV compuesta de seis diferentes MIS escalares denominada IMPLS. El objetivo principal de su estudio no fue buscar la mejor MIS sino proponer un nuevo enfoque para desarrollar una MIS para predecir respuestas estructurales bajo los supuestos de los análisis de demanda sísmica probabilística para sistemas de un solo grado de libertad, con la premisa que no tiene por qué utilizarse una sola medida cuando se pueden abarcar un conjunto de estas para minimizar los problemas de dependencia estructural. Los resultados implican que IMPLS es lo suficientemente robusta para predecir la respuesta en edificios con comportamiento histerético y se considera con suficiente utilidad para los parámetros de demanda sísmica.

Por otro lado, las curvas de fragilidad, representadas en función de la probabilidad de falla ligada a una MIS, pueden ser obtenidas a partir de dos o más componentes en el vector de la MISV [28]. Existe un gran número de enfoques para elaborar curvas de fragilidad con distintas suposiciones y restricciones a considerar [29]. Se han abordado distintos enfoques como simulaciones con el método de Montecarlo para reducir las incertidumbres asociadas a las demandas sísmicas y



probabilidades de colapso [30], análisis en la nube basados en modelos de regresión lineal [31] y estimaciones de densidad de Kernel para calcular la probabilidad condicional de la respuesta estructural para un registro sísmico dado para obtener superficies de fragilidad que estén libres de suposiciones lognormales [32].

Las ventajas del primero es la reducción del sesgo inducido por el escalamiento de registros a niveles muy elevados con tal de llegar al nivel de intensidad predefinido. De hecho, investigaciones pasadas han demostrado que usar factores de escala superiores a 10 genera resultados sesgados. Por esto se debe tener cuidado cuando se evalúa la vulnerabilidad sísmica ante eventos principales o réplicas [33].

La fragilidad sísmica es estimada regularmente con base en MIS escalares representada mediante las curvas de fragilidad que describen la relación entre la respuesta estructural y el peligro sísmico [34-39]. Sin embargo, si actualmente se cuenta con MISV, se pueden formar, en lugar de curvas, superficies de fragilidad que estén ligadas a una respuesta estructural más apropiada. Por esto se evaluó la eficiencia de medidas de intensidad vectoriales aplicadas al análisis de colapso en edificios, proponiendo una nueva MIS que se adecúa mejor para este tipo de estudios,  $S_a(T_1)/DSI$  (intensidad del espectro de desplazamiento), la cual captura el daño de registros sísmicos con periodos largos [15].

Los resultados de este estudio probaron que las MIS basadas en  $S_a(T_1)$  como primera componente nos llevan a una mejor eficiencia, pero la suficiencia aún es un tema a considerar en trabajos futuros. Considerando esto, se decidió aplicar el mismo enfoque pero ahora para estructuras irregulares bidimensionales. Los

resultados confirmaron que la mejor MIS fue aquella basada en el vector  $S_a(T_1)/DSI$  para predecir la capacidad de colapso y por lo tanto fue la que mayor eficiencia produjo al momento de calcular las funciones de fragilidad [40].

Finalmente, se ha creado una nueva MISV, Intensidad de Bojórquez, la cual contiene los parámetros de forma espectral  $N_p$  y  $R_{T_1, T_2}$  que predice con mayor aproximación la respuesta no lineal de estructuras dado que provee mayor información que la aceleración espectral al generar un segundo punto en el espectro de respuesta en pseudo-aceleración [4], y además considera el efecto de los modos superiores de vibrar de la estructura [14].

### 3. Metodología

#### 3.1 Modelación del edificio de concreto reforzado (ECR)

El modelo a analizar consta de un ECR de 10 niveles con 3.5 metros de altura cada uno, 3 crujeas en dirección X y Y de 8 metros de longitud cada una. Sus parámetros principales son: periodo estructural de 1.37s, amortiguamiento correspondiente al 5% del amortiguamiento crítico, resistencia del concreto igual a  $300 \text{ kg/cm}^2$ , módulo de elasticidad de  $2.45 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  y una relación de Poisson de 0.20. Además, el edificio fue diseñado y dimensionado de manera que cumpla con el reglamento de construcción de la ciudad [41] para los estados límites de cargas gravitacionales, sismo y de servicio, considerando un uso para oficinas asentado sobre suelo de la zona III de la CDMX. En la **Figura 1** podemos apreciar su topología desde distintas vistas con las cotas correspondientes de eje a eje.

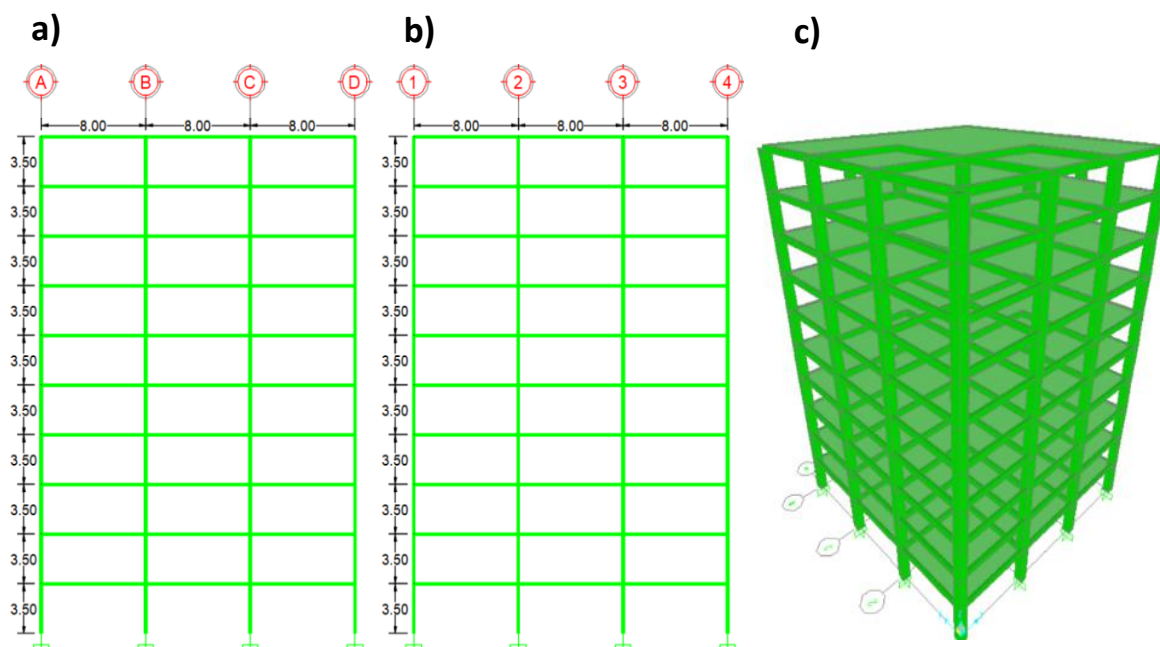


Figura 1. ECR modelado, vistas a) norte-sur, b) este-oeste y c) tridimensional. Acotaciones en metros.

### 3.2 Selección de registros sísmicos

Los registros fueron seleccionados de manera que fuesen representativos a los que afectan constantemente la CDMX y sus edificios; es decir, que la muestra de sismos caracterice apropiadamente el efecto de sitio que presenta el lugar de estudio para la obtención de las superficies de fragilidad.

Para ello se escogieron 6 sismos de banda angosta registrados en diferentes estaciones sísmicas (30 registros en total) ocurridos en la Costa Mexicana del Pacífico con una magnitud mínima de 6.8 y máxima de 8.1 en la escala de magnitud de momento ( $M_w$ ), dado que este tipo de sismos someten a la estructura a mayores demandas en comparación con los sismos superficiales o de banda ancha. En la

### 3.3 Medidas de intensidad sísmica seleccionadas

Como se mencionó, en el presente trabajo se analiza la eficiencia de 8 MISV, las cuales se muestran en la

**Tabla 2** junto con su formulación matemática. Cabe recalcar que en este estudio se utilizaron MISV y que los análisis son considerando el espectro de pseudo aceleración en el periodo fundamental de la estructura,  $S_a(T_1)$ , de ahora en adelante denominada solamente  $S_a$ , como primera componente del vector. Lo anterior significa que las MISV estarán conformadas como se muestra en

Tabla 3:



**Tabla 1** se muestran los eventos seleccionados y algunas de sus características principales.

Evento	Fecha	Estación	Longitud (°) **	Latitud (°) **	Magnitud (Mw)	AMS (cm/s <sup>2</sup> )	VMS (cm/s)	T <sub>b</sub> (s)	I <sub>b</sub> (*)
1	19/09/1985	SCT	-102.468	18.419	8.1	178	59.5	63.34	13.12
2	21/09/1985	Tláhuac Deportivo	-101.681	17.828	7.6	48.7	14.6	133.79	0.76
3	25/04/1989	Alameda	-99.275	16.795	6.8	45.0	15.6	115.78	17.09
4	25/04/1989	Garibaldi	-99.275	16.795	6.8	68.0	21.5	117.74	8.69
5	25/04/1989	SCT	-99.275	16.795	6.8	44.9	12.8	128.44	14.16
6	25/04/1989	Sector Popular	-99.275	16.795	6.8	45.1	15.3	117.44	28.26
7	25/04/1989	Tlatelolco TL08	-99.275	16.795	6.8	52.9	17.3	118.92	9.43
8	25/04/1989	Tlatelolco TL55	-99.275	16.795	6.8	49.5	17.3	132.31	7.33
9	14/09/1995	Alameda	-98.667	16.752	7.3	39.3	12.2	105.34	13.79
10	14/09/1995	Garibaldi	-98.667	16.752	7.3	39.1	10.6	89.62	24.12
11	14/09/1995	Liconsa	-98.667	16.752	7.3	30.1	9.62	92.27	14.12
12	14/09/1995	Plutarco E.C	-98.667	16.752	7.3	33.5	9.37	95.86	16.69
13	14/09/1995	Sector Popular	-98.667	16.752	7.3	34.3	12.5	122.10	36.36
14	14/09/1995	Tlatelolco TL08	-98.667	16.752	7.3	27.5	7.8	142.42	28.23
15	14/09/1995	Tlatelolco TL55	-98.667	16.752	7.3	27.2	7.4	124.70	56.91
16	09/10/1995	Cibeles	-104.245	18.993	8.0	14.4	4.6	125.32	35.87
17	09/10/1995	CU Juárez	-104.245	18.993	8.0	15.8	5.1	122.51	34.62
18	09/10/1995	C.U.P.J	-104.245	18.993	8.0	15.7	4.8	130.07	33.17
19	09/10/1995	Córdoba	-104.245	18.993	8.0	24.9	8.6	113.46	23.44
20	09/10/1995	Liverpool	-104.245	18.993	8.0	17.6	6.3	147.10	17.22
21	09/10/1995	Plutarco E.C	-104.245	18.993	8.0	19.2	7.9	98.99	33.66
22	09/10/1995	Sector Popular	-104.245	18.993	8.0	13.7	5.3	123.85	37.87
23	09/10/1995	Valle Gómez	-104.245	18.993	8.0	17.9	7.18	131.26	24.51
24	11/01/1997	CU Juárez	-102.580	18.340	7.1	16.2	5.9	117.74	21.44
25	11/01/1997	C.U.P.J	-102.580	18.340	7.1	16.3	5.5	109.49	23.31
26	11/01/1997	García Campillo	-102.580	18.340	7.1	18.7	6.9	104.55	9.32
27	11/01/1997	Plutarco E.C.	-102.580	18.340	7.1	22.2	8.6	112.26	14.26
28	11/01/1997	Estación 10 Roma A	-102.580	18.340	7.1	21.0	7.76	88.72	25.61
29	11/01/1997	Estación 11 Roma B	-102.580	18.340	7.1	20.4	7.1	96.54	27.05
30	11/01/1997	Tlatelolco TL08	-102.580	18.340	7.1	16.0	7.2	120.88	14.93

### 3.3 Medidas de intensidad sísmica seleccionadas

Como se mencionó, en el presente trabajo se analiza la eficiencia de 8 MISV, las cuales se muestran en la

**Tabla 2** junto con su formulación matemática. Cabe recalcar que en este estudio se utilizaron MISV y que los análisis son considerando el espectro de pseudo aceleración en el periodo fundamental de la estructura, Sa(T1), de ahora en



adelante denominada solamente Sa, como primera componente del vector. Lo anterior significa que las MISV estarán conformadas como se muestra en

Tabla 3:

**Tabla 1.** Sismos utilizados en el análisis dinámico incremental.

\* = Adimensional, \*\*= Coordenadas del epicentro.

