

POTENCIAL PRODUCTIVO AGRÍCOLA Y MODELACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL PAPALOAPAN

AGRICULTURAL PRODUCTION POTENTIAL AND MODELING OF CLIMATE CHANGE IN THE PAPALOAPAN BASIN

Ariadna Isabel **Barrera-Rodríguez**¹; Adán Guillermo **Ramírez-García**²; Elvia Nereyda **Rodríguez-Sauceda**³ y Anastacio **Espejel-García**^{4*}

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue realizar una propuesta de uso potencial del suelo y la proyección de escenarios de cambio climático en la cuenca Papaloapan, utilizando la técnica de análisis multicriterio y multiobjetivo para generar aptitudes potenciales en la cuenca. A partir de la aptitud mayor se generaron los escenarios usando la metodología para Máxima Entropía. Se delimitó la región hidrológica a través de material cartográfico y se obtuvo información climática de las estaciones meteorológicas, la información geográfica y bases de datos se recolectaron de fuentes secundarias oficiales, la información

se procesó en el programa ArcGIS versión 10.2.2, para obtener las geodatabases y matrices geoespaciales que sirvieron de insumo cartográfico para el análisis multicriterio. Con base en las matrices geoespaciales y datos vectoriales se generaron datos ráster, mismos que se emplearon en la modelación con algoritmos geo estadísticos y a partir de un lenguaje estructurado se identificaron las zonas potenciales. El resultado de la modelación respecto a la aptitud del suelo generó dos clases con seis niveles de aptitud: tierras para cultivos básicos y para el cultivo de especies de

¹ Profesor Investigador Universidad Autónoma Chapingo, México, Texcoco. <https://orcid.org/0000-0001-7352-109>. abarrerar@chapingo.mx

² Profesor Investigador Universidad Autónoma Chapingo México, Ciudad Obregón. <http://orcid.org/0000-0002-1711-5942>. gramirezg@taurus.chapingo.mx

³ Profesor Investigador Universidad Autónoma Indígena de México, México, Los Mochis. <https://orcid.org/0000-0002-5672-664X>. elviaro@uaim.edu.mx

⁴ Profesor Investigador Universidad Autónoma Chapingo, México, Texcoco. <https://orcid.org/0000-0002-6462-6681>. aespejelg@chapingo.mx. *Autor de correspondencia

importancia industrial y dos escenarios de cambio climático, actual y futuro.

Palabras clave: aptitud, máxima entropía, ponderación, zonificación agroecológica.

Abstract

The objective of this work was to make a proposal for potential land use and the projection of climate change scenarios in the Papaloapan basin, using the multi-criteria and multi-objective analysis technique to generate potential capabilities in the basin. From the greatest aptitude, the scenarios were generated using the methodology for Maximum Entropy. The hydrological region was delimited through cartographic material and climatic information was obtained from meteorological stations, geographic

information and databases were collected from official secondary sources, the information was processed in the ArcGIS version 10.2.2 program, to obtain the geodatabases and geospatial matrices that served as cartographic input for the multi-criteria analysis. Based on the geospatial matrices and vector data, raster data were generated, which were used in the modeling with geo-statistical algorithms and potential zones were identified from a structured language. The result of the modeling regarding the suitability of the soil generated two classes with six levels of suitability: land for basic crops and for the cultivation of species of industrial importance and two climate change scenarios, current and future.

Key words: aptitude, maximum entropy, weighing, agroecological zoning.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una modificación en los patrones generales de circulación de la atmósfera que provocan alteración de los ciclos naturales y los patrones climáticos del planeta y cuyos efectos escalan sobre territorios, la sociedad y las actividades socioeconómicas y es, actualmente, uno de los retos más importantes que enfrenta la humanidad (Piña, 2019). La agricultura, como actividad prioritaria para el ser humano, no escapa del fenómeno y es considerado uno de los sectores más vulnerables y urge tomar medidas de para hacer frente a un escenario de escasez de agua, incremento en la temperatura global, afectaciones a la biodiversidad local y global, efectos que traerán consigo alteraciones en la producción de alimentos para las familias (Lozano, Álvarez y Moggiano, 2021).

Aunado a lo anterior, algunos efectos secundarios del cambio climático serán la aparición de insectos que alteran los ciclos productivos y rendimientos de los cultivos, crecimiento de las malezas, disminución de los rendimientos y disminución de la oferta de alimentos alterando la seguridad alimentaria de la población mundial (Herrera, 2020). En orden de minimizar los efectos del cambio climático, los expertos señalan que algunas acciones de mitigación y adaptación se deben impulsar desde la política pública y las organizaciones de la sociedad civil (Prosser, et al., 2021) y se proponen realizar estudios a diferentes escalas espaciales (Pereira, 2017). Sin embargo, antes de siquiera pensar en proyectar

acciones de mitigación y adaptación entre la sociedad es necesario realizar una evaluación de la vulnerabilidad y vitalidad de los sistemas humanos y biológicos.

La evaluación, de acuerdo con Nuñez, et al. (2018) incluye tres fases: diagnóstico, modelo conceptual y validación; el diagnóstico reconoce la importancia, la magnitud del problema y la sensibilidad de los sistemas humanos y la influencia en la naturaleza ante los cambios por venir; el modelo conceptual parte del conocimiento teórico existente y de las experiencias del entorno reconociendo las identidades de las regiones (Martínez-Salgado, et al. 2020); y, finalmente, la validación es poner en práctica los modelos teóricos ante escenarios de impactos y determinar la eficiencia en dichas regiones para proponer soluciones con alcance espacial más abarcativo.

El termino de agricultura sustentable se conceptualiza como un sistema productivo de alimentos que debe garantizar una manutención en el largo plazo en el uso de recursos naturales y de la productividad agrícola (Bezerra y Veiga, 2000). Ehlers (1996) sostiene que la agricultura es un conjunto de prácticas agrícolas con un método y con un objetivo, que pueden ser alcanzados con distintas técnicas cuando se agregan a un ambiente con características agroecológicas idóneas; Bezerra y Veiga (2000) consideran que las actividades agrícolas para ser sustentables, deben proporcionar impactos mínimos al ambiente y obtener una producción adecuada de alimentos con los recursos naturales disponibles en el ecosistema. Para obtener buenas cosechas solo debe ser considerado un soporte máximo de producción y un uso adecuado de la tierra, como primer paso a la productividad (Manzatto, 2002).

El uso inadecuado de los suelos ha ocasionado una disminución de la fertilidad hasta en el 80% del territorio nacional; 29 de las 37 regiones hidrológicas del país sufren efectos acumulados de contaminación provocando la reducción de la productividad del suelo causado por el manejo inadecuado de los recursos naturales, los cuales difícilmente podrán ser recuperados en el corto plazo. Como estrategia nacional se busca un equilibrio global y regional entre los objetivos económicos, sociales y ambientales de forma tal que se logren contener los procesos de deterioro ambiental, tomando en cuenta que el desarrollo sea compatible con las aptitudes y capacidades ambientales de cada región; aprovechando de manera sustentable todos los recursos naturales disponibles como condición básica para la superación de la pobreza, cuidado del ambiente y de los recursos naturales (Política Ambiental para un crecimiento Sustentable, 2005).

Estudios recientes sobre calidad de suelos, buscan establecer indicadores de productividad y conservación midiendo por separado propiedades biológicas, físicas y químicas. Con la visión integral, el análisis del potencial productivo de la cuenca se basa en modelos sintéticos y analíticos que permiten sectorizar áreas con fertilidad potencial (Zúñiga *et al.*, 2009).

La modelación de la aptitud para el uso de la tierra es el primer paso para una planeación sustentable del aprovechamiento de los recursos de las cuencas hidrológicas, ya que al utilizar el suelo de acuerdo con su aptitud potencial permite alcanzar el mayor equilibrio entre los factores ambientales, económicos y sociales (Young, 1995). El análisis de la distribución espacial de las propiedades del suelo es fundamental para un manejo adecuado de la tierra; existen varias metodologías para la clasificación de la aptitud, siendo la de Zonificación Agroecológica (FAO, 1977), retomando a Santiago (2005) el instrumento metodológico rector y más completo. La clasificación de tierras no determina por sí sola los cambios que deberán adoptarse en el uso de la tierra, sin embargo, brinda los datos a partir de los cuales se llega a la toma de decisiones y su eficiencia se muestra en los resultados de clasificación de la aptitud potencial del uso del suelo. Se ha comprobado que los mapas pueden proporcionar indicadores para las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, para grupos de agricultores e investigadores, sobre las prácticas adecuadas para la experimentación y modelación (Doorman, 1991).

Los SIG permiten coleccionar, actualizar, almacenar, analizar, desplegar y distribuir datos espaciales e información, que finalmente se presentan en formato tabular y en mapa, generando cálculos con una mayor precisión y confiabilidad (Bolstad, 2005). Aunque existe una metodología ya definida mediante la cual se determina el nivel de aptitud de la cuenca y se definen las zonas de uso potencial agrícola, no existe una ponderación universal, siendo así que en la asignación de las calificaciones o ponderaciones de las variables influye la experiencia y el sustento/revisión bibliográfica de investigador, de ahí parte la calidad de las matrices de ponderación. A partir de este planteamiento el objetivo de esta investigación fue utilizar los SIG como apoyo para la estimación del potencial del suelo y evaluar el efecto del cambio climático sobre el ecosistema en municipios seleccionados de la cuenca Papaloapan. El modelado del nicho ecológico es un instrumento que permite analizar los factores ecológicos asociados a distintas poblaciones de determinada especie, Martínez, (2010); se utiliza para predecir áreas de distribución de las especies, (Martínez, 2012). Los modelos de distribución son de esencial importancia para la evaluación del efecto del cambio climático sobre las especies y ecosistemas (Dormann, 2007) y generar un plan de manejo e identificar las acciones que se deben realizar para el uso eficiente de los recursos naturales.

Definición de variables

Se consideraron once variables para la modelación del potencial: Periodo de crecimiento, Temperatura, Precipitación, Suelo, Textura, Altitud, Pendiente, Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Materia orgánica y concentración de iones hidrogeno en el suelo (Ph). Los datos meteorológicos se extrajeron del software Eric III (Extractor Rápido de Información Climática) en su versión 3.2. En la cuenca Papaloapan se tienen 296 estaciones meteorológicas Figura 3, solo 192 cumplieron con los datos históricos (2003-2013).



Figura 3. Ubicaciones de las estaciones meteorológicas.

Con el cálculo y simplificación de datos, se obtuvieron los siguientes insumos:

Temperatura media anual (°C). Son valores que se obtienen a partir del promedio de las temperaturas medias registradas en cada uno de los doce meses del año, Figura 3.

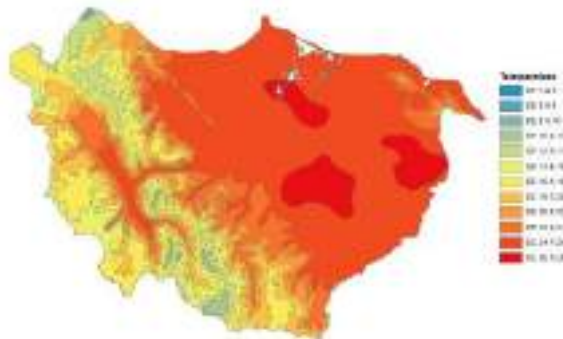


Figura 4. Temperatura media anual de la cuenca Papaloapan.

Precipitación anual en mm (Isoyetas). Se obtuvieron al calcular la precipitación promedio en cuenca, analizando las series de datos disponibles, se realizó por el método de isoyetas la cual proporciona una distribución discontinua de la lluvia sobre la cuenca y considera una distribución homogénea dentro de cada polígono, Figura 5. El valor de la precipitación anual en la cuenca, se obtuvo a partir de la siguiente expresión.

$$D = \frac{\sum_i^n a_i \cdot D_i}{A}$$

Donde:

a_i = área entre cada dos isoyetas

D_i = promedio de precipitación entre dos isoyetas

En esto se basa para ponderar el valor de la variable climática en cada estación en función de un área de influencia.



Figura 5. Precipitación anual de la cuenca Papaloapan.

Edafológica, escala 1:1'000'000. Son datos que determinan las propiedades del suelo y que de acuerdo a los grupos de cultivos de interés reciben diferente nivel de importancia: Profundidad (cm) los pesos están en función del movimiento radicular; suelo dominante (Fase /Descripción) los pesos están en base al uso deseado y Textura (Arcillas, Limos y Arenas) están en función de la capacidad del ciclaje de nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico ponderado con respecto al óptimo de cada cultivo.