Evento	Fecha	Estación	Longitud (°) **	Latitud (°) **	Magnitud (Mw)	AMS (cm/s <sup>2</sup> )	VMS (cm/s)	T <sub>D</sub> (s)	I <sub>D</sub> (*)
1	19/09/1985	SCT	-102.468	18.419	8.1	178	59.5	63.34	13.12
2	21/09/1985	Tláhuac Deportivo	-101.681	17.828	7.6	48.7	14.6	133.79	0.76
3	25/04/1989	Alameda	-99.275	16.795	6.8	45.0	15.6	115.78	17.09
4	25/04/1989	Garibaldi	-99.275	16.795	6.8	68.0	21.5	117.74	8.69
5	25/04/1989	SCT	-99.275	16.795	6.8	44.9	12.8	128.44	14.16
6	25/04/1989	Sector Popular	-99.275	16.795	6.8	45.1	15.3	117.44	28.26
7	25/04/1989	Tlatelolco TL08	-99.275	16.795	6.8	52.9	17.3	118.92	9.43
8	25/04/1989	Tlatelolco TL55	-99.275	16.795	6.8	49.5	17.3	132.31	7.33
9	14/09/1995	Alameda	-98.667	16.752	7.3	39.3	12.2	105.34	13.79
10	14/09/1995	Garibaldi	-98.667	16.752	7.3	39.1	10.6	89.62	24.12
11	14/09/1995	Liconsa	-98.667	16.752	7.3	30.1	9.62	92.27	14.12
12	14/09/1995	Plutarco E.C	-98.667	16.752	7.3	33.5	9.37	95.86	16.69
13	14/09/1995	Sector Popular	-98.667	16.752	7.3	34.3	12.5	122.10	36.36
14	14/09/1995	Tlatelolco TL08	-98.667	16.752	7.3	27.5	7.8	142.42	28.23
15	14/09/1995	Tlatelolco TL55	-98.667	16.752	7.3	27.2	7.4	124.70	56.91
16	09/10/1995	Cibeles	-104.245	18.993	8.0	14.4	4.6	125.32	35.87
17	09/10/1995	CU Juárez	-104.245	18.993	8.0	15.8	5.1	122.51	34.62
18	09/10/1995	C.U.P.J	-104.245	18.993	8.0	15.7	4.8	130.07	33.17
19	09/10/1995	Córdoba	-104.245	18.993	8.0	24.9	8.6	113.46	23.44
20	09/10/1995	Liverpool	-104.245	18.993	8.0	17.6	6.3	147.10	17.22
21	09/10/1995	Plutarco E.C	-104.245	18.993	8.0	19.2	7.9	98.99	33.66
22	09/10/1995	Sector Popular	-104.245	18.993	8.0	13.7	5.3	123.85	37.87
23	09/10/1995	Valle Gómez	-104.245	18.993	8.0	17.9	7.18	131.26	24.51
24	11/01/1997	CU Juárez	-102.580	18.340	7.1	16.2	5.9	117.74	21.44
25	11/01/1997	C.U.P.J	-102.580	18.340	7.1	16.3	5.5	109.49	23.31
26	11/01/1997	García Campillo	-102.580	18.340	7.1	18.7	6.9	104.55	9.32
27	11/01/1997	Plutarco E.C.	-102.580	18.340	7.1	22.2	8.6	112.26	14.26
28	11/01/1997	Estación 10 Roma A	-102.580	18.340	7.1	21.0	7.76	88.72	25.61
29	11/01/1997	Estación 11 Roma B	-102.580	18.340	7.1	20.4	7.1	96.54	27.05
30	11/01/1997	Tlatelolco TL08	-102.580	18.340	7.1	16.0	7.2	120.88	14.93





Tabla 2. Medidas de intensidad sísmica utilizadas.

<i>Medida de intensidad</i>	<i>Formulación matemática</i>
<i>Aceleración Máxima del Suelo (AMS)</i>	
<i>Velocidad Máxima del Suelo (VMS)</i>	
<i>Duración del movimiento (T<sub>D</sub>)</i>	Tiempo que transcurre en pasar del 5% al 95% de la intensidad de Arias (I <sub>A</sub> ) $I_A = \int_0^T a^2(t) dt$
<i>Potencial de movimiento sísmico (I<sub>D</sub>)</i>	$I_D = \frac{\int_0^{t_f} a(t)^2 dt}{A_{ms} \cdot V_{ms}}$
<i>Parámetro Espectral R<sub>T1,T2</sub></i>	$R_{(T1, T_{modoi})} = \frac{S(T_{modoi})}{S(T_1)}$
<i>Parámetro espectral N<sub>pSa</sub></i>	$N_p = \frac{Sa_{avg}(T_i \dots T_f)}{Sa(T_j)}$
<i>Parámetro espectral N<sub>pV</sub></i>	$N_{pV} = \frac{V_{avg}(T_i \dots T_f)}{V(j)}$
<i>Parámetro espectral N<sub>pSV</sub></i>	$N_{pSV} = \frac{SV_{avg}(T_i \dots T_f)}{SV(j)}$

Tabla 3. Conjunto de MISV y las categorías a la que corresponden basadas en las respuestas que las caracterizan.

MISV	Respuesta Máxima	Duración	Forma espectral
<Sa, AMS>	*		
<Sa, VMS>	*		
<Sa, T <sub>D</sub> >	*	*	
<Sa, I <sub>D</sub> >	*	*	
<Sa, R <sub>T1,T2</sub> >	*		*



<Sa, Npsa>	*	*
< Sa, Npv >	*	*
< Sa, Npsv >	*	*

### 3.4 *Análisis dinámico incremental*

El análisis dinámico incremental (IDA, por sus siglas en inglés) es un método que evalúa el desempeño estructural de edificios sometidos a fuerzas sísmicas tomando como referencia un parámetro de demanda sísmica determinado [42]. En este trabajo se considera este enfoque por su amplia aceptación en la literatura aplicada al campo de investigación de la ingeniería estructural.

El primer paso consistió en escalar los 30 registros sísmicos hasta una intensidad deseada en términos de alguna MIS (e.g. pseudo aceleración) posteriormente se obtuvo el factor de escalamiento necesario para llegar a la intensidad deseada en el periodo fundamental de la estructura. Para este caso se consideró la Sa normalizada respecto a la gravedad (valores de 0 a 2g en incrementos de 0.1g) y Sa sin normalizar (de 0 a 2,000 cm/s<sup>2</sup> con incrementos de 100 cm/s<sup>2</sup>). Al final se optó por la primera opción de Sa dado que se tiene una mayor base comparativa con investigaciones de otros autores para este tipo de valores.

Adicionalmente, se aplicaron los factores de escalado a los registros sísmicos correspondientes, creando así un total de 20 registros sísmicos escalados (uno para cada nivel de escalamiento, es decir, 0.1g, 0.2g, 0.3g...2g) para cada componente del registro sísmico seleccionado.

Posteriormente se crea un archivo de texto con la estructura requerida por el software

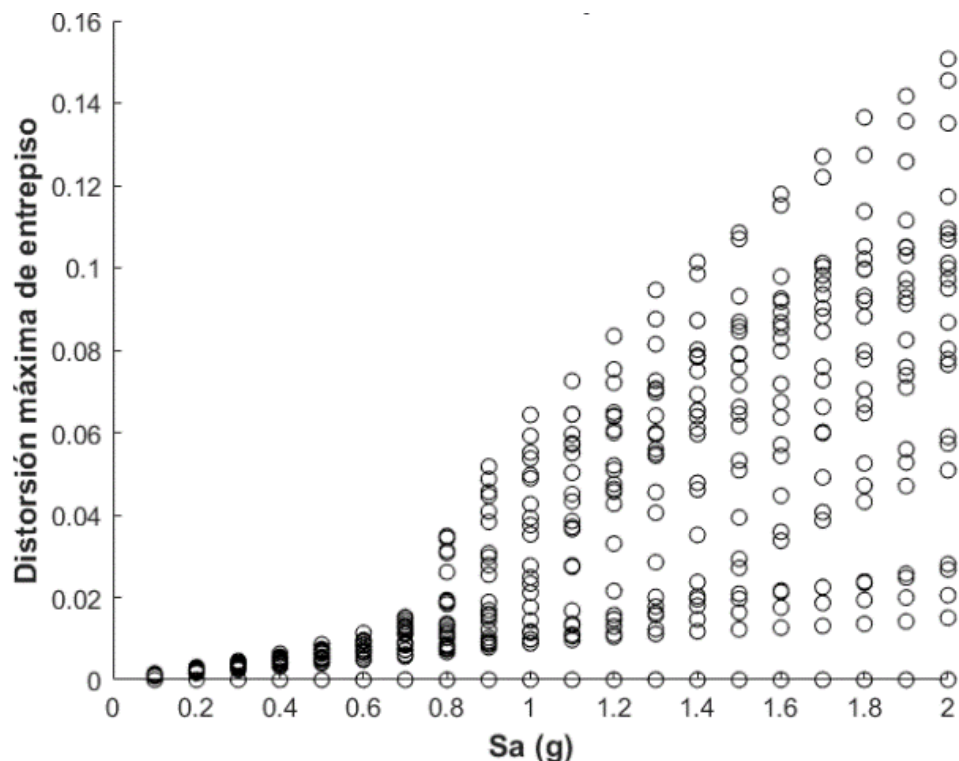
RUAMOKO 3D donde se debe incluir una serie de datos que leerá el programa. Los parámetros más importantes que se introducen son el tipo de análisis (estático, dinámico, u otros), las características del marco (número de nodos, elementos, secciones transversales, formas de vibrar, amortiguamiento, entre otros), la creación de cada nodo y elemento barra de la estructura con sus respectivas coordenadas arbitrarias, los nodos donde se estiman las distorsiones de entrepiso, las propiedades de las secciones transversales (módulo de elasticidad y cortante, área efectiva, momento de inercia, entre otros), los pesos y cargas que se transmiten a los nodos y por último el intervalo del paso del tiempo así como la duración de la historia de tiempo del sismo que estará excitando a la estructura.

En resumen, para este trabajo se utilizó un archivo de texto compatible con el programa de cómputo que se componía de los siguientes datos principales: Análisis tipo dinámico, marco de tres dimensiones con 186 nodos y 400 elementos barra, 5 secciones transversales, amortiguamiento del 5% del crítico, intervalos de historia de tiempo de 0.01s. Las cargas en los nodos fueron estimadas según el análisis estructural llevado a cabo acorde a lo estipulado en el reglamento de construcción [41]. Se motiva al lector a revisar los manuales con los que cuenta el software RUAUMOKO 3D para profundizar aún más en todas las funciones que se pueden llevar a cabo con éste.



Con lo anterior, se creó un archivo .bat que contiene las instrucciones para que la ejecute el software RUAUMOKO 3D. Las instrucciones que deben componer al archivo son las siguientes: Archivo ejecutable del software, nombre del archivo resultado, modelo del edificio en formato de texto, registro sísmico escalado (componente norte-sur), registro sísmico escalado (componente este-oeste), registro sísmico escalado (componente vertical). El producto será un archivo resultado por cada

sismo escalado del cual se deberá extraer el parámetro de demanda sísmica, en este caso la DME, ya que es la más utilizada en los códigos de construcción. En este estudio se obtuvieron un total de 600 archivos, lo que se traduce a 600 DME de las cuales se utilizarán aquellas para el nivel de intensidad deseado (1g). En la **Figura 2** se ilustra cuál es la eficiencia de la MIS al graficarla contra el parámetro de demanda sísmica. Se observa que el intervalo de valores para la DME se incrementa conforme aumenta el valor de la MIS.



**Figura 2.** Análisis dinámico incremental para el ECR de 10 niveles sometido a los registros sísmicos escalados para  $0.1 < S_a < 2g$ .

### 3.5 Superficies de fragilidad sísmica

Las curvas y superficies de fragilidad nos permiten estimar el comportamiento de la MISV en función de la probabilidad de falla. La probabilidad de falla está dada por las tasas de excedencia de un valor

determinado comúnmente conocido como parámetro de demanda sísmica.