Modelo de Elevación Digital (DEM), tamaño de celda = 50; de CONABIO, escala 1:1'000'000 para determinar mediante el software ArcGIS dos parámetros: Altitud y Pendientes (%) que en conjunto dan la condición actual de ladera, Figura 7.



Figura 6. Mapa de altitud de la cuenca Papaloapan (msnm).



Figura 7. Mapa de pendientes (%).

Perfiles de suelo para determinar los parámetros a través de análisis geo estadístico: a) Nitrógeno (N), b) Fosforo (P), c) Potasio (K), d) Materia Orgánica (MO), y e) Potencial Hidrogeno (pH), siendo los primeros 4 determinados en Kg/ha a través del método de interpolación IDW (Interpolación mediante distancia inversa) con la ayuda del software ArcGIS 10.2.2, como se muestra en la Figura 7.

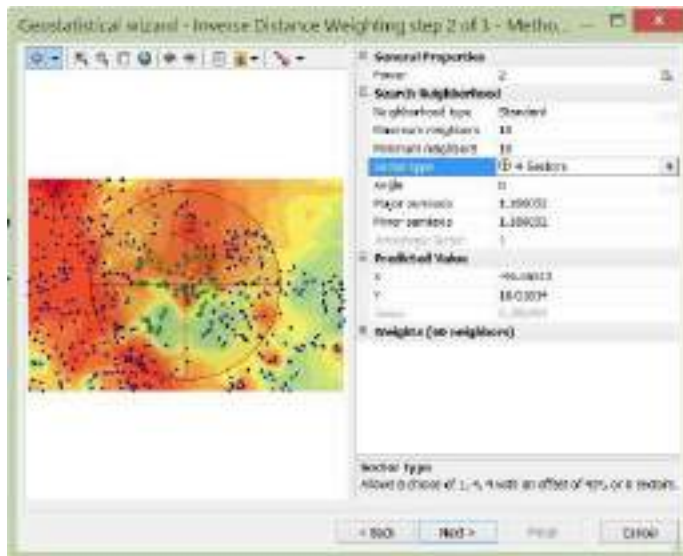


Figura 8. Interfaz de interpolación de los parámetros en ArcGIS 10.2.2.

Los requerimientos agroecológicos de los cultivos se determinaron en función de las fichas técnicas de INIFAP, para Cultivos Básicos y Uso Industrial.

Análisis multicriterio y multiobjetivo

Con el uso de la técnica multicriterio se generaron matrices de ponderación utilizando el método de Scoring (Roche y Vejo, 1998), el cual simplifica la asignación de ponderación, identificando de manera sencilla la alternativa preferible, utilizando una escala de 5 a 0, generando así 6 niveles de aptitud: Muy apto (80-100%), Apto (60-80%), Moderadamente apto (40-60%), Poco apto (20-40%), Muy poco apto (5-20%) y No Apto (0-5%), donde cinco es el nivel mayor de aptitud (Muy apto) y cero identifica el nivel mínimo (No apto). Este procedimiento se aplicó a las once variables, y se generaron matrices para las dos clases de cultivos propuestas, las cuales se muestran en las Tablas 1 y 2.

Se utilizó la metodología de FAO (1977), la cual propone para definir zonas con alto potencial productivo, con base en combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos, edáficos y manejo bajo los que éstos se desarrollan. Cada zona (clase) tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras (Calderón, 2015). Se construyeron las matrices de ponderación y se dividieron las once variables en tres categorías: agronómicas y nutrimentales, edafológicas y climáticas, con la finalidad de resaltar los atributos con los que se trabajaría la modelación para estimar el potencial productivo.

Tabla 1. Matriz de ponderaciones para determinación de zonas agrícolas con potencial para cultivos básicos

Variables Agronómicas/Nutrimentales									
N		P		K		Materia orgánica		Ph	
Kg/ha	Peso	Kg/ha	Peso	Kg/ha	Peso	%	Peso	Peso	Peso
>283	5	>125	5	>291	5	<0.6	0	<4.6	1
226.4-283	4	100-125	4	232.8-291	4	.6-1.2	1	5.0-6	3
169.8-226.4	3	75-100	3	174.6-232.8	3	1.2-1.8	2	6--6.8	4
113.2-169.8	2	50-75	2	116.4-174.6	2	1.8-2.4	3	6.8-7.2	5

56.6-113.2	1	25-50	1	58.2-116.4	1	2.4-3	4	7.2-7.7	3
<56.6	0	<25	0	<58.2	0	>4.2	5	>9.4	0

Variables Edafológicas

Suelo		Textura		Altitud		Pendiente	
Tipo	Peso	Tipo	Peso	Msnm	Peso	%	Peso
Fluvisol	5	Arcillas	4	0-1000	5	>100	0
Luvisol	4	Limos	5	1000-1500	5	75-100	1
Andosol	3	Arenas	3	1500-2000	5	35-75	2
Rendzina	2			2000-2500	5	20-35	3
Regosol	1			2500-3000	4	10.0-20	4
Gleysol	0			>3000	3	<10	5

Variables Climáticas

Periodo de crecimiento		Temperatura		Precipitación	
Rango	Peso	Rango	Peso	Rango	Peso
240-180	5	27-30	4	2500-3000	1
180-150	4	20-27	5	2000-2500	2
150-120	3	18-20	3	1500-2000	5
120-90	2	15-18	2	1000-1500	4
90-60	1	10.0-15	1	1000-500	3
<60	0	<10	0	>500	0

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se asignaron ponderaciones a las variables, dependiendo de la clase de aptitud a trabajar. Para la ponderación de las zonas con aptitud potencial en cultivos básicos, se agruparon los requerimientos del maíz, frijol, cebada, trigo, avena y sorgo, para generar la matriz que detectara las zonas potenciales para los estos cultivos.

Tabla 2. Matriz de ponderaciones para determinación de zonas agrícolas con potencial para cultivos de importancia industrial

Variables Agronómicas/Nutrimientales									
N		P		K		Materia orgánica		Ph	
Kg/ha	Peso	Kg/ha	Peso	Kg/ha	Peso	%	Peso	Peso	Peso
>375	5	>100	5	>600	5	<0.6	0	<4.6	1
260-325	4	80-100	4	480-600	4	.6-1.2	1	5.0-6	3
195-260	3	60-80	3	360-480	3	1.2-1.8	2	6--6.8	4
130-195	2	40-60	2	240-360	2	1.8-2.4	3	6.8-7.2	5
65-130	1	20-40	1	120-240	1	2.4-3	4	7.2-7.7	3
<65	0	<20	0	<120	0	>4.2	5	>9.4	0
Variables Edafológicas									
Suelo		Textura		Altitud		Pendiente			
Tipo	Peso	Tipo	Peso	Msnm	Peso	%	Peso		
Fluvisol	5	Arcillas	4	0-1000	5	>100	0		
Luvisol	4	Limos	5	1000-1500	4	75-100	1		
Planosol	3	Arenas	3	1500-2000	5	35-75	2		
Rendzina	2			2000-2500	3	20-35	3		
Regosol	1			2500-3000	2	10.0-20	4		
Gleysol	0			>3000	1	<10	5		
Variables Climáticas									
Periodo de crecimiento		Temperatura		Precipitación					
Rango	Peso	Rango	Peso	Rango	Peso				
240-180	3	27-30	5	2500-3000	3				
180-150	4	20-27	4	2000-2500	4				
150-120	5	18-20	3	1500-2000	5				
120-90	3	15-18	2	1000-1500	4				

90-60	2	10.0-15	1	1000-500	2
<60	1	<10	0	>500	1

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la elaboración de la matriz de ponderación para cultivos de importancia industrial se agruparon los requerimientos del café, caña de azúcar, algodón, té, tabaco y stevia, determinando las zonas potencialmente aptas para su producción dentro de la cuenca Papaloapan. Una vez generados los insumos para la modelación de las cuatro clases de cultivos propuestas, se continuo con el procesamiento de los datos en el software especializado ArcGIS 10.2.2, para la elaboración de mapas, Tabla 2.

Modelación de escenarios de Cambio Climático con Máxima Entropía (MAXENT)

Para la modelación espacial de los escenarios tendenciales se utilizaron datos bioclimáticos y se procesaron en el software MAXENT¹. Los datos fueron obtenidos del sitio web WorldClim, 2015. Para este proyecto solos se utilizaron las capas de las categorías “Current” y “Future” para la modelación de escenarios de cambio climático del territorio, el software cuenta con 19 variables disponibles, las cuales están definidas de siguiente manera (UNIATMOS, 2015):

BIO1. Temperatura Media Anual (°C) = $\frac{\sum_{i=1}^{12} tmax_i + \sum_{i=1}^{12} tmin_i}{2}$, en cada estación meteorológica.

BIO2. Temperatura Diurna = $\frac{\sum_{i=1}^{12} tmax_i}{12} - \frac{\sum_{i=1}^{12} tmin_i}{12}$, en cada estación meteorológica.

BIO3. Isotermas) = $\left(\frac{\text{Rango de Temperatura Diurna}}{\text{Rango de Temperatura anual}} \right) 100$, en cada estación meteorológica.

BIO4. Temperatura Estacional = ${}^2\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (tmed_1 - \overline{tmed})^2}{N}} \cdot 100$, en cada estación meteorológica

BIO5. Temperatura Máxima del mes más Cálido (°C) = De las 12 climatologías mensuales de temperatura máxima, se elige el valor más alto por estación meteorológica.

BIO6. Temperatura Mínima del mes más Frio (°C) = De las 12 climatologías mensuales de temperatura mínima, se elige el valor más bajo por estación

¹ MAXENT (por sus siglas en inglés Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions) es la Modelación de Máxima Entropía de la Distribución Geográfica de Especies.

² σ = Desviación Estándar de la Temperatura Media Mensual

BIO7. Rango de Temperatura Anual ($^{\circ}\text{C}$) = Temperatura máxima del mes más cálido - Temperatura mínima del mes más frío, en cada estación meteorológica.

BIO8. Temperatura Media del Trimestre más Húmedo ($^{\circ}\text{C}$) = $\frac{T_{max_1} + T_{max_2} + T_{max_3}}{3} + \frac{T_{min_1} + T_{min_2} + T_{min_3}}{3} / 2$, en cada estación meteorológica.

BIO9. Temperatura Media del Trimestre más Seco ($^{\circ}\text{C}$) = $\frac{T_{max_1} + T_{max_2} + T_{max_3}}{3} + \frac{T_{min_1} + T_{min_2} + T_{min_3}}{3} / 2$, en cada estación meteorológica.

BIO10. Temperatura Media del Trimestre más Cálido ($^{\circ}\text{C}$) = $\frac{T_{max_1} + T_{max_2} + T_{max_3}}{3} + \frac{T_{min_1} + T_{min_2} + T_{min_3}}{3} / 2$, en cada estación meteorológica.

BIO11. Temperatura Media del Trimestre más Frío ($^{\circ}\text{C}$) = $\frac{T_{max_1} + T_{max_2} + T_{max_3}}{3} + \frac{T_{min_1} + T_{min_2} + T_{min_3}}{3} / 2$, en cada estación meteorológica.

BIO12. Precipitación Anual (mm) = $\sum_1^{12} prec_i$, en cada estación meteorológica.

BIO13 = Precipitación del mes más Húmedo (mm) = De las 12 climatologías mensuales de precipitación, se elige el valor más alto por estación meteorológica.

BIO14 = Precipitación del mes más Seco (mm) = De las 12 climatologías mensuales de precipitación, se elige el valor más bajo por estación meteorológica.

BIO15 = Precipitación Estacional (Coeficiente de Variación) = $\left(\frac{^3\sigma (prec_1, \dots, prec_{12}) * 100}{1 + (\sum_1^{12} prec_i / 12)} \right)$

BIO16 = Precipitación del Trimestre más Húmedo (mm) = $prec_1 + prec_2 + prec_3$, en cada estación meteorológica

BIO17 = Precipitación del Trimestre más Seco (mm) = $prec_1 + prec_2 + prec_3$, en cada estación meteorológica

BIO18 = Precipitación del Trimestre más Cálido (mm) = $prec_1 + prec_2 + prec_3$, en cada estación meteorológica

BIO19 = Precipitación del Trimestre más Frío (mm) = $prec_1 + prec_2 + prec_3$, en cada estación meteorológica

Con estas capas (BIO1, BIO2, ..., BIO19) de información se generaron los mapas y se realizó la modelación con el Software ArcGIS versión 10.2.2 donde se trabajaron los archivos y se desplegaron las coberturas en formato Raster para poder efectuar las proyecciones y transformaciones necesarias para la obtención de los escenarios de cambio climático actuales y futuros para la aptitud potencial de cultivos básicos y de importancia industrial, Figura 9.