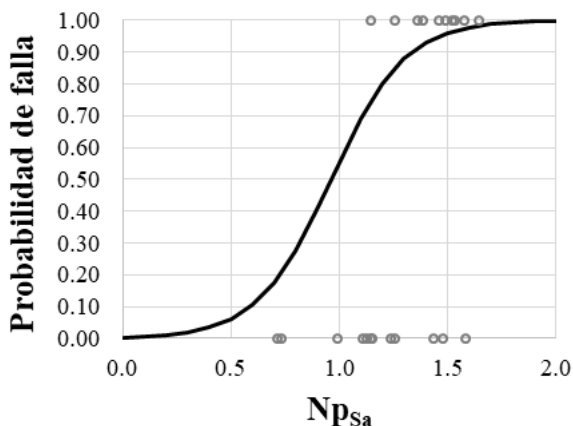
Una vez obtenidos los parámetros de demanda sísmica (DME) se determinó si la estructura falla o no al sobrepasar el valor



límite de 0.03 establecido en el reglamento de construcción [41].

Por lo tanto se consideró que la estructura falla si excedía este parámetro, asignándole un valor de 1 y si no fallaba (no excedía el valor límite) se le asignó un valor de 0. Después se asociaron estos valores a las MIS calculadas AMS, VMS, T<sub>D</sub> I<sub>D</sub>, R<sub>T1,T2</sub>, N<sub>pSa</sub>, N<sub>p<sub>v</sub></sub> Y N<sub>p<sub>Sv</sub></sub>. para cada sismo utilizado. Finalmente, se tabulan estos valores de falla-MIS para trazar las curvas de fragilidad y falla-MISV para generar las superficies de fragilidad correspondientes. Esto último se logra aplicando una regresión logística multinomial mediante la ecuación (1) considerando los valores de cada componente de la MISV. Esta regresión permitirá obtener la probabilidad de falla para desarrollar superficies de fragilidad con cada una de las MISV.

En la **Figura 3** podemos apreciar la diferencia entre trazar curvas de fragilidad



(izquierda) y superficies de fragilidad (derecha); La primera solo considera el comportamiento de una MIS mientras se considera Sa fija. En el segundo caso se varía ambos valores de la MISV y se puede conocer la influencia de uno y otro sobre la probabilidad de falla.

$$P_F = \frac{1}{1+e^{-\beta_0-\beta_1 \cdot x_1-\beta_2 \cdot x_2}} \quad (1)$$

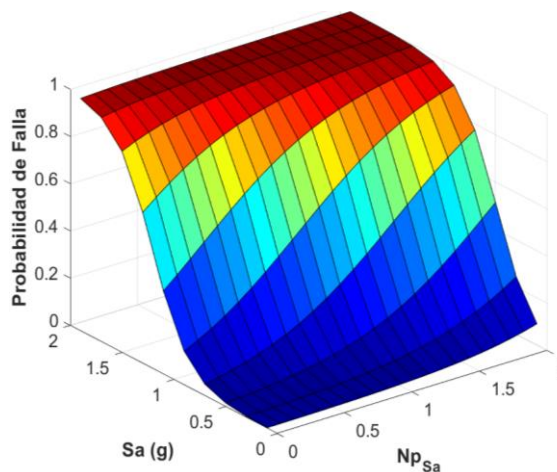
Donde:

P<sub>F</sub>=Probabilidad de falla

x<sub>1</sub>=Valor resumido de probabilidad de falla en el valor de pseudo-aceleración espectral medida en el periodo fundamental de la estructura.

x<sub>2</sub>= Valor de la medida de intensidad como parámetro secundario del vector.

β<sub>0</sub>, β<sub>1</sub> y β<sub>2</sub>=Coeficientes producto de la regresión de los resultados de registros escalados en Sa(T<sub>1</sub>)=x<sub>1</sub>.



**Figura 3.** Regresión logística simple (izquierda) para N<sub>pSa</sub> con Sa fija y multinomial (derecha) para el vector <Sa, N<sub>pSa</sub>>.

Las superficies de fragilidad calculadas se realizaron creando una matriz de la primera componente de la MISV, otra matriz para la

segunda componente y una tercera matriz producto de las dos primeras aplicando la regresión logística multinomial. Los



cálculos y creación de superficies de fragilidad fueron llevados a cabo en el software MATLAB y se utilizaron los valores beta que produjeran el menor error haciendo un proceso de optimización de datos.

#### 4. Resultados y Discusiones

En los siguientes párrafos se describen las superficies de fragilidad resultantes mostradas en la

Para el primer caso se consideró AMS como medida de intensidad y podemos apreciar en la

**Figura 4**, obtenidas a partir de la probabilidad de falla aplicando regresión logística multinomial a los resultados del análisis dinámico incremental del ECR de 10 niveles sometidos a los 30 registros sísmicos, considerando la DME como parámetro de demanda sísmica para  $S_a=1g$  y utilizando MISV con  $S_a$  como primera componente del vector y las MIS escalares AMS, VMS; las de duración  $T_D$ , e  $I_D$ ; y las de forma espectral  $R_{T_1, T_2}$ ,  $N_{p_{S_a}}$ ,  $N_{p_V}$  y  $N_{p_{S_V}}$ , como segunda componente del vector.

**Figura 4a** una respuesta completamente plana conforme van incrementando los valores de la MISV. De igual manera para el caso de VMS (



estructural. Esto resulta congruente con lo establecido en trabajos previos sobre la nula relación que presentan cuando se analiza el desempeño sísmico de estas medidas.

Luego en la

**Figura 4b)** no se observa una mejora significativa en la estimación de la probabilidad de falla (fragilidad sísmica) y se aprecia una similitud considerable con la gráfica previa, lo cual parece indicar que en estos casos las MIS tradicionales (basadas en respuestas máximas) no aportan información adicional sobre la respuesta

**Figura 4c)** viene  $T_D$ , la cual considera la duración del movimiento. Esta medida tiene



un mejor comportamiento al irse incrementando la probabilidad de falla conforme la duración asciende. Algo similar ocurre con  $I_D$ , compuesta también por valores de duración del movimiento así como de demandas máximas, la cual tiene un comportamiento ligeramente superior a los primeros dos casos al verse influenciada cuando se incrementan los valores de duración, incrementando así la probabilidad de falla (

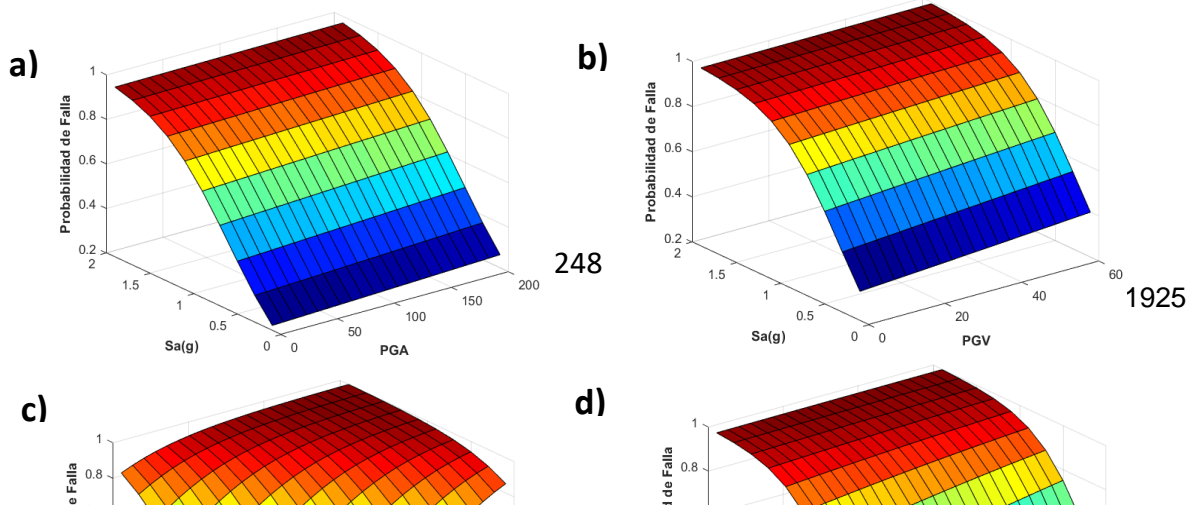
**Figura 4d).** Sin embargo, no se puede argumentar una diferencia significativa que justifique su uso de manera constante para este par de MISV.

Por último, tenemos a las MISV basadas en la forma espectral. Primeramente observamos a  $R_{T_1, T_2}$  en la



**Figura 4e**, la cual muestra una mejora significativa en el comportamiento de la gráfica dado que el incremento de esta medida representa un aumento en la probabilidad de falla lo que significa que la respuesta se ve influenciada a causa de la incorporación de esta medida. Lo mismo sucede con las otras MISV basadas en la forma espectral  $N_{p_{sa}}$ ,  $N_{p_v}$  y  $N_{p_{sv}}$  quienes tienen un mejor comportamiento al tener una línea de regresión ajustada de gran manera a los puntos de dispersión (

**Figura 4f, 4g y 4h** respectivamente). Además, cabe mencionar que las gráficas son muy parecidas entre sí, quizás por el hecho que el factor  $N_p$  depende de la normalización del espectro lo que lleva a generar esa similitud. No obstante, queda claro que las MISV basadas en la forma espectral presentan un mejor comportamiento al estimar la probabilidad de falla y por ende las superficies de fragilidad.







**Figura 4.** Superficies de fragilidad del ECR con  $S_a(T1)$  como primera componente de la MISV y a) AMS, b) VMS, c)  $T_D$ , d)  $I_D$ , e)  $R_{T1,T2}$ , f)  $N_{p_{sa}}$ , g)  $N_{p_v}$  y h)  $N_{p_{sv}}$  como segunda.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se analizó la eficiencia de 8 MISV, mediante análisis dinámicos incrementales considerando la distorsión

máxima de entrecimpo como parámetro de demanda sísmica, para predecir la respuesta estructural y se realizó un análisis de fragilidad sísmica estimando 8 superficies de fragilidad sísmica de un ECR de 10 niveles sometido a 30



registros sísmicos de banda angosta. Con base en los resultados se concluye lo siguiente:

- AMS, VMS,  $T_D$  e  $I_D$  e tienen poca o nula influencia en la probabilidad de falla como segunda componente del vector; por lo tanto, su uso no es recomendable como MISV.
- $R_{T1,T2}$  mejora significativamente la influencia en la probabilidad de falla y en general tiene un buen comportamiento como estimador de la fragilidad sísmica al ser usada como segunda componente del vector de la MISV.
- $N_{psa}$ ,  $N_{pv}$  y  $N_{psv}$  resultan ser las más adecuadas para predecir de manera apropiada la probabilidad de falla del ECR sometido a los registros sísmicos, siendo  $N_{psa}$  la que mejor comportamiento tiene como segunda componente del vector de las MISV, lo que resulta congruente con estudios previos donde se menciona la eficiencia de esta al realizar análisis de desempeño sísmico como medida de intensidad.

El estudio de las MISV basadas en la forma espectral para estimar superficies de fragilidad en ECR no ha sido abordado en la literatura previa por lo que los resultados aquí obtenidos podrían ser analizados en futuros trabajos como alternativa a los métodos tradicionales plasmados en los códigos de construcción vigentes. Lo anterior es crucial con la finalidad de utilizar medidas de intensidad sísmica más eficientes. Además, este enfoque es muy útil para no depender de  $S_a(T_1)$  como único parámetro de daño y ayuda en la estimación del comportamiento no lineal de las estructuras. Es recomendable seguir aplicando este tipo de análisis con el objetivo de encontrar diferencias significativas en las formas de diseño tradicionales, incrementando así la seguridad estructural a un menor coste de edificación.

## 6. Agradecimiento de autoría

*Zavala Gutiérrez Noel*: Escritura – Borrador original, Investigación, Metodología; *Bojórquez*

*Mora Edén*: Conceptualización, Supervisión, Escritura: revisión y edición; *Barraza Guerrero Manuel Antonio*: Supervisión, Escritura: revisión y edición, Administración del proyecto; *Bojórquez Mora Juan*: Análisis formal, Validación, Curación de datos; *Villela y Mendoza Almendra*: Escritura revisión y edición, Validación; *Torres Peñuelas José Ignacio*: Metodología, Investigación; *Campos Gaytán José Rubén*: Escritura revisión y edición; *Sánchez Vergara Ricardo*: Escritura revisión y edición.

## Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló gracias al apoyo económico brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) bajo el proyecto Ciencia Básica 287103, al apoyo de la beca de doctorado de CONACyT otorgada al primer autor y al proyecto financiado por la SEP mediante el programa de PRODEP a uno de los autores UABC-PTC-806. Finalmente, se agradece el apoyo recibido por parte de la Universidad Autónoma de Sinaloa dentro del proyecto PROFAPI 2022.

## Referencias

- [1] A. Arias, "A measure of earthquake intensity. In Seismic Design for Nuclear Power Plants," Institute of Technology Press.1970.
- [2] G. W. Housner, "Measures of severity of ground shaking," U.S. Conference on Earthquake Engineering, vol. Earthquake Engineering Research Institute.1975.



- [3] V. Anand and S. R. Satish Kumar, "Seismic Soil-structure Interaction: A State-of-the-Art Review," *Structures*, vol. 16, pp. 317-326.2018. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.10.009>
- [4] P. Cordova, G. G. Deierlein, S. Mehanny, and A. C. Cornell, "Development of a two-parameter seismic intensity measure and probabilistic assessment procedure," *The second U.S.-Japan workshop on performance-based earthquake engineering methodology for reinforce concrete building structures*, Sapporo, Hokkaido, 2001, pp. 187-206.
- [5] J. W. Baker and A. C. Cornell, "Vector-valued intensity measures for pulse-like near-fault ground motions," *Engineering Structures*, vol. 30, no. 4, pp. 1048-1057.2008. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.07.009>
- [6] R. Riddell, "On ground motion intensity indices," *Earthquake spectra*, vol. 23, no. 1, pp. 147-173.2007. <https://doi.org/10.1193/1.2424748>
- [7] E. Bojórquez and I. Iervolino, "Spectral shape proxies and nonlinear structural response," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 31, no. 7, pp. 996-1008.2011. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2011.03.006>
- [8] P. Tothong and N. Luco, "Probabilistic seismic demand analysis using advanced ground motion intensity measures," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 36, no. 13, pp. 1837-1860.2007. <https://doi.org/10.1002/eqe.696>
- [9] A. Lucchini, F. Mollaioli, and G. Monti, "Intensity measures for response prediction of a torsional building subjected to bi-directional earthquake ground motion," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 1499-1518.2011. <https://doi.org/10.1007/s10518-011-9258-2>
- [10] J. Donaire-Ávila, F. Mollaioli, A. Lucchini, and A. Benavent-Climent, "Intensity measures for the seismic response prediction of mid-rise buildings with hysteretic dampers," *Engineering Structures*, vol. 102, pp. 278-295.2015. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.08.023>
- [11] P. Ge and Y. Zhou, "Investigation of efficiency of vector-valued intensity measures for displacement-sensitive tall buildings," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 107, pp. 417-424.2018. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.12.018>
- [12] J. Kiani, C. Camp, and S. Pezeshk, "Role of conditioning intensity measure in the influence of ground motion duration on the structural response," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 104, pp. 408-417.2018. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.11.021>
- [13] E. Bojórquez, I. Iervolino, A. Reyes-Salazar, and S. E. Ruiz, "Comparing vector-valued intensity measures for fragility analysis of steel frames in the case of narrow-band ground motions," *Engineering Structures*, vol. 45, pp. 472-480.2012. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.07.002>
- [14] E. Bojórquez, R. Chávez, A. Reyes-Salazar, S. E. Ruiz, and J. Bojórquez, "A new ground motion intensity measure IB," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 99, pp. 97-107.2017. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.05.011>
- [15] M. Yakhchalian, A. Nicknam, and G. G. Amiri, "Optimal vector-valued intensity measure for seismic collapse assessment of structures," *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*,



vol. 14, no. 1, pp. 37-54.2015.  
<https://doi.org/10.1007/s11803-015-0005-6>

[16] C. Yang, L. Xie, A. Li, J. Jia, and D. Zeng, "Ground motion intensity measures for seismically isolated RC tall buildings," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 125.2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105727>

[17] H. Rajabnejad, H. Hamidi, S. A. Naseri, and M. A. Abbaszadeh, "Effect of intensity measure on the response of a 3D-structure under different ground motion duration," *International Journal of Engineering*, vol. 34, no. 10.2021.  
<https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.10a.04>

[18] Y. Zhou, P. Ge, J. Han, and Z. Lu, "Vector-valued intensity measures for incremental dynamic analysis," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 100, pp. 380-388.2017.  
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.06.014>

[19] J. W. Baker and C. Allin Cornell, "Spectral shape, epsilon and record selection," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 35, no. 9, pp. 1077-1095.2006.  
<https://doi.org/10.1002/eqe.571>

[20] N. Buratti, "A comparison of the performances of various ground-motion intensity measures," *The 15th World Conference on Earthquake Engineering*, vol. Lisbon, Portugal. 2012.

[21] M. Grigoriu, "Do seismic intensity measures (IMs) measure up?," *Probabilistic Engineering Mechanics*, vol. 46, pp. 80-93.2016.  
<https://doi.org/10.1016/j.probengmech.2016.09.002>

[22] J. Kiani and S. Pezeshk, "Sensitivity analysis of the seismic demands of RC moment resisting frames

to different aspects of ground motions," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 46, no. 15, pp. 2739-2755.2017.  
<https://doi.org/10.1002/eqe.2928>

[23] F. Mollaioli, A. Lucchini, Y. Cheng, and G. Monti, "Intensity measures for the seismic response prediction of base-isolated buildings," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 11, no. 5, pp. 1841-1866.2013.  
<https://doi.org/10.1007/s10518-013-9431-x>

[24] M. Palanci and S. M. Senel, "Correlation of earthquake intensity measures and spectral displacement demands in building type structures," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 121, pp. 306-326.2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.03.023>

[25] J. I. Torres, "Eficiencia de medidas de intensidad sísmica vectorial en la predicción de la respuesta de edificios de C/R," *Culiacán, Sinaloa, México: Universidad Autónoma de Sinaloa*, 2018, p. 102.

[26] S. Tsantaki, C. Adam, and L. F. Ibarra, "Intensity measures that reduce collapse capacity dispersion of P-delta vulnerable simple systems," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 15, no. 3, pp. 1085-1109.2016.  
<https://doi.org/10.1007/s10518-016-9994-4>

[27] T.-T. Liu, D.-G. Lu, and X.-H. Yu, "Development of a compound intensity measure using partial least-squares regression and its statistical evaluation based on probabilistic seismic demand analysis," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 125.2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105725>



- [28] J. W. Baker, "Probabilistic structural response assessment using vector-valued intensity measures," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 36, no. 13, pp. 1861-1883.2007. <https://doi.org/10.1002/eqe.700>
- [29] I. Zentner, M. Gündel, and N. Bonfils, "Fragility analysis methods: Review of existing approaches and application," *Nuclear Engineering and Design*, vol. 323, pp. 245-258.2017. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2016.12.021>
- [30] B. U. Gokkaya, J. W. Baker, and G. G. Deierlein, "Quantifying the impacts of modeling uncertainties on the seismic drift demands and collapse risk of buildings with implications on seismic design checks," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 45, no. 10, pp. 1661-1683.2016. <https://doi.org/10.1002/eqe.2740>
- [31] F. Jalayer, H. Ebrahimian, A. Miano, G. Manfredi, and H. Sezen, "Analytical fragility assessment using unscaled ground motion records," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 46, no. 15, pp. 2639-2663.2017. <https://doi.org/10.1002/eqe.2922>
- [32] C. Mai, K. Konakli, and B. Sudret, "Seismic fragility curves for structures using non-parametric representations," *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 169-186.2017. <https://doi.org/10.1007/s11709-017-0385-y>
- [33] W. Wen, C. Zhai, D. Ji, S. Li, and L. Xie, "Framework for the vulnerability assessment of structure under mainshock-aftershock sequences," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 101, pp. 41-52.2017. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.07.002>
- [34] F. Hosseinpour and A. E. Abdelnaby, "Fragility curves for RC frames under multiple earthquakes," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 98, pp. 222-234.2017. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.04.013>
- [35] S. T. Karapetrou, S. D. Fotopoulou, and K. D. Pitilakis, "Seismic Vulnerability of RC Buildings under the Effect of Aging," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 38, pp. 461-468.2017. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.137>
- [36] M. M. Kassem, F. Mohamed Nazri, and E. Noroozinejad Farsangi, "Development of seismic vulnerability index methodology for reinforced concrete buildings based on nonlinear parametric analyses," *MethodsX*, vol. 6, pp. 199-211.2019. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.01.006>
- [37] P. Olteanu, V. Coliba, R. Vacareanu, F. Pavel, and D. Ciuiu, "Analytical Seismic Fragility Functions for Dual RC Structures in Bucharest," (Springer Natural Hazards, The 1940 Vrancea Earthquake. Issues, Insights and Lessons Learnt, 2016, pp. 463-479. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29844-3\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29844-3_33)
- [38] J. Pejovic and S. Jankovic, "Seismic fragility assessment for reinforced concrete high-rise buildings in Southern Euro-Mediterranean zone," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 185-212.2015. <https://doi.org/10.1007/s10518-015-9812-4>
- [39] M. Zain, N. Anwar, F. A. Najam, and T. Mehmood, "Seismic Fragility Assessment of Reinforced Concrete High-Rise Buildings Using the Uncoupled Modal Response History Analysis (UMRHA)," (Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, Proceedings of the



International Conference on Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2019, pp. 201-218.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-78187-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-78187-7_16)

[40] M. Amiri and M. Yakhchalian, "Performance of intensity measures for seismic collapse assessment of structures with vertical mass irregularity," *Structures*, vol. 24, pp. 728-741.2020.

<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.01.038>

[41] RCDMX, "Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo," *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, Décima cuarta época, Tomo II, No. 103-BIS, 2017.

[42] D. Vamvatsikos and C. A. Cornell, "Incremental dynamic analysis," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 31, no. 3, pp. 491-514.2002.

<https://doi.org/10.1002/eqe.141>

Derechos de Autor (c) 2022 Noel Zavala Gutiérrez, Edén Bojórquez Mora, Manuel Antonio Barraza Guerrero, Juan Bojórquez Mora, Almendra Villela y Mendoza, José Ignacio Torres Peñuelas, José Rubén Campos Gaytán, Ricardo Sánchez Vergara



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/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](#)



# 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].

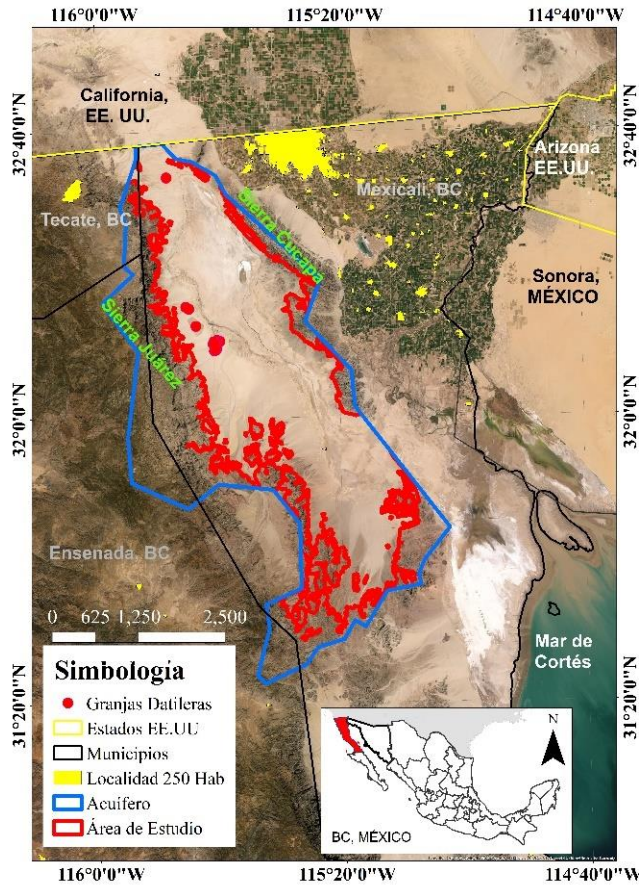


Figura 1. Área de estudio. Fuente: Elaboración propia con base en [10] y [11].