³ σ = Desviación Estándar de la Precipitación Media Mensual



Figura 9. Cobertura Global (Ej. BIO 1. Temperatura Media Anual) de BIOCLIM.

Posteriormente se cortaron todas las coberturas Raster con el fin de minimizar tamaño de los archivos y su extensión también se minimizó el proceso de modelado dentro del software MAXENT, se realizó la extracción del área correspondiente a la cuenca Papaloapan, debido a que las coberturas de BIOCLIM se presentan a escala global, Figura 10.

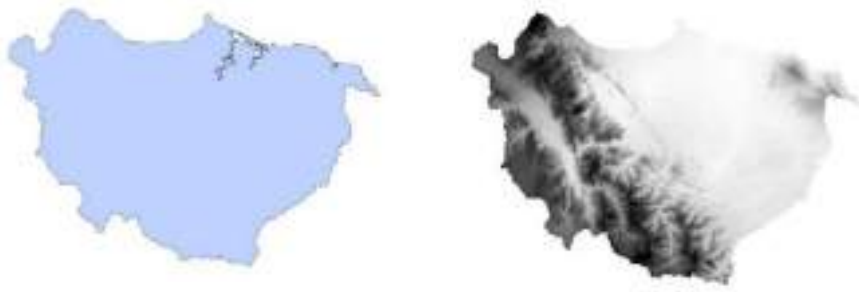


Figura 10. Shapefile para corte, y salida en formato ASCII⁴ de la Temperatura Media Anual.

Se realizó la conversión del Raster tipo grid hacia el Raster en formato de texto ASCII. Se realizó la conversión para los archivos de Precipitación y Temperatura en las categorías PRESENTE y FUTURO. Teniendo el archivo en

⁴ ASCII (por sus siglas en inglés American Standard Code for Information Interchange) es el Código Estadounidense para el Intercambio de información

formato ASCII de la cuenca se procedió a preparar los puntos a los cuales se les realizó el modelo de distribución, Figura 10.



Figura 11. Potencial más alto y puntos georreferenciados generados.

Modelación de variables en MAXENT para obtener escenarios de distribución actuales y futuros de Cambio Climático

Para el modelado de distribución de especies se consideraron dos fuentes de entrada de datos para la generación de modelos de distribución basados en nichos, presencia/ausencia de la especie o sólo la presencia de datos y un conjunto de variables ambientales relevantes (Cruz, *et al.*, 2014), en esta investigación se utilizaron las variables obtenidas de la plataforma WorldClim para generar escenarios de distribución de especies frente al Cambio Climático. Así como las aptitudes potenciales para cultivos básicos y de importancia industrial en la cuenca Papaloapan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mapas del potencial agrícola resultantes de la cuenca Papaloapan se presentan en las Figuras 11 y 14, mientras que sus escenarios de cambio climático se muestran en las figuras 12, 15 (actual) y 13, 16 (Futuro).

Cultivos básicos

La modelación multicriterio generada con el programa ArcGIS 10.2.2 registró que la cuenca presenta tres niveles de aptitud (apto, moderadamente apto y muy

poco apto) lo cual significa que en esta cuenca existen condiciones idóneas para obtener un porcentaje de producción correspondiente al 80%, 60% y 20% respectivamente. El potencial **apto** se encuentra en zonas de la región oeste y algunas de la región sur de la cuenca en donde existen pendientes no mayores a 10%, los suelos dominantes son ricos en nutrientes como el Ca, Mg, P, K y N y en materia orgánica, el color de suelo es oscuro y su profundidad promedio es de 50 centímetros. La mayor superficie con potencial apta para el cultivo de granos básicos se encuentra ubicada desde la franja formada en la región centro-nordeste de la cuenca de estudio, el total de superficie con esta aptitud es del 30.2%.

El potencial considerado como moderadamente apto se encuentra distribuido prácticamente por toda la superficie de la cuenca, siendo esta categoría la de mayor superficie, se ubica en zonas donde las pendientes son mayores a un 20% de inclinación del terreno y los suelos dominantes son muy delgados, menores a 10 cm en general, la fertilidad de esta zona es limitada en nutrientes y con alta presencia de carbonatos, en las zonas más secas el pH tiende a la alcalinidad, mientras en los sitios de mayor altitud se pueden encontrar suelos ácidos por efecto de las lluvias con gran cantidad de oxidación de nutrientes, el color del suelo es claro y rojizo, donde la arcilla se ha depositado en los estratos del subsuelo (INEGI, 2004), la distribución de esta clase de potencial se extiende en dos zonas, la primera en la parte norte-este de la cuenca y la segunda en la parte centro-oeste-sur, justo entre las dos zonas de la potencialidad apta, la superficie total corresponde a un extensión del 69.3%.

El potencial muy poco apto se ubica en la parte centro sur y centro sureste de la cuenca, también se encuentra en algunas zonas al norte y al este de la cuenca, en menor proporción. Las limitaciones de impulsar zonas aptas para agricultura de cultivos básicos en este lugar son básicamente que los terrenos se encuentran en zonas con pendientes pronunciadas, donde el valor mínimo es de 75%, lo cual no permite la adopción de maquinaria, los suelos de esta zonas son, aunque profundos (hasta 120 cm), presentan fertilidad baja de acuerdo al INEGI (2004) por lo cual los rendimientos pueden ser de bajos a moderados, la precipitación que corresponde a esta área fluctúa entre los 2000 mm y 2500 mm anuales, la disposición de humedad del suelo va de los 90 a los 120 días, como consecuencia de las temperaturas dominantes en estas zonas de la cuenca hacen mínima la posibilidad de establecer cultivos básicos, la cual oscila entre los 10°C y 15°C, la superficie total que corresponde a este potencial es de 0.5%, Figura 11.

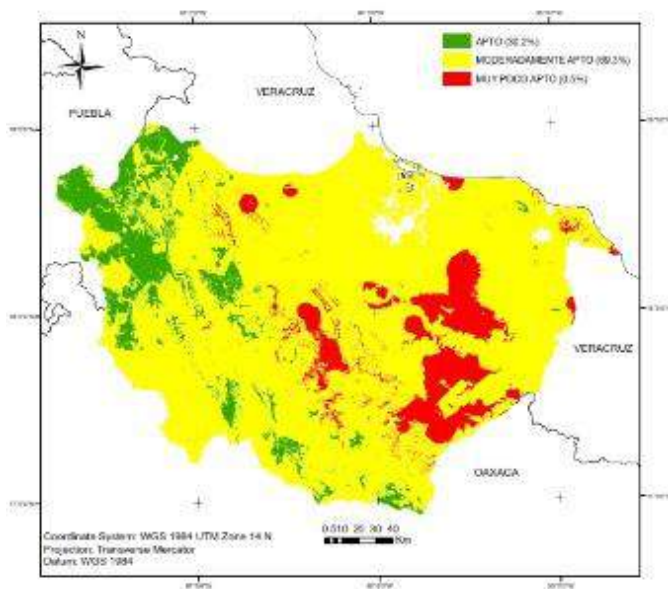


Figura 11. Mapa de zonas con potencial de aptitud para establecimiento de cultivos básicos.

Para las zonas potenciales en cultivos básicos, se modeló la mayor aptitud para el establecimiento de cultivos básicos que representa el 30.2% de la cuenca; con la transformación de las zonas a puntos, con el software MAXENT se modelaron estos puntos para identificar condiciones (climáticas) y generar coincidencias para delimitar zonas potenciales en modelos de cambio climático actuales y proyectadas a 50 años y generar una aproximación al comportamiento que tendrán estas zonas en un futuro y así apoyar el proceso de la toma de decisiones, sobre la sostenibilidad y sustentabilidad, así como la importancia de dichas áreas a través del tiempo, Figuras 12 y 13.



Figura 12. Modelación de Máxima Entropía para zonas con potencial de riego (Actual).

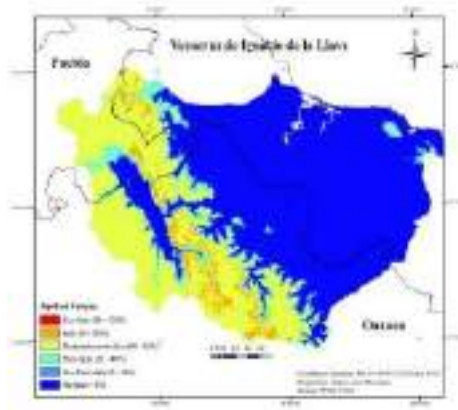


Figura 13. Modelación de Máxima Entropía para zonas con potencial de riego (Futuro).

Usando la modelación de máxima entropía se generan rangos de aptitud que van en un intervalo de 0 a 1, donde 0 (0%) se interpreta como no apto y 1 (100%) como apto (azul a rojo respectivamente), en el caso de las zonas para cultivos básicos la máxima aptitud equivale al 67% en las condiciones climáticas actuales, mientras que en condiciones futuras la aptitud aumentará a 70%. Mediante los mapas se puede apreciar claramente la disminución de zonas aptas, así como su desaparición en el este de la cuenca, concentrándose hacia el oeste las zonas de aptitud.

Cultivos de importancia industrial

La estrategia agrícola debe considerar explorar las zonas potenciales para el establecimiento de cultivos industriales con el objetivo de fomentar el desarrollo agroindustrial de las cuencas hidrológicas y aprovechar los recursos naturales disponibles para mejorar su capacidad productiva y beneficiar a la sociedad en su conjunto, derivado del análisis multicriterio se obtuvieron tres tipos de potenciales (apto, moderadamente apto y muy poco apto); el potencial **apto** se ubica en algunas porciones del norte, noroeste y noreste de la cuenca, caracterizado por contar con suelos de texturas intermedias y estructura tipo porosas (INEGI, 2004), el contenido de materia orgánica es superior del 4.2 %, el pH del suelo es neutro con valores del 6.8-7.2, el reservorio de nutrientes del suelo es alto, el nitrógeno se encuentra por arriba de los 375 kg/ha, el Fosforo es

de 100 kg/ha y el Potasio no es limitante ya que se encuentra por arriba de los 600 kg/ha, la pendiente de estos suelos es menor al 10% lo que posibilita el uso de maquinaria agrícola, la altitud máxima es menor de 1000 msnm, la temperatura media es de 30°C y el periodo de crecimiento es superior a los 120 días, la superficie total de este este potencial es de 1.5%.

El potencial **moderadamente apto** se concentra en la parte noroeste, suroeste, centro-norte-este y en el noreste; este nivel de aptitud se caracteriza por presentar suelos con pendientes entre los rangos del 20%, ligeramente inclinados, pero con posibilidades de ser mecanizados, entre altitudes de 1000 a 1500 msnm, con precipitación promedio de 1000 mm- 1500 mm, con temperatura media de 20°C, los días para el periodo de crecimiento de las plantas son menores a 120 días, la fertilidad del suelo es moderada , el nitrógeno es de 325 kg/ha, el fosforo de 80 kg/ha y el potasio se encuentra en el intervalo de los 480 kg/ha, el contenido de materia orgánica es del orden del 2.4% a 3 % , el pH se encuentra en el rango de los de los 6-6.8, ligeramente ácido (Fernández *et al*, 2006), la superficie total con este potencial es de 18.6%.

El potencial **muy poco apto** se encuentra en la región suroeste, sur-centro-noroeste y noreste. Se caracteriza por tener pendientes muy escarpadas con valores de 75-100%, lo cual impide cualquier uso de tecnología de labranza mecanizada, alturas por arriba de los 3000 msnm, los suelos son delgados y poco profundos, nivel de fertilidad bajo (INEGI, 2004), nitrógeno en el suelo de 65 kg/ha, el fosforo de 40 kg/ha y el potasio que se encuentra en estos suelos en una cantidad de 120 kg/ha, los sitios tiene una precipitación promedio inferior a los 500 mm, y las temperaturas pueden ser de los 10°C a los 15°C y presentarse temperaturas letales menores a los 10°C , con alta posibilidad de heladas, la disponibilidad de agua del suelo es menor de 60 días, la superficie total corresponde al 79.7%, Figura 14.

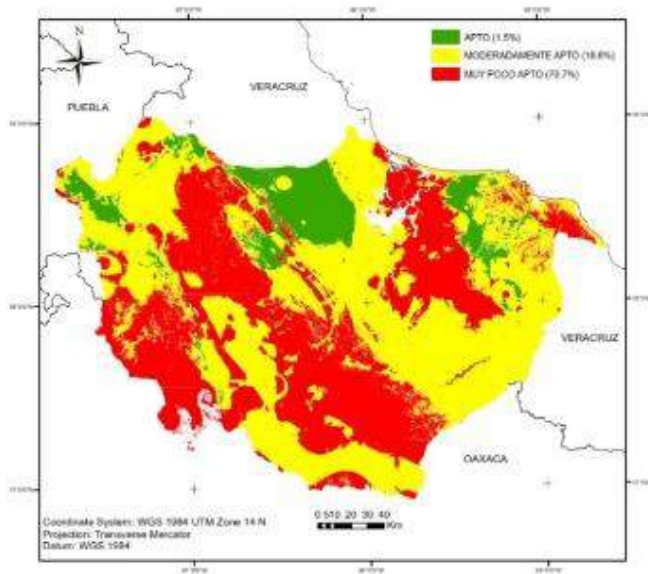


Figura 14. Mapa de zonas con potencial de aptitud para establecimiento de cultivos de importancia industrial.

Para las zonas potenciales de cultivos de importancia industrial, se modeló la mayor aptitud correspondiente al establecimiento de cultivos industriales en la cuenca del Papaloapan la cual representa el 1.5% de la superficie de la cuenca; como resultado de la modelación se identificaron condiciones (climáticas) y se generaron coincidencias para delimitar zonas potenciales en modelos de cambio climático actuales y proyectadas a 50 años para generar una aproximación al comportamiento que tendrán estas zonas en un futuro en términos de sostenibilidad. Usando la modelación de máxima entropía se generan rangos de aptitud que van en un intervalo de 0 a 1, donde cero (0%) se interpreta como no apto y uno (100%) como apto (azul a rojo respectivamente), en el caso de las zonas para cultivos industriales, la máxima aptitud equivale al 78% en las condiciones climáticas actuales y futuras, las condiciones climáticas se mantendrán, lo que permitirá la sostenibilidad de estas zonas en a través del tiempo, se aprecia la disminución en la superficie de zonas aptas, lo cual nos indica que en algunas zonas las condiciones climatológicas afectarán la aptitud de los cultivos industriales, de tal manera que las zonas más susceptibles irán desapareciendo, dejando solo las regiones más aptas para el establecimiento de este grupo de cultivos Figuras 15 y 16.

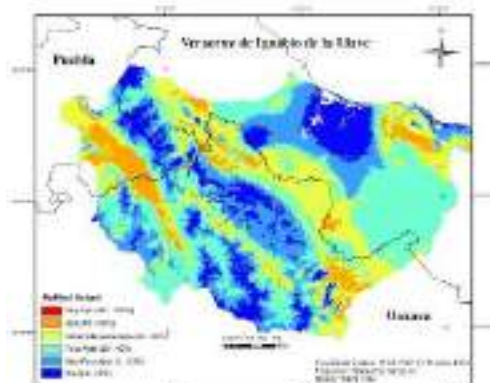


Figura 15. Modelación de Máxima Entropía para zonas con potencial en cultivos industriales (Actual).

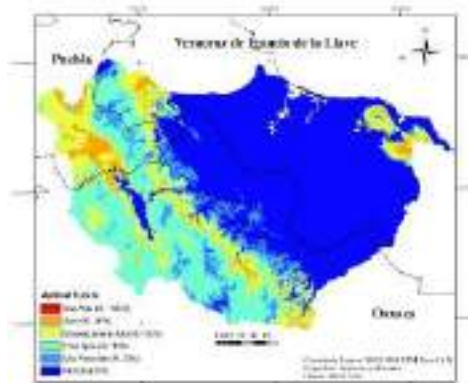


Figura 16. Modelación de Máxima Entropía para zonas con potencial en cultivos industriales (Futuro).

CONCLUSIONES

El uso de la tecnología de análisis espacial es una alternativa como método transversal para explorar las opciones de potencialidades en las cuencas hidrológicas en el sector agrícola, ya que al identificar las zonas ambientales más idóneas para la producción de granos básicos se garantiza la alimentación de la población más vulnerable y se promueve la producción de granos básicos en la cuenca. El modelo sugerido propone la identificación de zonas de riego para impulsar el cultivo de hortalizas como estrategia de apoyo a los pequeños productores de la cuenca. Se identificaron los sitios más adecuados en donde la agroindustria puede impulsarse como estrategia regional, esto conllevaría a la adopción de mejores tecnologías para el sector agrícola e integración de las cadenas agroindustriales y una mayor agregación de valor y riqueza en las regiones. Resulta importante considerar para fines de planeación agrícola regional una tendencia de desplazamiento de las áreas idóneas hacia la región oeste de la cuenca y además la superficie se verá disminuida dadas las condiciones de temperatura y precipitación futuras en 50 años.

LITERATURA CITADA

- Bezerra, M. D. C. L., & Veiga J. E. D. (2000). Agricultura Sustentável. Subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira. Brasília: Ministério do Meio Ambiente 60 p.
- Bolstad, P. (2005). GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems. Eider Press. 30p.
- Calderón, J. (2015). Impactos del cambio climático en el rendimiento potencial de cebada (*Hordeum vulgare*), en el municipio de Calpulalpan, Tlaxcala. Tesis de licenciatura. Texcoco de Mora, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. 80 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2015). Portal de geoinformación. México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Cruz-Cárdenas, G.; Villaseñor, J.; López-Mata, L.; Martínez-Meyer, E. y Ortiz. E. 2014. Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. Rev. Chapingo vol.20 (2): 187-201 pp.
- Dent, D., & Young, A. (1995). Soil survey and land evaluation. George Allen & Unwin. 40 p.
- Díaz-Padilla, G.; Cortina, C. M. F. & Rodríguez, P. L. (2001). Estudio de las Potencialidades Productivas para el Uso del Suelo del Estado de Veracruz. Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental Xalapa, INIFAP-Fundación PRODUCE. Xalapa, Ver. México. 120 p.
- Dirección General del Centro de Documentación, Información y Análisis (2005). Política Ambiental para un crecimiento Sustentable” como parte del Plan Nacional de Desarrollo [En Línea]. Mayo 2005. Cámara de Diputados. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/bibliot/publica/otras/pnd/58.htm>
- Doorman, F. J.; Miranda, F., & Doorman, F. (1991). La metodología del diagnóstico en el enfoque Investigación Adaptativa. IICA Biblioteca Venezuela. 45 p.
- Dormann, C. F. (2007). Promising the future? Global change projections of species distributions. Basic and Applied Ecology, 8(5): 387-397 pp.

- Eastman, J. R.; Kyem, P. A.; Toledano, J., & Jin, W. (1993). Explorations in Geographic Systems Technology Volume 4: GIS and Decision Making. UNITAR, Geneva. 200 p.
- Ehlers, E. 1999. Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma. 50 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1997). Zonificación Agro-ecológica: Gua General. Italia. Boletines de suelos de la FAO. 180 p.
- Garnica, J. A. S. (2005). Determinación del uso potencial de la tierra con fines agrícolas en el municipio Bolívar, estado Táchira. *Geoenseñanza*, 10(1): 69-85 p.
- Herrera, C. M. (2020). Los dilemas entre el cambio climático, la dieta saludable/sostenible y la sindemia de las sociedades post-modernas. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 33(1): 76-79.
- Hijmans, R. J., Cameron, S., Parra, J., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2016.) WorldClim—global climate data, free climate data for ecological modeling and GIS. 90 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2004). Guías para la interpretación de Cartografía Edafología. INEGI, Aguascalientes. 28 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2010). Boletín Informativo para la comunidad del inifap. INIFAP, México D.F. 4 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. México. INIFAP. CIRPAC. 60 p.
- Linares, F.; Avelizapa, L. C. R.; Carrillo, N. G. R., & Islas, T. G. R. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados (No. C/631.41 M3). 85 p.
- Lozano-Povis, A., Álvarez-Montalván, C. E., y Mogiano, N. (2021). El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*, 12(1): 101-108.
- Manzatto, C. V.; Ramalho Filho, A.; Costa, T.; Santos, M.; Coelho, M. R.; Silva, E. D., & Oliveira, R. D. (2002). Potencial de uso e uso actual das terras. *Uso agrícola dos solos brasileiros*, 13-21 p.
- Martínez Ainsworth, N. 2013. El nicho ecológico: útil concepto aún en debate. 11 p.
- Martínez, N. (2010). Apuntes sobre modelación de nichos ecológicos. Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental. 66 p.

- Martínez-Salgado, J. D., Martínez-Barón, D., Leal, M., Castellanos, A. (2020). Actualización del Estado del Arte en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria en Guatemala 2020. Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Núñez, J., Carvajal, J. C., Mendoza, O., y Carrero, D. (2018). Indicadores del impacto del cambio climático en la agricultura familiar andina colombiana. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7): 824-831.
- Pereira, L. (2017). *Climate Change Impacts on Agriculture across Africa*. Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Piña, B. C. (2019). Cambio climático, inseguridad alimentaria y obesidad infantil. *Revista Cubana de Salud Pública*, 45(3): 1-18.
- Prosser, B. G., Bonilla, N., Prosser, G. C. y Romo-Medina, I. (2021). Expertos por experiencia en la educación para el cambio climático: emociones, acciones y estrategias desde la perspectiva de participantes de tres programas escolares chilenos. *Revista de estudios y experiencias en educación*, 21(45): 232-251.
- Roche, H., & Vejo, C. (2005). Análisis multicriterio en la toma de decisiones. *Métodos Cuantitativos aplicados a la administración*. 150p.
- Rojas-Palomino, A.; Madero-Morales, E.; Ramírez-Náder, L. M., & Zúñiga Escobar, O. (2009). Índice de potencial productivo del suelo aplicado a tres fincas ganaderas de ladera en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 58(2): 85-90 p.
- Ruiz, C. y Flores, H. (1995). Áreas con potencial para la producción de frijol en Nayarit. INIFAP. México. 70 p.
- Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS). (2016). Parámetros bioclimáticos (1902-2011). Atlas Climático Digital de México. http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/Docs/f_bioclimaticos.html.

PERSPECTIVAS FUTURAS DE LA BIOFORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS: LA ASOCIACIÓN CON MICROORGANISMOS DEL SUELO

FUTURE PERSPECTIVES OF FOOD BIOFORTIFICATION: THE ASSOCIATION WITH SOIL MICROORGANISMS

José Alberto **Gío-Trujillo**¹; Carlos Juan **Alvarado-López**²; Neith Aracely **Pacheco-López**³; Jairo **Cristóbal-Alejo**⁴ y Arturo **Reyes-Ramírez**⁴

Resumen

La problemática por la insuficiencia e inseguridad alimentaria afecta a cerca de 1000 millones de personas a nivel mundial, frecuentemente por la deficiencia de elementos minerales esenciales presentes en los alimentos, como el Hierro, Cobre, Yodo, Selenio y Zinc. Aunado a lo anterior, la poca fertilidad de los suelos, afecta la movilidad de nutrientes en el suelo y la dinámica de absorción de las plantas, influyendo directamente en su producción, calidad de cosecha y el inadecuado balance nutricional de la población. Una estrategia viable para

afrontar esta problemática es la biofortificación de cultivos, la cual tiene como objetivo mejorar el estado nutricional de los cultivos, al producir alimentos con alto valor nutricional en elementos minerales deficientes en la dieta de la población mundial. El presente artículo de revisión es un análisis acerca de lo que implica la biofortificación, su contexto actual y las iniciativas de los programas y políticas internacionales para la mejora de la nutrición, seguridad alimentaria y salud pública. Las perspectivas futuras de la biofortificación indagadas en esta revisión giran en torno al

¹ Doctorado en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable. Tecnológico Nacional de México, campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

² Cátedras-CONACYT. Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Departamento de posgrado.

³ Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño de del Estado de Jalisco. Departamento de posgrado. Tablaje Catastral 31264, Kim. 5.5, Carr. Sierra Papacal-Chuburna Puerto. Parque Científico. Tecnológico de Yucatán. C.P. 97302. Mérida, Yucatán, México.