Eliminando la zona de serranías de la extensión del acuífero, su extensión territorial es de 3,370 Km<sup>2</sup>. 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 hm<sup>3</sup>/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).

Fase I: EXPOSICIÓN		Fase II: FRAGILIDAD		
Oferta de Agua	Superficie Expuesta (SExp)	Superficie Sensible (SSens)	Superficie Sustentable (SSust)	Grado de Vulneración Territorial (GVT)
AAS, Variación de AAS	Requerimientos de cultivo (+16)	AP, DA, IF, Crédito, Beneficios Sociales	DA, IF, Empleo, Crédito, SExp	SSens, SSust
Marco Legal	Estadísticas hidro-productivas	Capacidad de endeudamiento	Planes de contingencia	Parámetros Técnicos
Mecanismos de Gestión de Riesgos			Aspecto Organizacional	Análisis de sensibilidad de la inversión
Fase III: CAPACIDAD ADAPTATIVA TERRITORIAL				

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<sub>LS</sub>* 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][33][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 m<sup>3</sup>/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<sub>ad</sub>*,

*CRiego<sub>ad</sub>*, 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<sub>ad</sub>*, *CRiego<sub>ad</sub>*.

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 Km<sup>3</sup> 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 Km<sup>3</sup> de agua disponible.

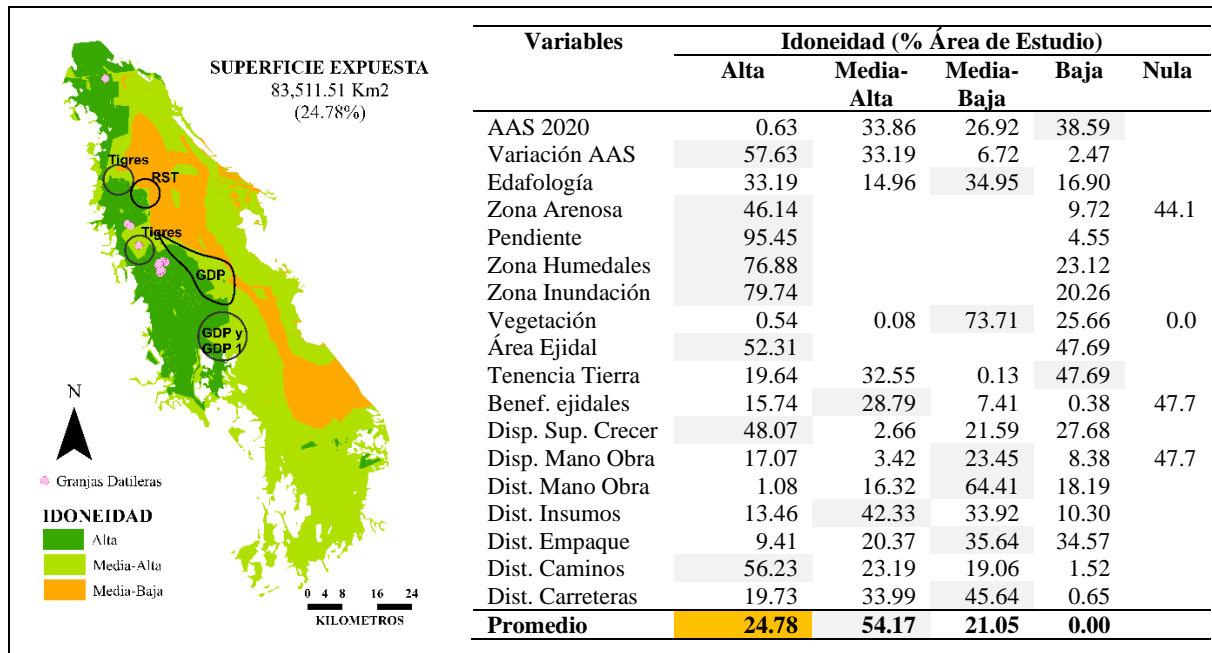
Como las imágenes satelitales no contabilizan los impactos antropogénicos [64], la tendencia señala que conforme pasan los años el territorio es menos capaz de producir agua. Con base en [27] y [35], la tendencia y los periodos húmedos y secos concuerdan con los de la Cuenca del Río Colorado, pero divergen 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 Km<sup>3</sup> 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 Km<sup>2</sup> (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.

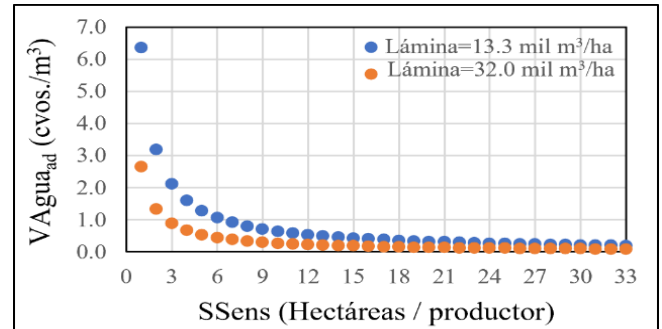
Actualmente, el ejido “Tigres del Desierto” posee hectáreas que están ubicadas fuera de la región más idónea (Figura 3), por lo que sus productores pueden tener problemas con los rendimientos productivos. Los 16 ejidos restantes no tendrían problemas para expandir su superficie productiva debido a que 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

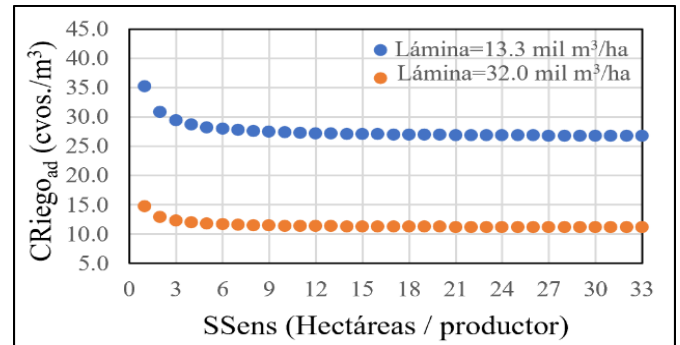
El estudio de la fragilidad realizado por esta investigación: expone las condiciones productivas actuales y la factibilidad de expandir la superficie datilera (análisis de *SSens*), determina la distancia existente con el escenario deseado (*SSust*), cuantifica el grado de vulneración territorial al 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 hm<sup>3</sup>/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<sub>ad</sub>*) 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<sub>ad</sub>*) 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
<b>Capacidad productiva (Media)</b>	<b>4.5</b>	<b>3.4</b>

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][66][42][43].

El umbral superficial (*USup*) del Empleo, el PRI, la TIR, el *CRiego<sub>ad</sub>* y el *VAgua<sub>ad</sub>* se compararon con el propósito de *estimar SSust*. El *USup* elegido como *SSust* fue el del *VAgua<sub>ad</sub>* (=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*

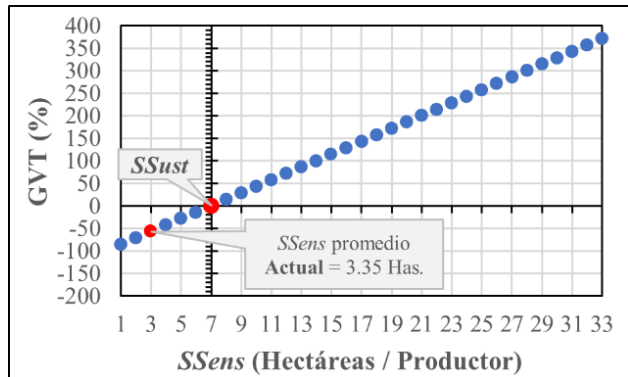
Variable	<i>USup</i>	Razón de importancia	Crédito*
Empleo	11	Se eligió 11 hectáreas como <i>USup</i> porque generarían 2 empleos formales, en vez de 1.3 empleos generados por establecer 7 hectáreas ( <i>VAgua<sub>ad</sub></i> ).	4.2
PRI	14	14 hectáreas es la escala que tarda menos tiempo en recuperación 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<sub>ad</sub></i>	15	Los incrementos en el costo de riego que son menores a 0.01 centavos/m <sup>3</sup> se alcanzan sembrando 15 hectáreas (ver Gráfica 2);	4.2
<i>VAgua<sub>ad</sub></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 <sup>3</sup> ) (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<sub>ad</sub>*, 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<sub>ad</sub>* ( $R^2=68.16\%$ ) 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
<b>Capacidad adaptativa territorial (Media)</b>	<b>2.5</b>

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 ( $SSens$  promedio <  $SSust$ ).

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.

### 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.

### 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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](#)



# Decisiones de inversión: un enfoque de activos y pasivos intangibles (un análisis empresarial en el sector logístico)

## Investment decisions: an intangible assets and liabilities approach (analysis in the logistic segment)

Harold Coronado Coronado 

Universidad Internacional de las Américas, San José, Costa Rica

**Autor de correspondencia:** Harold Coronado Coronado, Universidad Internacional de las Américas, San José, Costa Rica.  
E-mail: drhcc\_econ@hotmail.com . ORCID: 0000-0002-4716-3910

**Recibido:** 17 de marzo del 2022

**Aceptado:** 02 de mayo del 2022

**Publicado:** 17 de mayo del 2022

**Resumen.** - El presente estudio muestra los factores que inciden en las decisiones de inversión empresariales tradicionalmente concentradas hacia el activo tangible considerado éste, como el principal agente para fortalecer la riqueza de la organización y la nueva orientación hacia invertir en el activo intangible. El objetivo de la investigación consiste en examinar la percepción del empresario actual respecto a nuevos parámetros en sus decisiones de inversión hacia el activo intangible o inmaterial, como elemento que puede generar valor de largo plazo en la empresa. Complementariamente, examina el pasivo intangible, como un agente que podría reducir el valor en la empresa. En este sentido, la investigación se enmarca dentro de la modalidad cualitativa y cuantitativa, efectuando un diagnóstico de siete casos de empresas del sector logístico en San José, Costa Rica, aplicándose la técnica de boleta de encuesta y un modelo de intangible, de donde se obtiene como resultado principal que éstas empresas examinadas están incorporando progresivamente los criterios de activos intangibles en la dinámica moderna de mejoramiento, para una gestión empresarial efectiva en un horizonte comercial extendido.

**Palabras Clave:** Activos intangibles; Pasivos intangibles; Inversión; Decisiones de inversión; Operador logístico; Capital intelectual; Rendimiento.

**Abstract.** - This study shows the factors that affect business investment decisions traditionally concentrated towards the tangible asset, considering this as the principal-agent to strengthen the wealth of the organization and the new orientation towards investing in intangible assets. The objective of the research is to examine the perception of the current entrepreneur regarding new parameters in their investment decisions towards intangible or immaterial assets, as an element that can generate long-term value in the company. In addition, it examines the intangible liability, as an agent that could reduce the value of the company. In this sense, the research is framed within the qualitative and quantitative modality, carrying out a diagnosis of seven cases of companies in the logistics sector in San José, Costa Rica, applying the survey ticket technique and an intangible model, from which obtained as the main result that these examined companies are progressively incorporating the criteria of intangible assets in the modern dynamics of improvement, for effective business management in an extended commercial horizon.

**Keywords:** Intangible assets; Intangible liabilities; Investment; Investment decisions; Logistic operator; Intellectual capital; Profits.

## 1.- Introducción

Las empresas clásicas del sector inmobiliario comercial e industrial, poseen un segmento que muestra una tendencia hacia la concentración de sus presupuestos de inversión principalmente en los activos tangibles, obedeciendo principalmente al criterio de que ahí es donde emana la riqueza de la empresa [1], lo que representa un punto de partida, para examinar si realmente existen otros disparadores que expliquen el aumento del valor en las organizaciones, como pueden ser la inversión en el activo intangible.

En la última década el advenimiento de la tecnología, la robótica, la automatización, el internet de las cosas y fundamentalmente la presencia de negocios en la nube, han impulsado que las empresas denominadas puntocom, emergieran haciendo una menor inversión en cantidad de activos fijos (activos tangibles), abriendo un espacio importante a la era del conocimiento y de la inversión en inmateriales (activos intangibles) como son: la marca, patentes, capital intelectual [2], además apareció de manera más recurrente el concepto de “*know how*” y el “*good will*” [3], mostrando la presencia del intangible de forma más relevante en las empresas.

Partamos de que los activos intangibles (AI), son aquellos activos identificables y que por ende se pueden registrar en la contabilidad, pero que a su vez son no monetarios y su valor se determina por medio de una valoración financiera especializada al momento de una transacción (compra-venta), además no poseen apariencia física, de manera que su naturaleza no es corpórea porque no se pueden ver ni tocar, pero permiten obtenerse beneficios futuros de ellos, mediante flujos de efectivo y además deben ser controlables mediante contratos, registros u otros según se

definen técnicamente en los textos especializados.

Básicamente, el Manual de Normas Internacionales de Contabilidad, (NIC.38) [4] aporta ejemplos como: “los programas informáticos, las patentes, los derechos de autor, las películas, las listas de clientes, los derechos por servicios hipotecarios, las licencias de pesca, las cuotas de importación, las franquicias, las relaciones comerciales con clientes o proveedores, la lealtad de los clientes, las cuotas de mercado y los derechos de comercialización.” [5, 6].

Así las cosas, el tema de los activos intangibles (AI), empezó a ganar cada vez más espacio a partir del 2000, con el reconocimiento de un concepto de valor sostenible en el largo plazo y un valor competitivo diferenciado, que promueve la fortaleza interna del negocio. Un activo intangible que, al invertir en él, puede ser varias veces más efectivo que un activo tangible (AT), de manera que un diseño, un concepto, una fórmula, una marca, un procedimiento, contribuye a crear reputación, lealtad, pertenencia, entre otros factores que dan mayor valor a una locación, negocio o desarrollo de largo plazo [7, 8].

Ahora bien, partiendo de la máxima de John Maynard Keynes<sup>1</sup>, expuesta por Canals, donde indica que “más vale un cálculo aproximadamente correcto que uno exactamente incorrecto” [9], contribuye a comprender, que no se justifica la exclusión de la medición del valor del capital humano y la capacitación como activos intangibles principales de una empresa y que sin duda impulsan el incremento en la productividad. Por lo que no se les puede asignar las mejoras empresariales en forma única y exclusiva al activo tangible (AT), dado que el activo intangible (AI) también colabora

1 / Keynes, John Maynard (1883-1946) Gran Bretaña, filósofo, economista, matemático y financiero. Resolvió la crisis del período entre las dos guerras mundiales que se presentó en Reino Unido y Estados Unidos, estableció los fundamentos de la macroeconomía, entre sus

publicaciones destacan, *Consequences of the peace* (1919) y *General Theory of Employment, interest and money* (1936)

notablemente en dichos resultados. Al hacerlo de esta forma se evita sobrestimar en la contribución que se asigna al (AT) y subestimar el aporte que generó el (AI).

Algunos especialistas han propuesto y examinado métodos de cálculo [10, 11], que muestran como el activo intangible se vuelve una fuente principal de riqueza, aportando ventaja competitiva sólida y siendo un recurso óptimo para el éxito y para la continuidad del negocio en marcha en el largo plazo [12].

Conforme ha pasado el tiempo se ha descubierto que, en las empresas, los bienes inmuebles, los equipos, maquinaria, herramientas, la planta, edificaciones, en general los activos materiales no han generado necesariamente ventajas competitivas sostenibles a lo largo del tiempo, más bien se desgastaron, perdieron valor y se depreciaron.

Lo expuesto, apoya los argumentos en favor de la decisión de inversión en activos intangibles (AI), dado que éstos generan valor y permiten en algunos casos obtener rendimientos superiores al promedio de la industria. Entre ellos la inversión en el capital intelectual, es decisivo para el progreso empresarial, calidad del servicio, mejora de la productividad, cultura y proyección de negocio [13], y aun cuando estos (AI) se amortizan, su impacto en las organizaciones es reconocido en muchas de éstas como altamente significativo y decisivo, pero que aún no es reconocido por todas las empresas.

En este sentido, los principales problemas de investigación se concentran en aspectos tales como:

- ✓ Inexistencia de reconocimiento de los activos intangibles en las empresas y la incapacidad interna para medirlos y registrarlos correctamente,
- ✓ Desalineamiento existente entre las decisiones estratégicas de inversión y la correcta

estimulación para potenciar y gestionar el activo intangible,

- ✓ Excesos de concentración de inversión en el activo tangible y poco al activo intangible,
- ✓ Persistencia de gran apalancamiento para comprar algunos activos tangibles poco generadores, con poca proyección de negocio de largo plazo,
- ✓ Poco conocimiento del pasivo intangible y de sus causas, condiciones y consecuencias.

Específicamente en el sector de logística internacional a nivel global el activo intangible participa en 47% [7], no obstante, a nivel local se desconoce el peso porcentual, lo cual limita establecer hallazgos en la evolución de dicha inversión y por ende lo hace un sector relevante para considerar algunos casos de estudio en esta investigación.

Por lo tanto, esta investigación, posee los siguientes alcances:

Objetivo General: Analizar la relación que tienen las decisiones de inversión en la gestión de activos y pasivos intangibles y su integración en el análisis de valoración financiera.

Objetivos Específicos:

- Identificar métodos principales de valoración financiera de activos intangibles.
- Examinar la repercusión de los pasivos intangibles y sus potenciales causas y consecuencias.
- Analizar la toma de decisión de inversión y la gestión de inversión en activos y pasivos intangibles desde su incidencia interna o externa, en siete casos de empresas del sector logístico del Gran Área Metropolitana (GAM), Costa Rica, 2021.

A la vez, se formula la siguiente pregunta de investigación: *¿Cuáles relaciones multidireccionales existen en las decisiones*

*estratégicas de inversión que inciden en la gestión de activos y pasivos intangibles, con opción de ser mejoradas y optimizadas?*

Este trabajo, parte de establecer la diferencia explícita entre el enfoque clásico y la visión moderna de las decisiones de inversión, y como los países más grandes y con más intangibles, experimentaron choques menos severos con la pandemia, mientras las economías con menos activos intangibles estuvieron más expuestas a

shocks externos [7].

Complementariamente, se revela que los países con mayor inversión en el activo intangible se han destacado por tener mejor reputación y poseer más testimonios de estabilidad, siendo a su vez más atractivos para los inversores, en especial por ser percibidos como países altamente innovadores, mientras los países con menos activos intangibles son percibidos con ese menor atractivo de innovación [7].

**Tabla 1.** Diferencias entre la Visión Clásica y Moderna de Decisiones de Inversión. Fuente. Elaboración propia, basado en [1].

<b>Decisión de Inversión Enfoque Clásico</b>	<b>Decisión de Inversión Enfoque Moderno</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión tangible intensiva, ampliamente dedicada a la economía manufacturera.</li> <li>• Activos Tangibles (AT) &gt; Activos Intangibles (AI).</li> <li>• Los Pasivos Intangibles No son considerados en los análisis de los balances.</li> <li>• La inversión en “good will”, “know how”, Capital Humano, y otros activos intangibles son tímidamente considerados, de manera explícita en el Plan de Negocios como objetivos específicos.</li> <li>• La inversión en activos intangibles se da dentro del Plan de Marketing.</li> <li>• No poseen personal dedicado y especializado en el manejo, control, administración y gestión del activo intangible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión intangible intensiva, ampliamente dedicada a la economía del conocimiento.</li> <li>• Activos Tangibles (AT) &lt; Activos Intangibles (AI)</li> <li>• Los Pasivos Intangibles comienzan a ser considerados en los análisis para medir los impactos negativos y los mitigadores (planes de contingencia).</li> <li>• La inversión en “know how”, “good will”, Capital Intelectual y el valor de activos de RRHH: (activos humanos, activos relacionales, activos estructurales) y otros activos intangibles sí son considerados en forma relevante en el Plan de Negocios como objetivos específicos.</li> <li>• La inversión en activos intangibles se da, independizada pero íntimamente coordinada con el Plan de Marketing, la Unidad de Capacitación de RRHH, y otras unidades con esfuerzos organizados y colaborativos.</li> <li>• Poseen personal dedicado, especializado y sofisticado tecnológicamente, con manejo de bases de datos relacionales, “Big data”, minería de datos, algoritmos, indicadores compuestos, que gestionan el activo intangible. Se usan para fortalecer la analítica de datos.</li> </ul>

De acuerdo con la tabla 1, se revelan importantes diferencias entre el enfoque clásico de tipo más manufacturero y el moderno con una postura mucho más intensiva hacia la tendencia de un mundo digital, especialmente respecto a la visión

empresarial y comercial competitiva que los administradores de negocios vienen incorporando en sus decisiones de inversión, incluyendo la correcta y ordenada gestión de activos y pasivos intangibles impulsados por el

dinámico cambio en la realidad de sus diversos entornos y las expectativas futuras de las empresas [14].

Por su parte, las decisiones de inversión clásica (DIC), se basan principalmente en parámetros como: tipo de inversión, cuantía, costos estimados, flujos de caja, beneficios esperados, tasas de descuento, horizonte comercial de repago, fondeo de la operación y la tangibilidad de la inversión [15, 16].

Mientras en un enfoque de decisión de inversión contemporáneo se incluyen nuevos factores que apoyan mayoritariamente la inmaterialidad como son: perfil del apetito de riesgo del inversor, tablero de riesgo, analítica de datos, tolerancia a la pérdida, edad del inversor, condición social, acceso, formulación de estrategia sofisticadas, capital intelectual y la proyección del “*net working*”, los cuales abren nuevas opciones para considerar la inversión más intensiva hacia el activo intangible [14] y actualmente, previo a la inversión, los especialistas, incluyen aspectos como pruebas de riesgo: “*stress testing*”, “*back testing*”, tensión, eventos extremos, entre otros.

Por otra parte, está presente el concepto de pasivos intangibles (PI), asociados a aspectos de origen interno o externo de la organización, que pueden atraer experiencias negativas, incluso los antivaleores, podrían exponer a la empresa a pérdidas económicas, o a incrementar la frecuencia o la severidad de perturbaciones y por ende provocar malos resultados [17].

Estos pasivos intangibles, de acuerdo con el investigador, son reconocibles y diferenciables, cuando permanecen al menos durante dos semestres en las evaluaciones, siendo identificados por tener las características de ser continuos y sostenidos en el tiempo, no transitorios, por lo cual se diferencian de debilidades de control operativo, dado que sus efectos son de expansión sistemática a otras

áreas, complejos de diversificar y sus efectos negativos son de largo plazo.

Entonces, entiéndase por pasivo intangible (PI), la responsabilidad u obligación de las empresas de transferir recursos económicos o proporcionar servicios a otras entidades a futuro, a consecuencia de las malas decisiones. Estos factores podrían eventualmente ser parte de las causas u orígenes de aspectos como el debilitamiento y/o la destrucción de valor o de la pérdida de competitividad comercial de tipo parcial o total en las organizaciones [18], algunos orígenes pueden ser, piratería de datos, daños a sistemas, pérdida de información, suministro de datos incorrectos o incompletos, ignorar opinión de expertos, o incluso malas decisiones asociadas a espionaje industrial, o generación de réplicas, entre otros.

Otros pasivos intangibles [17] son: debilidad en los procesos de planeación estratégica, investigación y desarrollo inadecuado, procesos obsoletos de fabricación, carencia de desarrollo de nuevos productos, inadecuada localización, baja calidad del producto, escaso compromiso y confianza de proveedores, mala comunicación con clientes potenciales, inadecuados canales de distribución, entre otros.

En este sentido, siete expertos consultados, convergen en la importancia de identificar alertas tempranas de precondiciones que podrían propiciar la aparición del pasivo intangible, entre las que se indican: ausencia de *due diligence* o *compliance*, situaciones tecnológicas desfavorables e inesperadas, información falsa o incompleta de productos y servicios, nula jerarquización de las decisiones, obsolescencia en procesos de producción, mala comunicación interna, poca o nula versatilidad. Así las cosas, la presencia de estos pasivos intangibles y ciertas precondiciones en la organización pueden generar, diversas consecuencias, materializadas en pérdida económica.

Tabla 2. Consecuencias de los pasivos intangibles.