⁴ Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Departamento de posgrado.

enriquecimiento en compuestos naturales en hortalizas y frutas, asimismo, la factibilidad de biofortificación de cultivos alternativos por su rentabilidad, valor nutricional y su mayor aceptación en el mercado para consumo humano. El análisis acerca de las perspectivas futuras y los avances recientes en esta línea de investigación, se enfoca en obtener estrategias que incrementen la absorción de minerales y su biodisponibilidad en la planta para alcanzar un mayor beneficio, la práctica de aplicar microorganismos del suelo (micorrizas arbusculares y bacterias promotoras del crecimiento vegetal) se perfila como la estrategia con mayor accesibilidad al agricultor en todos los niveles de producción, reducción de costos e incremento de rendimientos, al mismo tiempo mejorarlas características nutricionales de los alimentos.

Palabras clave: cultivos alternativos, sostenibilidad, innovación, alimentos biofortificados.

Abstract

The problem of food insufficiency and insecurity affects close to 1 billion people worldwide, frequently due to the deficiency of essential mineral elements present in food, such as iron, copper, iodine, selenium and zinc. In addition, the low fertility of soils affects the mobility of nutrients in the soil and the dynamics of plant absorption, directly influencing their production, crop quality and

the inadequate nutritional balance of the population. A viable strategy to face this problem is crop biofortification, which aims to improve the nutritional status and value of crops by producing foods with high nutritional value in mineral elements that are deficient in the diet of the world's population. This review article is an analysis of what biofortification implies, its current context and the initiatives of international programs, institutions and policies for the improvement of nutrition, food security and public health. The future perspectives of biofortification explored in this review revolve around the enrichment of natural compounds in vegetables and fruits, as well as the feasibility of biofortification of alternative crops due to their profitability, nutritional value and their good acceptance in the market for human consumption. The analysis of future perspectives and recent advances in this lines of research, focused on obtaining strategies that increase mineral absorption and bioavailability in the plant to achieve greater benefit, the practice of applying soil microorganisms (arbuscular mycorrhizae and plant growth promoting bacteria) is emerging as the strategy with greater accessibility to the farmer at all levels of production, cost reduction and increased yields, while improving various nutritional characteristics of food.

Key words: Alternative crops; Sustainability; Innovation; biofortified foods.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la crisis por insuficiencia e inseguridad alimentaria afecta a cerca de dos tercios de la población mundial (entre 720 y 811 millones de personas (FAO, 2020), causada principalmente por el acceso insuficiente de alimentos de calidad y con alto valor nutricional, frecuentemente deficiente en micronutrientes importantes, como el Hierro, Cobre, Yodo, Selenio y Zinc, en la ingesta diaria de la población (Shahzad *et al.*, 2013), donde se estima que cerca del 60% de las deficiencias minerales corresponde al Hierro, seguida del 30 % del Zinc y Yodo,

en contraste a la disponibilidad limitada de alimentos (Saltzman *et al.*, 2017). La dieta deficiente en minerales principalmente se presenta en mujeres embarazadas y niños, la cual no permite cubrir las necesidades requeridas para una dieta balanceada y son los causantes de la anemia nutricional, problemas inmunológicos, retardo en el crecimiento y desarrollo infantil, considerados los principales problemas a tratar en la salud pública en países sub-desarrollados (Hotz y Brown, 2004). A su vez, esta problemática trae consigo efectos negativos e influye en distintas dimensiones de la sociedad, destacando su influencia directa sobre factores sociales como la educación y salud pública, así como en factores económicos, al dificultar el crecimiento económico y el bienestar social de los diferentes sectores vulnerables a la desnutrición (Sida-Areola *et al.*, 2015). Una estrategia para afrontar esta problemática y contribuir con el abastecimiento e inocuidad de alimentos es la biofortificación de cultivos, la cual, es una técnica que busca aumentar los contenidos de nutrientes minerales de los cultivos agrícolas, mediante el manejo agronómico con base en prácticas agrícolas como la fertilización del suelo química y orgánica, cruzamiento tradicional entre variedades o transgénesis, comúnmente denominada alimentos transgénicos, mejorando su estado y valor nutricional, al producir alimentos con alto valor nutricional o enriquecidos con ciertos compuestos naturales o minerales para mejorar la ingesta y de los mismos deficientes en la dieta humana (Mayer *et al.*, 2008). La biofortificación de alimentos desde sus inicios se ha desarrollado frecuentemente sobre alimentos como los granos, semillas y tubérculos (cereales, leguminosas y tubérculos) como arroz (*Oryza sativa*), yuca o cassava (*Manihot esculenta*), trigo (*Triticum aestivum*), mijo (*Pennisetum americanum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), maíz, (*Zea mays*) y papa dulce o camote (*Ipomoea batatas*) (Bouis *et al.*, 2011; Mallari, 2019), considerados prioritarios por su alto valor energético, proteico, mineral, sus tasas de rendimiento agrícola en todas las regiones del mundo y amplio consumo (Mayer *et al.*, 2008; Saltzman *et al.*, 2013). Por lo tanto, es considerada como una estrategia viable de intervención agrícola para incrementar la rentabilidad de los cultivos, sus rasgos agronómicos (productividad, rendimiento, nutrición vegetal, etc.) y valor nutricional (Bouis y Welch, 2010). Así como, involucra a la sostenibilidad económica por parte de los agricultores (relación beneficio-costos), directamente relacionado con su amplia aceptación en el mercado, demanda (Nestel *et al.*, 2006) y en el crecimiento de la economía familiar, regional y mundial (Qaim *et al.*, 2007). La presente revisión, es un análisis de información global, recabada por medio de una metodología de búsqueda en fuentes documentales y bases de datos actuales (\leq a 15 años de antigüedad) referentes a la biofortificación de alimentos, donde se indaga de manera narrativa en base de los principales resultados de revisiones, investigación científica de instituciones educativas y particulares para el sector privado, así como de informes de resultados de los principales programas internacionales, instituciones y asociaciones sociales. Por lo anterior, en esta

revisión hablaremos de los avances recientes referente a la biofortificación y metodologías que están aplicándose para incrementar la absorción de elementos minerales y su biodisponibilidad en las plantas para alcanzar un mayor beneficio nutricional.

La iniciativa de los programas de biofortificación para la mejora de la nutrición, seguridad alimentaria y salud pública a nivel mundial por parte de 15 centros de investigación (África Rice Center, Bioversity International, IRRI, CIIMYT, IITA, CIAT, ICARDA, CIFOR, CIP, WorldFish, ICRAF, IWNI, ILRI, ICRISAT) denominados, el sistema de investigación global CGIAR o *Consultative Group on International Agricultural Research* por su acrónimo en inglés, se han convertido en los principales referentes y pilares en la aplicación de la biofortificación de cultivos en zonas vulnerables del mundo, principalmente en África subsahariana, Medio Oriente, Asia menor, América latina (Centroamérica, América del sur) y el Caribe (Saltzman *et al.*, 2013). Por ejemplo, la CGIAR, vinculados con cerca de 37 países, apoyado financieramente por instancias públicas, fundaciones internacionales como la FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*), UNDP (*United Nations Development Program*), UNEP (*United Nations Environment Programmes*), los diversos programas de desarrollo y seguridad alimentaria como los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030, Programa mundial de alimentos (WFP, *World Food Programme*) y Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS, *Climate Change, Agriculture and Food Security*) de las Naciones Unidas (*United Nations* por su acrónimo en inglés), han aportado las bases para el reforzamiento de investigaciones domésticas, científicas y producción en escala tradicional e industrial para la distribución y comercialización de semillas, granos y hortalizas biofortificadas en el mundo (Mallari, 2019). Asimismo, los programas internacionales de biofortificación de Harvest Plus, programas sociales para el desarrollo como Oxfam, SOCODEVI, GIZ (Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional en alemán), la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, *United States Agency for International Development*), Agencia Suiza para Desarrollo y Cooperación (SDC, *Swiss Agency for Development and Cooperation*), el financiamiento privado (Aliko Dangote, entre otros), organizaciones multinacionales como el Banco mundial, Banco interamericano de desarrollo, Fondo Internacional para el desarrollo agrícola (IFAD, *International Fund for Agricultural Development*) y fundaciones (Bill y Melinda Gates, Fundación Ford, The McKnight Foundation, Fundación Rockefeller) fomentan la biofortificación de cultivos agrícolas en el mundo, principalmente en zonas vulnerables a la malnutrición, como una estrategia factible en busca de incrementar el valor nutricional de los alimentos, frecuentemente en α y β caroteno, vitaminas B, C,

aminoácidos, y minerales (Bouis y Saltzman, 2017), para promover su consumo como complementos alimenticios a niños, mujeres embarazadas o personas propensas a deficiencias nutricionales (Saltzman *et al.*, 2013).

En el sur de Asia, Medio oriente y África subsahariana, las tasas de desnutrición son consideradas la de mayor incremento globalmente (Ansari y Thapa, 2019; UNICEF, 2019). No obstante, en términos de biofortificación de alimentos, en estas zonas se desarrollan los principales avances en técnicas y aportaciones en productos agrícolas biofortificados en minerales y compuestos carotenoides frecuentemente en alimentos de cultivos básicos (Saltzman *et al.*, 2013; Bouis y Saltzman, 2017). Por ejemplo, en 2018 el gobierno de India manifestó el consumo obligatorio de arroz y mijo perla biofortificado con Provitamina A, Hierro y Zinc en desayunos de escuelas y programas públicos de desarrollo infantil para fomentar su aceptación y consumo, con el propósito de mejorar la deficiencia de ingesta de minerales y vitaminas en este grupo vulnerable (Mallari, 2019). Desde el 2003, las instituciones de investigación han sido determinantes en el avance y desarrollo de la biofortificación de alimentos de consumo básico en la región, como lo menciona Bouis y Welch, (2010) y Bouis y Saltzman, (2017), en datos recopilatorios en periodos de 2007-2013 y 2003-2016, respectivamente, principalmente en la producción de arroz, frijol y camote enriquecido con Provitamina A, Zinc y Hierro por medio de técnicas transgénicas y agrícolas impulsadas (Saltzman *et al.*, 2013). Para el continente asiático, las instituciones como WorldFish en Malasia, International Water Maanagement Institute(IWMI) en Sir Lanka, International Rice Research Institute (IRRI) en Filipinas, Center for International Forestry Research (CIFOR) de Indonesia, International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA) de Líbano, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Zonesin Tropical (ICRISAT) en India (Saltzman *et al.*, 2013), han impulsado el desarrollo de cultivos biofortificados en las regiones más vulnerables de Asia como Asia central, meridional, sureste y suroeste de Asia. Por ejemplo, el IRRI, ha fomentado el consumo del arroz enriquecido con Provitamina A, con denominado *arroz dorado* (Mallari, 2019) y en China, por parte del Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS), desde el 2010 ha promovido el consumo de camote biofortificado en Provitamina A y β -caroteno, principalmente en zonas de influencia como Pakistán, Tailandia, Sir Lanka, Malasia, Indonesia e India, (Saltzman *et al.*, 2013). A la vez, en África, instituciones como el International Institute of Tropical Agriculture (IITA) en Nigeria, África Rice Center (ARC) en Benín, International Livestock Research Institute (ILRI) y World Agroforestry Center (ICRAF) de Kenia, National Crops Resources Research Institute (NaCRRI) y National Agricultural Research Organization (NARO) en Uganda (Saltzman *et al.*, 2013) en constante interacción entre sí, han fomentado el consumo del camote de pulpa anaranjada (BPA), yuca amarilla y maíz (harina anaranjada) enriquecidos en zinc, hierro y Provitamina A,

evidenciando los resultados positivos de su consumo en niños de entre 5-13 años, considerados grupos vulnerables de mayor interés en África. Por lo que, la biofortificación de alimentos es una referencia para alcanzar la soberanía y seguridad alimentaria en las regiones más necesitadas de África como Nigeria, Etiopía, República Democrática Del Congo, Rwanda, Zambia, Malawi, Tanzania, Uganda, Mozambique, Ghana y Kenia (Bouis *et al.*, 2017).