Consecuencias	
<b>Económico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de ahorros, inversiones, activos, negocios relacionales.</li> <li>• Reducción de flujos de efectivo y liquidez en la empresa.</li> <li>• Sobrecostos en los productos, servicios, compras y otros.</li> </ul>
<b>Personal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayores riesgos del trabajo asociados a falta de experiencia.</li> <li>• Fuga de personal clave, al cual se invirtió intensamente en capacitación.</li> <li>• Desmotivación del personal y baja productividad por conflictos de la empresa.</li> </ul>
<b>Material y de reputación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de concesiones, patentes y/o marcas.</li> <li>• Pérdida de la propiedad intelectual de productos o servicios.</li> <li>• Reducción de “clientes top”, y menor lealtad de los clientes de cuentas clave.</li> </ul>
<b>Temporal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rezago de las decisiones.</li> <li>• Pérdidas de tiempo y recursos por retrasos en decisiones de despidos, cambios de líneas de negocio, cierre de tiendas o relanzamientos, o suspensión de productos o servicios deficitarios.</li> </ul>
<b>Estratégico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de negocios, cierre de operaciones.</li> <li>• Destrucción o inhabilitación de alianzas estratégicas.</li> <li>• Ralentización de la productividad y menor eficiencia.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia, con base en instrumentos de encuesta.

La tabla 2 recopila las opiniones de entrevistas a siete evaluadores especialistas, en donde convergen acerca de los impactos asociados a la presencia del pasivo intangible y cómo éstos pueden repercutir severa y negativamente en el resultado final de las organizaciones.

Por otra parte, de acuerdo con el Brand Finance (2021)<sup>2</sup> en su reporte del Global Intangible Finance Tracker (GIFT™) [7] establece que producto del COVID-19 algunos sectores también han experimentado una disminución en la composición de intangibles desde el año pasado, lo cual afectó su modelo operativo fundamental, principalmente en las empresas dedicadas a seguros y viajes [11].

## 2. Metodología

La base de la metodología empleada para el desarrollo de la investigación hace uso de un enfoque mixto (bimodal) [19, 20], inicialmente

se usa el método cualitativo de donde se obtuvo criterios de expertos y aspectos propios de un enfoque de opinión, no con el objeto de generalizar, sino de profundizar, apoyándose para tales efectos en opiniones de especialistas en valoración, y a su vez haciendo muestreo no probabilístico, mediante el análisis de siete casos típicos.

Posteriormente, se utilizó el método cuantitativo [19, 20] dirigido al análisis, reconocimiento y clasificación de los activos y pasivos intangibles, así como su importancia en las decisiones de inversión y en la planificación de las empresas en marcha del segmento seleccionado, producto del uso del enfoque relacional de variables de este estudio [21].

Por su parte, los métodos de razonamiento lógico aplicados fueron, el analítico sistémico<sup>3</sup>, a efectos de examinar las decisiones de inversión en los activos intangibles de las empresas

<sup>2</sup> / Global Intangible Finance Tracker (GIFT™) — an annual review of the world's intangible value October 2020

<sup>3</sup> / Denominado también **enfoque de sistema**, significa que el modo de abordar los objetivos y fenómenos no puede ser aislado, sino que tiene que verse como parte de un todo.

objetivo y también evaluar los efectos de los pasivos intangibles, además se hizo uso de los métodos, deductivo e inductivo, que permitió el análisis de los resultados en la gestión de activos y pasivos intangibles realizada por las empresas del segmento logístico [22].

La presente investigación utiliza además un enfoque descriptivo, dado que busca la identificación de elementos clave que inciden en el fenómeno de las decisiones de inversión y sus efectos en la gestión de reconocimiento y registro de valoración financiera de activos y pasivos intangibles, además es explicativo, dado que busca descubrir vinculaciones entre las decisiones estratégicas de inversión y su relación multidireccional e incidencia favorable y/o desfavorable en el valor financiero y registro de intangibles.

*Fuentes Primarias:* Comunicaciones por Internet de los efectos de reputación en las empresas, sitios web, entrevistas, encuesta de investigación, registros estadísticos empresariales, normas contables NIIC, memorias de cálculo, artículos periodísticos y revistas.

*Fuentes Secundarias:* Diccionarios, cronologías, comentarios, libros de texto, bibliografía en empresas en COMEX logística, artículos de revista y diarios.

*Muestreo por conveniencia:* el cual se utiliza en este caso como la técnica de muestreo no probabilístico y no aleatorio, que permite crear muestras de acuerdo con facilidad de acceso.

Para tales efectos, se utilizan siete casos de empresas, que conforman la muestra de investigación, en un intervalo de tiempo de un mes, a saber noviembre 2021, siendo empresas del sector logístico, de más de 15 años en el mercado, las empresas elegidas son homólogas, caracterizadas por ser de tamaño mediano, poseen un número de empleados entre ellas (7-15 funcionarios), su nivel de facturación en ventas

está en el rango de (US\$105.000 +/- 18%), servicios globales, funciones y servicios aduanales similares, optimizan procesos de adquisición de productos, almacenamiento, transporte, distribución, cumpliendo las fases de procesamiento de pedidos, manejo de materiales, embalaje, transporte de productos, almacenamiento, control de inventarios, entre otros. Tanto las empresas, como demás aspectos de la investigación se desarrollaron en el Gran Área Metropolitana (GAM) octubre-diciembre del 2021.

*Método de recolección de datos:* se aplicaron tres actividades debidamente instrumentalizadas, como primer paso se procedió a la realización de una encuesta a siete gerentes de las empresas logísticas indicadas, se les aplicó una boleta de encuesta a siete valuadores expertos del área, con preguntas abiertas. Por otra parte, se aplicó un instrumento con entrevista telefónica semi estructurada a catorce funcionarios del sector, para la recolección de datos complementarios.

El levantamiento de la información en campo tanto para las entrevistas como las encuestas se efectuaron por el mismo investigador, para reducir la exposición a terceros, o incluso para no comprometer la cadena de transcripción y procesos de evaluación diferenciados con la intervención de otros participantes en esta función. Los datos se toman del subgrupo establecido como muestra dentro de la investigación.

Posteriormente, se ejecutó la tabulación de datos usando herramientas tecnológicas como el programa Microsoft Excel, además se eligió y aplicó como modelo de análisis de valoración de intangibles el Método Financiero Excedente del Margen (Baruch Lev): este método determina el valor del activo intangible, el cual considera un margen de activos tangibles y otro financiero. Para tales efectos se utilizaron los estados financieros, de los últimos tres años y se construye un flujo de efectivo, incluyendo



depreciación y los ajustes correspondientes [11].

El procedimiento técnico consiste en determinar el valor de las partidas ajustadas a la realidad con el uso del método de Valor Neto Contable Corregido (VNCC), para la actualización de los estados financieros y para construir los flujos de caja, asimismo la tasa de descuento se determina mediante el modelo de *Weighted Average Cost of Capital* (WACC), dada la presencia de endeudamiento interno (costo de oportunidad) y externo (costo financiero) presentes en cada una de las empresas consideradas en el estudio. El método matemático financiero del valor del activo intangible (VAI), corresponde al cálculo del valor promedio del Excedente del Margen priorizado (EM) a la tasa del costo medio ponderado del capital (WACC).

Para tales efectos se calculó el (Flujo Neto de Efectivo proveniente del VNCC) - (MRAT)-(MRAF). Entiéndase por el margen razonable de los activos tangibles (MRAT), al valor de los activos tangibles multiplicado por el porcentaje estimado de inversión en tangibles (7%), y el margen razonable de los activos financieros (MRAF), al valor de los activos financieros multiplicado por el porcentaje estimado de inversión en activos financieros (4.5%). Para los siete casos de estudio se utilizan los mismos porcentajes como base homogénea de

consistencia y comparabilidad. Posteriormente se obtiene el excedente del margen (EM) el cual corresponde al resultado del Flujo Neto de Efectivo menos (MRAT)-(MRAF).

Como paso adicional, se calcula el promedio del excedente del margen como aquellos excedentes del margen valorados con la siguiente escala de prioridad =  $((EM1) * (1) + (EM2) * (2) + (EM3)) * (3) / (1+2+3)$  y finalmente se divide el  $((\text{Promedio del Excedente del Margen}) / \text{WACC})$ , lo cual da como resultado el valor del activo intangible (AI).

*Análisis de datos:* Para estos efectos se utilizarán tablas de Excel, además de programas estadísticos, así como la aplicación de las reglas de asociación de datos, medidas de tendencia central y dispersión para cuantificar y agrupar referencias e identificar convergencias y/o concentraciones.

### 3.- Resultados

La investigación examinó siete empresas del sector logístico, de las cuales se extrae datos y hallazgos respecto a factores de competitividad empresarial y decisiones de inversión entre activos tangibles e intangibles.



**Figura 1.** Factores de inversión que incidieron más en la competitividad y productividad. Fuente: Elaboración propia, con base en instrumentos de encuesta.

La figura 1 muestra una convergencia hacia una marcada e intensiva perspectiva de los empresarios examinados acerca de ciertos activos tangibles (AT) que han sido esenciales en su competitividad y productividad considerados disparadores del crecimiento. En este caso, seis de siete examinados indica que las siguientes variables mostraron decisivamente una mayor relevancia: transporte, instalaciones físicas, así como inversión en maquinaria y equipo.

Por otra parte, en cuanto a los activos intangibles (AI), se muestra como seis de siete indicaron que

los de mayor relevancia e incidencia fueron: tipo y calidad de servicios, lealtad de clientes y contactos estratégicos. Además, siete de siete coincidieron que el acceso a financiamiento y el conocimiento y experiencia que es parte del capital intelectual, han sido fundamentales para impulsar la competitividad y la productividad.

Por otra parte, mediante la aplicación del modelo de valoración de intangibles denominado método financiero del excedente del margen (Baruch Lev), se registra en la tabla 1.3. que el WACC calculado para las empresas (Ex1 a Ex7) está de

acuerdo con su costo de fondeo interno y externo, oscilando en el rango de (11.2% a 14.1%). No obstante, mediante el modelo de valoración supracitado el valor del (AI) respecto al valor de la empresa está en el rango moderado bajo de (5.16% a 10.13%), por ende, el análisis de razonabilidad y asociación de datos sugiere que las empresas con mayor estabilidad de inversión en (AI) reconocen al activo intangible como decisivo en la competitividad y su valor se incrementa. Pero aun las inversiones son bajas, en gran parte explicado, por la coyuntura de pandemia en donde hubo efectos de moderación

en inversión en innovación, desarrollo e incluso rubros como capacitación.

La anterior consideración, se confirma con los datos registrados en los periodos (2019-2021) está en el rango de (2%-8%) 2019, (1%-7%)2020 y (0%-6%) 2021, con un visible descenso por el efecto pandemia, sin embargo, se recolectan en las entrevistas un reconocimiento por hacer una mayor inversión en activo intangible en los presupuestos de inversión programados para el 2022.

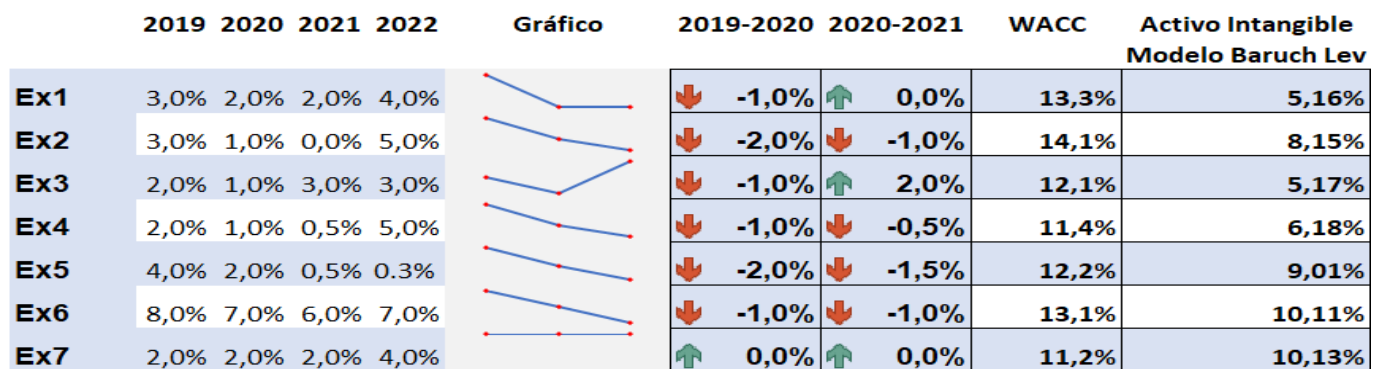


Figura 2. Factores de inversión que incidieron más en la competitividad y productividad. Fuente: Elaboración propia, con base en instrumentos de encuesta.