En América Latina (Centroamérica, América del sur) y el Caribe, considerada como regiones vulnerables a la problemática de la inseguridad alimentaria y nutricional, tomadas en cuenta como zonas de intervención para la biofortificación de cultivos, de acuerdo a los indicadores del riesgo nutricional, consumo alimenticio, producción, indicadores sociales, económicos y geográficos (Monserrate Rojas *et al.*, 2009), en la cual, las principales deficiencias de micronutrientes en la región se presentan en Zinc, Hierro y vitamina A, donde cerca de 201, 644,347 habitantes presentan alguna deficiencia de estos tres nutrientes (Saltzman *et al.*, 2017). Según el consorcio Harvest Plus, los cultivos básicos como arroz, frijol, maíz, papa, yuca y camote, se han considerados cultivos prioritarios para su biofortificación en hierro, zinc, β -caroteno y/o lisina y triptófano, por su alto impacto dietético, económico, su rentabilidad (Pachón, 2010) y su frecuente consumo como fuentes importantes de carbohidratos (entre el 12 % y el 48 %) (López *et al.*, 2008). Desde el 2006 a 2020, la iniciativa para la red para la biofortificación de alimentos en América Latina ha liberado cerca de 46 variedades de cultivos básicos como el maíz, frijol y arroz enriquecidos con Hierro, Zinc y provitamina A, desarrollándose principalmente en 14 países por medio de programas sociales como el proyecto AgroSalud, FONTAGRO, ASOARSE (Asociación de Productores Agroecológicos del Pantano de Arce), cooperativas agrícolas y empresas de investigación del sector privado (PARAMO FARMS®), vinculadas con instituciones como el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Bioversity International-CIAT, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Centro Internacional de la Papa (CIP) y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (AgroSalud, 2010). Adicionalmente, en vinculación con importantes centros universitarios, unidades gubernamentales y programas públicos, han reportado la distribución, consumo y evaluación de variedades nativas biofortificadas para un mayor impacto en las comunidades rurales, campesinas, agricultores familiares y beneficio en los hogares en zonas consideradas de marginación. Por ejemplo, se ha fomentado en la última década la siembra en pequeña y mediana producción y consumo diario de variedades nativas biofortificadas de quinua, lupino y amaranto en zonas andinas de Ecuador por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), variedades de frijoles nativos en Nicaragua (Reyes *et al.*, 2020) y Panamá (IDIAP, 2016). Así como el desarrollo de variedades

convencionales biofortificadas de maíz, camote, arroz entre proyecto Agro Nutre Panamá, coordinado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) (IDIAP, 2016), orégano, maní (Fundación Valles, 2019) y arroz en Bolivia (Viruez *et al.*, 2016), Por su parte, en Brasil y Guatemala, se extiende la red de biofortificación de alimentos, BIOFORT a través de sus respectivas instancias de gobierno federal, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), la Cooperativa Agrícola Integral (ATESCATEL) y la Corporación Brasileña de Investigación Agropecuaria, EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, por su acrónimo en portugués), ha desarrollado investigación con respecto a la biofortificación de alimentos, generando cerca de 12 variedades convencionales y transgénicas de cultivos básicos y alternativos enriquecidas en Hierro, Zinc y Provitamina A, para su comercialización en América del sur (Colombia, Brasil, etc.), distribuyendo semillas biofortificadas con Hierro y Zinc en países de América central como Guatemala, El Salvador, Haití, Panamá y Nicaragua. Por lo antes expuesto las variedades referentes en resultados positivos en su contexto agrícola y nutricional son el maíz biofortificado ICTA HB-18^{ACP+Zinc}, ICTA HB-15^{ACP+Zinc}, frijol ICTAChorti^{ACM}, frijol caupí, trigo, arroyuca, calabaza y camote ICTA Dorado^{ACB}, ICTA Pacífico^{ACB} y BRS Amélia (BIOFORT, 2015; Saltzman *et al.*, 2013).

En México, la biofortificación de cultivos se ha convertido en un método potencialmente necesario para contribuir en la lucha con la problemática mundial de la desnutrición y seguridad alimentaria de las poblaciones rurales. Considerando principalmente el sur y sureste de México como zonas potenciales para la intervención en consumo de cultivos básicos (maíz y frijol) biofortificados con Zinc y Hierro (Ramírez-Jaspeado *et al.*, 2018; Ramírez-Jaspeado *et al.*, 2020). La vinculación con la biofortificación de alimentos y el sistema de investigación CGIAR, se relaciona principalmente con su más importante protagonista, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en sus dos programas agroalimentarios y de investigación en campo, el Programa de investigación del Maíz y Programa de investigación del Trigo. Además, de pertenecer durante el periodo 2017-2022, a las principales plataformas de soporte de información agroalimentaria global, con el fin de recabar, generar y compartir información (Plataforma en Macro datos en Agricultura y Plataforma de Excelencia en Mejoramiento) y la conservación de germoplasma (Plataforma del Banco de Germoplasma). Dicha intervención en el ámbito global gira en relación al desarrollo de germoplasma (recursos genéticos) y su interacción-colaboración (desarrollo estratégico, socioeconomía e intensificación sustentable) con pequeños productores de campo y políticas públicas frecuentemente en zonas de África, Sur de Asia y América latina, distribuidos en cerca de 89 países. Asimismo, el consorcio BIOFORMEX (Biofortificación de Cultivos Agrícolas Básicos en México), tiene el objetivo de difundir los hallazgos científicos de la biofortificación de alimentos básicos en

México, para su consumo y aceptación en poblaciones rurales. En términos de resultados, la biofortificación de cultivos ha tomado énfasis en el incremento del contenido mineral de leguminosas como *Phaseolus vulgaris* (frijol común), desarrollando más de 50 variedades mejoradas de frijol convencional negro, pinto, flor de mayo, bayo, alubia, peruano etc., enriquecidos en hierro (Sida-Arreola *et al.*, 2015). Así como, la intervención en *Vigna unguiculata* (frijol caupi o frijol pelón) para su biofortificación, importante cultivo en el sur sureste de México, por su alto valor nutricional (Calcio, Manganeso, Hierro y Zinc) (Guillén *et al.*, 2016) y nutracéutica (capacidad antioxidante y fenoles totales) (Morales *et al.*, 2020).

Recientemente, la biofortificación de cultivos se ha encaminado a cultivos alternativos (granos, semillas oleaginosas, frutas y verduras), es decir, cultivos no tradicionales, pero que ocupan un nicho en el mercado e importancia agrícola, desde cultivos hortícolas hasta frutales (Figura 1). La biofortificación de cultivos alternativos tiene el objetivo de incrementar su estado nutricional y tener una buena aceptación en el mercado para el consumo humano (Ayoub *et al.*, 2020). Lo que implica, aumentar en alimentos hortícolas y frutícolas los rasgos de las características organolépticas (sabor, textura, apariencia, etc.) y componentes esenciales para la salud humana como los carotenoides, por ejemplo, el α y β -caroteno, Zeaxantina, α y β -Criptoxantina, Luteína, Fitoeno, Violaxantina, Capsantina, el Licopeno, etc.) (Mélendez *et al.*, 2004) y el contenido de vitaminas (A, D, E, K, C, tiamina, niacina, B6, B12, y la biotina) en las raíces, hojas y en el fruto (Zheng *et al.*, 2020). En medida de los avances y desarrollo de la biofortificación a nivel mundial, las perspectivas futuras de la biofortificación gira en torno al enriquecimiento de alimentos en compuestos activos naturales como carotenoides (Giuliano, 2017), reconocidos como pigmentos liposolubles responsables del color de flores y frutos (verde, rojo, amarillo y anaranjado) en hortalizas, granos, semillas oleaginosas y frutas, donde se presentan su mayor distribución, concentración y variedad (Carranco *et al.*, 2011).



Figura 1. Cultivos alternativos y su importancia en el mercado de consumo.

En la Tabla 1, se muestran los principales compuestos carotenoides presentes en cultivos alternativos (hortalizas, cereales y frutales), considerados prioritarios para su biofortificación (Zheng *et al.*, 2020). Este enriquecimiento de alimentos en compuesto carotenoides consta en aumentar las concentraciones de los diversos compuestos esenciales carotenoides presentes en cultivos hortícolas (Ayoub *et al.*, 2020) y especies frutales como el mango, uvas, plátano y tomate (Garg *et al.*, 2018).

Tabla 1. Compuestos carotenoides en cultivos alternativos prioritarios a biofortificación

Principales compuestos carotenoides	Cultivos prioritarios a biofortificar
α y β -caroteno	<i>Lycopersicum esculentu</i> , <i>Manihot esculenta</i> , <i>Capsicum anuum</i> , <i>Linum usitatissimum</i> , <i>Brassica napus</i> , <i>Cucumis melo</i> , <i>Brassica oleracea</i> , <i>Musa spp</i>
Licopeno	<i>Lycopersicum esculentu</i>
Capsantina	<i>Lycopersicum esculentum</i> , <i>Manihot esculenta</i>
Astaxintina	<i>Daucus carota</i> , <i>Solanum tuberosum</i> , <i>Lactuca sativa</i> , <i>Glycine max</i> , <i>Brassica napus</i> , <i>Nicotiana tabacum</i>
Zeaxantina	<i>Lycopersicum esculentum</i> , <i>Manihot esculenta</i>
Fitoeno	<i>Lycopersicum esculentum</i>

Fuente: Zheng *et al.*, 2020.

En un análisis de los diversos productos agrícolas biofortificados en el mercado, son muchos los autores e instituciones de investigación que han implementado los diversos enfoques de la biofortificación de alimentos en cultivos alternativos. Prasad *et al* (2015), menciona a Bio-Cassava Plus (yuca rica en β -caroteno), Nutri-banana (rica en vitamina A), camote OSP (enriquecida con β -caroteno), Súper-brócoli (contiene 3 a 4 veces el sulforafano), lechuga modificada genéticamente con 25 a 35 % más de calcio, Garg *et al* (2018), recopila a las variedades mejoradas en comercialización como a la de uva, *PusaNavrang* con altos contenidos de sólidos solubles totales (carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas, grasas y minerales) y antioxidantes, el tomate “Sun Black” y “Galaxia negra” con mayores concentraciones de antocianinas en el mesocarpio, así como cinco variedades de plátano (Apantu, Bira, Pelipita, Lai y To’o) ricas en Provitamina A en Uganda, como las principales variedades mejoradas y comercializadas actualmente en África, Sudamérica, Israel, India y China. A continuación, en la Tabla 2 se presenta una recopilación de la evidencia científica y sus principales hallazgos significativos en el campo de la biofortificación en cultivos alternativos para la producción de alimentos enriquecidos con compuestos carotenoides y elementos minerales por enfoque de reproducción (cruzamientos tradicionales), transgénicos y manejo de la fertilización.

Tabla 2. Tabulación de cultivos alternativos biofortificados

Cultivo	Nutriente biofortificado	Institución o autor/año	Método empleado
<i>Lactuca sativa</i> (Lechuga)	Selenio y Yodo	Smolén <i>et al.</i> , 2019	Manejo agronómico
	Selenio	López-Gutiérrez <i>et al.</i> , 2015	Manejo agronómico
<i>Allium cepa</i> (cebolla)	Zinc	Almendros <i>et al.</i> , 2015	Manejo agronómico
<i>Cicer arietinum</i> (Garbanzo)	Zinc	Shivay <i>et al.</i> , 2015	Manejo agronómico
<i>Musa acuminata</i> (Plátano malayo)	Hierro β -caroteno, Provitamina A	IITA, Bioveraity (Congo, Nigeria, Camerún y Burundi)	Manejo agronómico y transgénesis

	Selenio	Bañuelos <i>et al.</i> , 2015	Manejo agronómico
<i>Brassica oleracea</i> (Mostaza)	Zinc	Barrameda-Medina <i>et al.</i> , 2017	Manejo agronómico
	Zinc y Hierro	Di Gioia <i>et al.</i> , 2019	Manejo agronómico
<i>Medicago sativa</i> (Alfafa)	Zinc	Merinero-De los Santos <i>et al.</i> , 2020	Manejo agronómico
<i>Hordeum vulgare</i> (Cebada)	Zinc	González <i>et al.</i> , 2019	Manejo agronómico
<i>Vigna unguiculata</i> (Frijol caupí)	Zinc y Hierro	Guillén-Molina <i>et al.</i> , 2016	Manejo agronómico
<i>Lycopersicon esculentum</i> (Tomate)	Yodo	Landini <i>et al.</i> , 2011	Manejo agronómico
	Yodo	Kiferle <i>et al.</i> , 2013	Manejo agronómico
<i>Daucus carota</i> (Zanahoria)	Selenio	Bañuelos <i>et al.</i> , 2015	Manejo agronómico
<i>Vigna radiata</i> (Sorgo verde)	Zinc y Hierro	Nair <i>et al.</i> , 2013	Manejo agronómico
	Zinc y Hierro	Haider <i>et al.</i> , 2018	Manejo agronómico
<i>Eruca vesicaria</i> (Arugula)	Zinc y Hierro	Di Gioia <i>et al.</i> , 2019	Manejo agronómico
	Zinc	Rugeles-Reyes <i>et al.</i> , 2019	Manejo agronómico
<i>Cucumis melo</i> (Melón)	Yodo	Melgoza <i>et al.</i> , 2016	Manejo agronómico
<i>Brassica juncea</i> (Mostaza)	β-caroteno, Zinc y Hierro	Golubkina <i>et al.</i> , 2018	Manejo agronómico
	Selenio y Yodo	Golob <i>et al.</i> , 2020	Manejo agronómico
<i>Cucurbita mostacha</i> (Calabaza)	β-caroteno, Provitamina A	BIOFORT, 2015	Transgénesis
<i>Mangifera indica</i> (Mango)	β-caroteno, Vitamina C (ácido ascórbico)	Agricultural Research Service (India)	Manejo agronómico

<i>Vitis vinifera</i> (Uva)	Sólidos solubles	Indian Agricultural Institute	Manejo agronómico
<i>Nopalea cochenillifera</i> (Nopal)	Zinc	Horibe <i>et al.</i> , 2020	Manejo agronómico
<i>Stevia rebaudiana</i> (Estevia)	Zinc y carotenoides	Velázquez-Gamboa <i>et al.</i> , 2020	Manejo agronómico

Fuente: Saltzman *et al.*, 2013, Prasad *et al.*, 2015; Garg *et al.*, 2018).