En la figura 2, se muestra una convergencia en seis de los siete casos de una contracción presupuestaria hacia la dedicación de recursos al activo intangible del 2019 al 2021, pero hay una tendencia de cinco de siete que esperan aumentar

la inversión en dicho rubro en el 2022, si se logra una estabilidad geopolítica en Europa y se confirma una recuperación de la economía mundial.

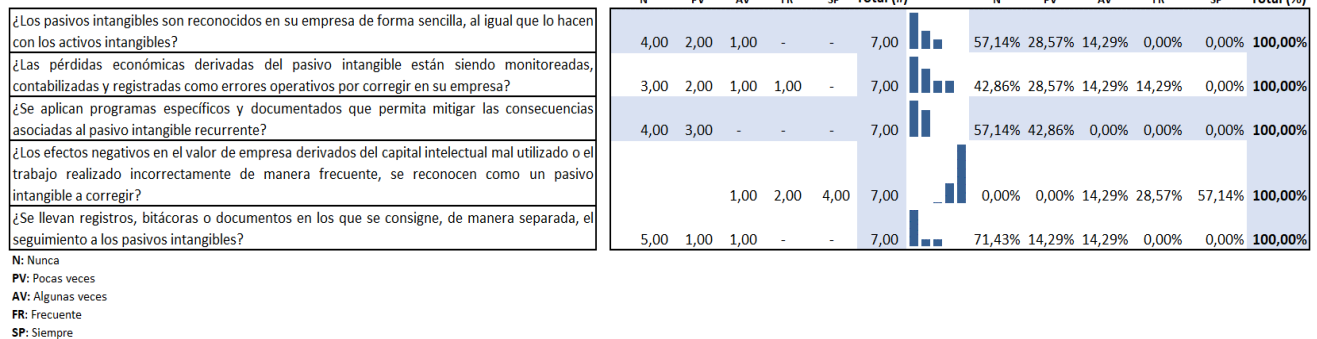


Figura 3. Gestión del Pasivo Intangible. Fuente: Elaboración propia, con base en instrumentos de encuesta.

En la tabla 1.4, se muestra como seis de siete consultados indican que nunca o pocas veces, reconocen de forma sencilla el pasivo intangible, como si lo hacen con el activo intangible. Los resultados del pasivo intangible indican no los registran con ese nombre en forma diferenciada en un auxiliar, bitácora o memoria, sin embargo, consideran importante tomarlo en cuenta e incorporarlo a la gestión de éste, para efectos de mitigarlo.

#### 4.- Conclusiones

- La selección del modelo de valoración financiera para determinar el valor de los Activos Intangibles (AI), está en función de la información disponible, depende de las pre condiciones, la perspectiva vendedora o compradora del análisis, la experiencia del examinador financiero, el sistema de acceso a datos básicamente. Por ende, se considera que no hay un modelo mejor que otro, sin embargo, algunos modelos como Interbrand, Baruch-Lev del Excedente del Margen, Luthy, Aus Consultant, poseen amplia aceptación de mercado.
- En las encuestas a expertos se determinó que al no calcularse y/o jerarquizarse los beneficios futuros provenientes de los activos intangibles, impide realizar el análisis del aporte de creación de valor y aumento de competitividad de largo plazo que proviene de ellos, lo que hace una limitante para que se realice una correcta y justificada gestión, para promover futuras decisiones de inversión en el (AI), para estimular el desarrollo, creación y proyección de la empresa para el largo plazo.
- En las encuestas a valuadores especialistas, se determinó que no reconocer los beneficios de la inversión en el activo intangible, hace que la inversión se continúe dirigiendo a activos tangibles incorrectamente al creer que de ahí emana la evolución y riqueza del negocio.
- Las decisiones de inversión de activos intangibles y la gestión de los mismos sería más activa y dinámica, si existiera una mayor claridad

de su uso en la empresa, y de su relación directa con mejoras de valor de la empresa, tales como son: asignación óptima de recursos, mejorar la visión corporativa de negocio, reductor de costos, agente dinamizador de la producción y las ventas, generador de rendimientos, mejor posicionamiento, presencia y lealtad de clientes, así como fortalecer de la posición competitiva y comercial, ubicándose entre los favoritos del mercado.

- Los activos intangibles de más fácil reconocimiento para los empresarios del sector entrevistados son: la marca, patentes, el capital intelectual, diseño y derechos de autor, no obstante, la definición puntual de otros activos intangibles es más compleja.
- Al 72% de las empresas examinadas les interesa desarrollar (AI), tales como: marca, diseños y procedimientos, identidad corporativa, cartera de clientes *premium*, valor agregado y diferenciadores para estas carteras, “*net working*” y servicios con características irrepetibles que los ubiquen en la lista de preferencias del consumidor.
- El 57% de las opiniones de expertos consultados, converge en que los pasivos intangibles han sido homologados al tratamiento de ciertos riesgos estratégicos, operativos y legales por el desconocimiento generalizado respecto al tema.
- El 50% de los empresarios encuestados, considera que los problemas asociados al no reconocimiento de los pasivos intangibles, se tradujo en graves daños, materializados en pérdidas y costos económico, derivado de: excesos de concentración, sobredimensionamiento, ausencia de destrezas, desconocimiento, falta de control y decisiones incorrectas y rezagadas, impuntualidad/retrasos, deterioro económico y desgaste estratégico, entre otros.
- Los antivalores se citaron en el 72% de los casos como pasivos intangibles, tales como: injusticia, discriminación, desigualdad, irresponsabilidad, entre otros.

- Las empresas en general no poseen personal en diversos departamentos que coadyuvan a gestionar la reducción, mitigación o erradicación específica del pasivo intangible, se sugiere implementar la Unidad de Inteligencia de Servicios Intangible (UISI), para dicha función.
- Cuando el (AI) deja de crear valor añadido a la empresa, o beneficios, podrían ser un signo de un intangible parcial o plenamente amortizado, comprometiendo su funcionalidad, por lo cual debe, reconvertirse, cambiarse o discontinuarse.
- En el 43% de los funcionarios del sector encuestados, le adjudicó a los activos intangibles la capacidad para: incrementar de manera sostenida y de largo plazo las ventas, aumentar la productividad, generar ahorro, reducir costes, agregar valor, aumentar la presencia, posicionamiento, y hacer ganar valor a la localización del negocio, al producto o servicio, proceso, diseño y a la marca, impulsando una mejor competitividad sostenida de largo plazo, entendiendo que una buena marca hace que los clientes puedan estar dispuestos a pagar más y muchas veces más dinero en algunos casos por un bien o servicio en la economía.
- El 64% funcionarios del sector encuestados, consideraron que aquellas decisiones humanas continuamente desacertadas, destruyen el valor de las empresas, perdiendo competitividad y producción, y llevan a desaciertos frecuentes, son consecuencia de pasivos intangibles (PI), en algunos casos decisiones simultáneas y extremas aumentan el daño notablemente.
- Es aconsejable que los métodos de valoración y los indicadores seleccionados estén en apego a la realidad empresarial de cada sector, debido a sus diferencias y particularidades, así como contar con una periodicidad determinada de valoración, para dar seguimiento a la evolución y trazabilidad de los resultados.

## Referencias

- [1] H. Coronado. “Análisis de sectores empresariales y portafolios de inversión tradicionales”. FUDECI. San José, Costa Rica, 2020 pp. 18-37
- [2] C. Álvarez. “Hacia un Nuevo Modelo de Valoración de Intangibles”, Tesis Documentos de Estrategia, Corporate Excellence, Universitat Jaume I, Castellón España.
- [3] Kaizen Capital. “¿Qué es el Good Will? ¿Qué es el fondo de Comercio?” <https://compraventaempresasgk.com/good-will/?msclkid=388a7c56cfd511ec9ea3f6173917c827>, Ene. 29, 2021. [Set.29, 2021].
- [4] Las Normas NIIF (2020, Ene.). *IFRS Foundation Publications Department, United Kingdom*. [On-line]. Available: <https://normasinternacionalesdecontabilidad.es/normas-internacionales/> [Set.26, 2021]
- [5] Departamento de Publicaciones IFRS *Las Normas NIIF, ilustradas, United Kingdom, London: IFRS Foundation, 2021 NIC 38, pp A1893.*
- [6] G. Bannock, *Diccionario de Economía*. 2da Edición. México, D.F. Editorial Trillas S.A, 1995, pp. 34.
- [7] Brand Finance, (2020, Oct.). *Global Intangible Finance Tracker (GIFT)*. [On-line]. Available: <https://brandirectory.com/download-report/brand-finance-GIFT-2020.pdf> [Set. 10, 2021].
- [8] C. Juárez “¿Cuáles serán las tendencias en las empresas del futuro”? *Internet: https://thelogisticsworld.com/tecnologia/cuales-seran-las-tendencias-en-las-empresas-del-futuro/* Feb. 22, 2021 [Set.29, 2021]

- [9] C. Canals. "Intangibles: la nueva versión en la era del conocimiento". Internet: <https://www.caixabankresearch.com/es/economia-y-mercados/actividad-y-crecimiento/intangibles-nueva-inversion-era-del-conocimiento>, Nov. 10, 2014 [Dic.20, 2021].
- [10] J. Aznar, Cayo, T., A. López, *Valoración de Intangibles Marcas y Patentes, Métodos y Casos*, España: Editorial Ardiles, 2017, pp. 55-73
- [11] P. Fernández *Valoración de Marcas y Patentes. Documento de Investigación DI n 686, IESE Business School*, España: Universidad de Navarra, 2007 pp. 10-28.
- [12] D. Andriensen, "IC valuation and measurement: classifying the state of art", *Journal of intellectual capital*, vol 5, Num 2; pp. 220-245, 2004. <https://doi.org/10.1108/14691930410533669>.
- [13] I. Caddy. "Intellectual capital, recognizing, both assess and liabilities", *Journal of intellectual Capital*. 1822), 2000 pp. 129-146. <https://doi.org/10.1108/14691930010377469>.
- [14] H. Suarez. "Reconocimiento, medición contable, y presentación de los estados financieros del capital intelectual, *Revista Venezolana de Gerencia*, vol. 22, núm. 79, Venezuela: Universidad de Zulia, 2017. pp. 16-31. <https://doi.org/10.31876/revista.v22i79.23033>
- [15] J. Marín, Ketelhohn, W. *Inversiones: Análisis de Inversiones Estratégicas*. Bogotá, Colombia: Grupo Editorial Norma, 2004 pp. 35-56.
- [16] J. Marín, W. Ketelhohn. "Inversiones Estratégicas: Un Enfoque Multidimensional". Escazú, Costa Rica: 6ta Edición, Asociación Libro Libre, 1995, pp. 151-165
- [17] A. Salvador, "Elementos que conforman los pasivos intangibles en una empresa mexicana" México: División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria; México D.F., 2012. pp. 1-15. [https://kipdf.com/elementos-que-conforman-los-pasivos-intangibles-en-una-empresa-mexicana\\_5ab7b2ac1723dd429c762475.html](https://kipdf.com/elementos-que-conforman-los-pasivos-intangibles-en-una-empresa-mexicana_5ab7b2ac1723dd429c762475.html)
- [18] M. García. *Intangibles: Activos y Pasivos, Intangible Capital*. ORG, <https://www.redalyc.org/pdf/549/54900106.pdf>
- [19] R. Hernández, M. Baptista, y C. Fernández, "Metodología de la investigación" (Hernández Sampieri, Ed.) Mc Graw Hill, 2014. pp. 130-330.
- [20] H. Sampieri, R., F. Collado, C., & P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación* (6a. ed.), México D.F: McGraw-Hil, 2014. 2010. pp. 63-106
- [21] R. Barrantes, *Investigación, Un camino al conocimiento, Un Enfoque Cualitativo, Cuantitativo, Mixto*. Editorial EUNED. San José, Costa Rica, 2014. pp. 25-36.
- [22] D. De Freitas y C. Sandra. "Valoración de activos intangibles basados en la metodología de opciones reales para evaluar inversiones tecnológicas, Colombia". *Actualidad Contable FACES*, [S.l.], n. 42, p. 36-94, jun. 2021. ISSN 2244-8772. Disponible en: <https://doi.org/10.53766/ACCON/2021.42.02>

Derechos de Autor (c) 2022 Harold Coronado Coronado



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](#)