Actualmente, la biofortificación tiene tres líneas de investigación, enfocadas simultáneamente en obtener estrategias con el enfoque de encontrar un mejor desarrollo y estado nutricional de los cultivos (Sida-Arreola *et al.*, 2015). En la Figura 2 se describen cada uno de los enfoques de la biofortificación, sus ventajas y limitaciones de cada una de estas estrategias empeladas para este propósito. Las líneas de investigación empleadas en el proceso de biofortificación han encontrado estrategias viables y rentables en la producción de cultivos con mayores aportes nutricionales (Garg *et al.*, 2018), de las cuales se mencionan lo siguiente:

-Biofortificación genética: las estrategias basadas en este método se enfoca en la biotecnología transgénica (ingeniería genética) o cruza para obtener para la variabilidad de especies. Este enfoque, tienen como objetivo generar una variabilidad de especies con rasgos determinados, que permitan ya sea un mayor rendimiento, producción, resistencia a plagas o condiciones adversas, así como rasgos agronómicos determinados que involucren una mayor gestión de nutrientes en el suelo (absorción y extracción). Para este fin, la biofortificación genética emplea dos métodos, el tradicional y la transgénesis. El primero de ellos, involucra la heredabilidad de rasgos agronómicos por medio de cruces parentales y el manejo tradicional de estos cruzamientos por medio de la selección de especies potenciales (Pfeiffer y McClafferty, 2007). A la vez, la transgénesis, la cual entendemos como la transferencia y expresión de genes de una especie a otra, lo que nos permite manejar la estructura genética (modificando o implantando genes no presentes naturalmente) de un individuo, por ejemplo cultivos manejados genéticamente pueden expresar una mayor capacidad de absorción de nutrientes, redirección de nutrientes en los diferentes tejidos de las plantas que permitiría su biofortificación mineral y de compuestos naturales (Hefferon, 2016; Garg *et al.*, 2018).

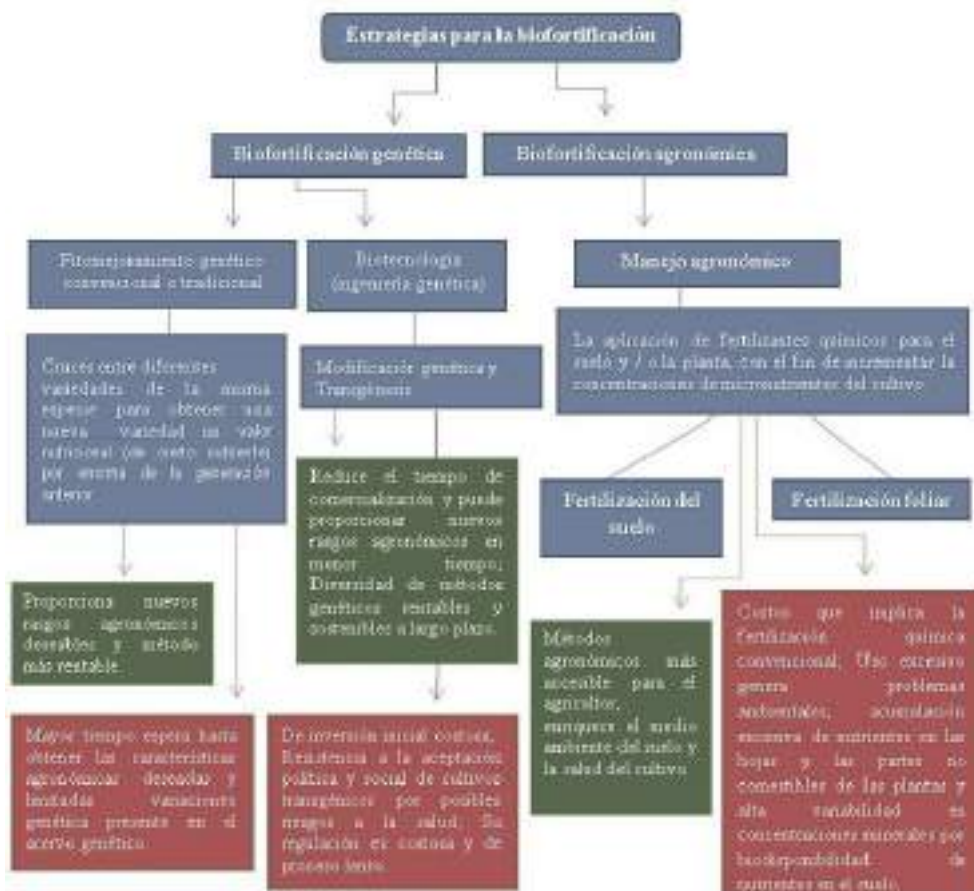


Figura 2. Estrategias para la biofortificación de alimentos, ventajas (verde) y limitaciones (rojo).

Fuente: Cakmak 2008; Gómez-Galera et al., 2012; Saltzman et al., 2013; Shahzad et al., 2014; Hefferon, 2016; De Steur, et al., 2017).

-Biofortificación agronómica: este enfoque de biofortificación emplea el uso de la fertilización en los cultivos con el propósito de enriquecer el suelo para una mayor biodisponibilidad y solubilidad de nutrientes minerales en el suelo, para una acumulación de minerales, principalmente de Fósforo, Potasio, Calcio, Manganeso, Magnesio, Cobre, Zinc, Hierro, Selenio, Yodo, Molibdeno, etc., y sustancias naturales en los tejidos comestibles para el consumo humano (Cakmak, 2008). Este manejo en la fertilización de un cultivo nos permitiría eficientizar el proceso de absorción de nutrientes, acumulación y distribución de nutrientes en las plantas (Rietra *et al.*, 2017). Numerosas han sido las

investigaciones desarrolladas bajo este principio, ya sea por medio del mejoramiento genético en cruzas para la variabilidad de especies, biotecnología (cultivos transgénicos) y manejo agronómico (manejo de la fertilización mineral) (Mayer *et al.*, 2008; Pfeiffer & McClafferty, 2007). Por lo que, la biofortificación de cultivos es una estrategia agrícola prometedora y rentable, ya sea en sus tres estrategias para mejorar el estado nutricional de cultivos. Esto lo exponen, en un análisis Garg *et al.*, (2018), al registrar el enfoque de la biofortificación en diferentes cultivos básicos, hortícolas y frutales mejorando el estado nutricional de frutos, hojas, tallos, bulbos y raíces para el consumo humano. Esto al registrar un incremento en contenidos de nutrientes como Provitamina A, vitaminas B y C, variedad de aminoácidos, Hierro, Zinc, Selenio, Yodo, etc.). Sin embargo, el impacto social, económico y nutricional en la salud humana de los cultivos biofortificados que generara un cambio en el consumo de productos básicos tradicionales a los biofortificados, dependerá del nivel de aceptación y adopción social que tengan los cultivos implicados, lo cual, para una mayor aceptación y aumento de demanda (Bouis y Saltzman, 2017), estará influenciada principalmente por la información que el consumidor tenga de los productos por parte de las asociaciones responsables, en base a una comunicación sólida y estrategias de promoción (García-Casal *et al.*, 2017) y el consumo del mismo por las poblaciones (Birol *et al.*, 2015). Por su parte, la aceptación del consumidor, es valor dado desde los requisitos básicos para la efectividad de un cultivo para su biofortificación, seguido de seleccionar un cultivo por su alto rendimiento y rentabilidad para el agricultor (Sida-Arreola *et al.*, 2015). Aunado a lo anterior, la incorporación de alimentos biofortificados es un reto no solo a nivel social, también debe de ser implementado y fomentado en políticas, programas de gobierno, e inversiones públicas y privadas (Bouis y Saltzman, 2017).

Anteriormente hemos revisado lo que implica la biofortificación y sus perspectivas actuales y a futuro, la cual menciona a la biofortificación de cultivos alternativos por su rentabilidad para el agricultor, valor nutricional y tener una buena aceptación en el mercado para el consumo humano (Ayoub *et al.*, 2020), cubriendo los requisitos básicos para la efectividad de la biofortificación (Sida-Arreola *et al.*, 2015). La biofortificación agronómica, actualmente puede considerarse como la estrategia más accesible para el agricultor y un método rápido para el enriquecer y aumentar la biodisponibilidad de nutrientes del suelo hacia la planta, lo que implica, incrementar la absorción de elementos minerales y a la vez la biodisponibilidad en la planta para mantener un buen estado fitosanitario y óptimo desarrollo (Cakmak, 2008). Asimismo, la efectividad del proceso de biofortificación en un cultivo mediante manejo agronómico depende del método empleado (fertilización inorgánica, inorgánica y asociaciones biológicas) y su aplicación (Garg *et al.*, 2018). No obstante, aunque la fertilización mineral mediante productos químicos, es un método muy empleado

en la actualidad por su rapidez, en los últimos años no ha sido recomendable ambientalmente por su uso excesivo de productos químicos, ni ha sido considerado un método económico para la producción de alimentos, derivado de los costos elevados de producción. Por lo que, la fertilización biológica por medio del uso de microorganismos del suelo actualmente ha tomado mucho énfasis principalmente por tomarse como un método eficaz y sostenible ambientalmente hablado, al suministrar los nutrientes necesarios a la planta y mejorar las condiciones del suelo para una mayor biodisponibilidad de los mismos (Miransari, 2013). De acuerdo a la revisión de literatura, la práctica de aplicar microorganismos del suelo ha sido poco utilizada, pero presentan beneficios que nos pueden permitir una mayor fitodisponibilidad de los elementos minerales hacia la planta. Para autores como Garg *et al.* (2018) y Khan *et al.* (2019), el método de asociación simbiótica o mutualista con microorganismos del suelo a través de sus diferentes mecanismos de acción con la planta hospedante, puede ser considerado una práctica factible y con expectativas en el campo de los procesos hacia la biofortificación de cultivos principalmente en elementos minerales y la translocación eficiente en el tejido vegetal para su consumo, por acción de genes/proteínas involucradas en su translocación (Singh y Prasanna, 2020). Con expectativas para su implementación en los procesos de biofortificación por su eficiente manejo en la nutrición vegetal de los cultivos, fitosanidad, rentabilidad productiva y agentes mejoradores de la calidad del suelo, se pueden mencionar a los hongos y bacterias, como principales componentes de la microbiota del suelo y agentes benéficos de la rizósfera de las comunidades vegetales (Kaur *et al.*, 2020), principalmente las cianobacterias, conocidas como Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal o PGPR (Plant growth promoting rhizobacteria, por su acrónimo en inglés) (Shaikh y Saraf, 2017) y hongos micorrízicos, como principales transportadores de Zinc/Hierro del suelo a la planta (Khan *et al.*, 2019).

En cuanto al uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), se infiere que la participación de estos asociados a los cultivos agrícolas, pueden influir en la dinámica de los elementos minerales como el Cobre, Zinc, Hierro y Manganeseo, reflejándose en la concentración en su tejido vegetal por medio de la homeostasis de metales pesados y su actividad transcripcional. Tamayo *et al.* (2014), identificaron durante la fase simbiótica de la planta con HMA cerca de 30 genes transportadores de metales pesados, por medio de los procesos de expresión, transferencia y transcripción genómica. De los cuales se identifican ocho familias de genes transportadores, como CTR (Cobre), P1b-ATPasa (Cobre), SIT (SIT-Hierro), OFET (Hierro), VIT (Hierro/Manganeseo), ZIP (Zinc, Manganeseo), CDF (Hierro, Zinc, Manganeseo) y NRAMP (Hierro, Manganeseo, Hierro/Manganeseo). Ferrol *et al.* (2016), nos mencionan los principales participantes a los transportadores de Mn-Fe (SMF1), Cu fúngico (CTR), Cu vegetal (COPT), Cu-ATPasa (CCC2), Fe-Mn (CCC1.3), Fe permesasa (FTR1), Zn (ZRT1), permeasa

Zn-Fe (ZIP, algunos también transportan Mn) y CDF (Cation Diffusion Facilitador). Por lo que, durante la interface simbiótica fúngica-planta, se ha determinado un proceso de biofortificación de los tejidos vegetales de las plantas, ya que el proceso de fitoextracción-translocación de metales del suelo a la planta por medio de un intermediario como los HMA (vía micorrízica), incrementan la translocación de nutrientes, redistribuyéndolos con mayor eficiencia hacia el tejido vegetal de la planta (Tisserant *et al.*, 2013; Ferrol *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

En síntesis, la presente revisión es un análisis acerca de las implicaciones actuales que conlleva la biofortificación de alimentos en base la exhaustiva revisión de artículos científicos del sector público y privado, así como los avances de resultados en importantes programas internacionales y sociales referentes a la salud pública, inseguridad e insuficiencia alimentaria en el mundo. El artículo de revisión indagada en torno a los avances recientes en esta línea de investigación, su innovación y futuras aplicaciones para su sustentabilidad. Por lo que, se puede inferir que actualmente la biofortificación es una práctica que ha tomado relevancia desde su búsqueda al aumentar la concentración de elementos minerales a partir de la necesidad fisiológica de las plantas mediante el proceso dinámico de asimilar nutrientes esenciales del suelo para su metabolismo y óptimo desarrollo. Las perspectivas futuras de la biofortificación indagadas en esta revisión giran en torno al enriquecimiento de los cultivos en compuestos naturales esenciales para la salud humana como los carotenoides (β -caroteno, antocianinas, Zeaxantina, Astaxantina, Provitamina A, Licopeno, etc.) y el contenido de vitaminas (A, D, E, K, C, tiamina, niacina, B6, B12, etc.) en las raíces, hojas y en el fruto, así como en aumentar los rasgos de las características organolépticas (sabor, textura, etc.) para una mayor aceptación por parte del consumidor. La aplicación de microorganismos del suelo, es una alternativa viable como intervención agronómica para la biofortificación en cultivos, considerándose como un biofertilizante, tomando en cuenta varios aspectos como mayor rapidez en su manejo, accesibilidad al agricultor/productor, nivel de aceptación social mayor que otros métodos, reducción de costos de fertilización y mantener o superar los rendimientos de la producción agrícola deseada con respecto al cultivo implicado, que no solo mejorarán el estado fitosanitario de los cultivos, también mejorarán varias características organolépticas y nutricionales de las partes comestibles para el consumo humano. Lo que implica, incrementar la absorción de elementos minerales y a la vez su biodisponibilidad en la planta para mantener un buen estado fitosanitario y óptimo desarrollo a través de sus mecanismos de acción y su interacción. Por lo que, el empleo de

microorganismos del suelo es considerada una estrategia viable no solo para mejorar el estado fitosanitario y nutricional de la planta, también involucra los beneficios que proporciona al suelo y medio ambiente, así como su importancia en la restauración de ecosistemas.

LITERATURA CITADA

- AgroSalud. (2010). El impacto nutricional de cultivos biofortificados o cultivos con mayor calidad nutricional. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Recuperado de http://lac.harvestplus.org/wp-content/uploads/2015/02/cartilla-impacto-nutricional_impresion_feb12_10.pdf
- Almendros, P., Obrador, A., Gonzalez, D., y Alvarez, J. M. (2015). Biofortification of zinc in onions (*Allium cepa* L.) and soil Zn status by the application of different organic Zn complexes. *Scientia Horticulturae*, 186: 254-265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.023>
- Ansari, S. A., y Thapa, S. (2019). Biofortification of Food Crops: An Approach towards Improving Nutritional Security in South Asia. *IJAAS*, 6(12), 23-33. Recuperado de <https://ijaast.com/publications/vol6issue12/V6I1202.pdf>
- Ayoub, A., Mushtaq, M., Mir Z. A. y Dar, A. A. (2020) Biofortification in Fruits. In: Sharma, T.R., Deshmukh, R., Sonah, H. (eds) *Advances in Agri-Food Biotechnology*. Springer, Singapore. 131-151. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-2874-3_6
- Bañuelos, G.S., Arroyo, I., Pickering, I. J., Yang, S. I. y Freeman, J. L. (2015). Selenium biofortification of broccoli and carrots grown in soil amended with Se-enriched hyperaccumulator *Stanleya pinnata*. *Food chemistry*, 166, 603-608. doi: [10.1016/j.foodchem.2014.06.071](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.071)
- Barrameda-Medina, Y., Blasco, B., Lentini, M., Esposito, S., Baenas, N., Moreno, D.A. y Ruiz, J.M. (2017). Zinc biofortification improves phytochemicals and amino-acidic profile in Brassica oleracea cv. Bronco. *Plant science*, 258, 45-51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.02.004>
- BioFORT. (2015). Rede de BioFORT. Recuperado de <https://biofort.com.br/autor/redebiofort/> Birol, E., Meenakshi, J, V., Oparinde, A., Perez S. y Tomlins, K. (2015). Developing country consumers' acceptance of biofortified foods: a synthesis. *Food Security*, 7(3), 555-568. doi: [10.1007/s12571-015-0464-7](https://doi.org/10.1007/s12571-015-0464-7)

- Bouis, H. E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J. V. y Pfeiffer W.H. (2011). Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. *Food and nutrition bulletin*, 32(1_suppl1), S31-S40. doi: <https://doi.org/10.1177/15648265110321S105>
- Bouis, H. E., y Welch, R. M. (2010). Biofortification—a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. *Crop science*, 50, S-20. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.09.0531>
- Bouis, H., Saltzman, A., Low J., Ball A. y Covic N. (2017). An overview of the landscape and approach for biofortification in Africa. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 17(2), 11848-11864. doi: 10.18697/ajfand.78.HarvestPlus01
- Bouis, H., y Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2017. *Global Food Security*, 12, 49-58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009>
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?. *Plant and soil*, 302(1), 1-17. doi: 10.1007/s11104-007-9466-3
- Carranco Jáuregui, M. E., Calvo-Carrillo, M. y Pérez-Gil Romo, F. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 61(3), 233-241. Recuperado de <http://ve.scielo.org/pdf/alan/v61n3/art01.pdf>
- De Steur, H., Demont, M., Gellynck, X. y Stein, A. J. (2017). The social and economic impact of biofortification through genetic modification. *Current opinion in biotechnology*, 44, 161-168. doi: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.01.012>
- Di Gioia, F., Petropoulos, S.A., Ozores-Hampton, M., Morgan, K. y Roskopf, E. N. (2019). Zinc and Iron Agronomic Biofortification of Brassicaceae Microgreens. *Agronomy*, 9(11), 677. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy9110677> FAO. 2020. *Hambre e inseguridad alimentaria*. Recuperado de <http://www.fao.org/hunger/es/>.
- Ferrol, N., Tamayo, E. y Vargas, P. (2016). The heavy metal paradox in arbuscular mycorrhizas: from mechanisms to biotechnological applications. *Journal of experimental botany*. Vol. 67, (22), 6253–6265. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erw403>
- Fundación Valles. Fundación para el Desarrollo Tecnológico y Agropecuario de los Valles. (2019). *Memoria Institucional 2019*. Recuperado de <https://fundacionvalles.org/wp-content/uploads/2020/10/Memoria2019.pdf>

- García-Casal, M. N., Pena-Rosas, J. P., Giyose, B., De Steur, H. y Van Der Straeten, D. (2017). Staple crops biofortified with increased vitamins and minerals: considerations for a public health strategy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1390(1), 3-13. doi: <https://doi.org/10.1111/nyas.13293>
- Garg, M., Sharma, N., Sharma, S., Kapoor, P., Kumar, A., Chunduri, V. y Arora, P. (2018). Biofortified crops generated by breeding, agronomy and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world. *Frontiers in Nutrition*. 5:12. doi: <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00012>
- Giuliano, G. (2017). Provitamin A biofortification of crop plants: a gold rush with many miners. *Current opinion in biotechnology*, 44, 169-180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.02.001>
- Golob, A., Kroflič, A., Jerše, A., Kacjan, Maršič, N., Šircelj, H., Stibilj, V. y Germ, M. (2020). Response of Pumpkin to Different Concentrations and Forms of Selenium and Iodine, and their Combinations. *Plants*, 9(7), 899. doi: [10.3390/plants9070899](https://doi.org/10.3390/plants9070899)
- Golubkina, N., Kekina, H. y Caruso, G. (2018). Yield, quality and antioxidant properties of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) in response to foliar biofortification with selenium and iodine. *Plants*, 7(4), 80. doi: [10.3390/plants7040080](https://doi.org/10.3390/plants7040080)
- Gómez-Galera, S., Twyman, R. M., Sparrow, P. A., Van Droogenbroeck, B., Custers, R., Capell, T. y Christou, P. (2012). Field trials and tribulations—making sense of the regulations for experimental field trials of transgenic crops in Europe. *Plant biotechnology journal*, 10(5), 511-523. doi: [10.1111/j.1467-7652.2012.00681.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2012.00681.x)
- González, D., Almendros, P., Obrador, A. y Alvarez, J. M. (2019). Zinc application in conjunction with urea as a fertilization strategy for improving both nitrogen use efficiency and the zinc biofortification of barley. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(9): 4445-4451. doi: [10.1002/jsfa.9681](https://doi.org/10.1002/jsfa.9681)
- Guillén-Molina, M., Márquez-Quiroz, C., de la Cruz-Lázaro, E., Velázquez-Martínez, J. R., Parra, J. M. S., Carrillo, M. G. y Vidal, J. A. O. (2016). Biofortificación de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) con hierro y zinc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3427-3438. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.986>
- Haider, M. U., Farooq, M., Nawaz, A. y Hussain, M. (2018). Foliage applied zinc ensures better growth, yield and grain biofortification of mungbean. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(12): 2817-2822. doi: [10.5433/1679-0359.2021v42n2p487](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n2p487)

- Hefferon, K. L. (2016). Can biofortified crops help attain food security? *Current Molecular Biology Reports*, 2(4), 180-185. doi: 10.1007/s40610-016-0048-0
- Horibe, T., Sumi, H. y Teranobu, R. (2020). Zinc Biofortification of the Edible Cactus *Nopalea cochenillifera* Grown Under Hydroponic Conditions. *Environmental Control in Biology*, 58(2), 43-47. doi: <https://doi.org/10.2525/ecb.58.43>
- Hotz, C., y Brown, K.M. (2004). Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin*. 25, S99-S199. doi: <https://doi.org/10.1177/15648265040251S205>
- IDIAP (2016). *Primer Informe Diagnóstico Socioeconómico y Nutricional para el Proyecto AgroNutre Panamá*. Coop. Técnica-financiera de HarvestPlus, Universidad de Panamá, Ministerio de Salud y la FAO. Recuperado de <http://www.idiap.gob.pa/>
- Kaur, T., Rana, K. L., Kour, D., Sheikh, I., Yadav, N., Yadav, A. N., Singh Dhaliwal, H. y Saxena, A. K. (2020). Microbe-mediated biofortification for micronutrients: present status and future challenges. In *Trends of microbial biotechnology for sustainable agriculture and biomedicine systems: perspectives for human health*. Elsevier, Amsterdam: 1-17. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820528-0.00002-8>
- Khan, A., Singh, J., Upadhayay, V. K., Singh, A.V. y Shah, S. (2019). Microbial biofortification: a Green technology through plant growth promoting microorganisms. In: Shah, S., Venkatramanan, V., Prasad, R. (eds). *Sustainable Green Technologies for Environmental Management*. Springer, Singapore. (pp 255-269). doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-2772-8_13
- Kiferle, C., Gonzali, S., Holwerda, H.T., Real Ibaceta, R. y Perata, P. (2013). Tomato fruits: a good target for iodine biofortification. *Frontiers in plant science*, 4, 205. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00205>
- Landini, M., Gonzali, S. y Perata, P. (2011). Iodine biofortification in tomato. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174(3), 480-486. doi: 10.1002/jpln.201000395
- López, M. D., Revelo, M. C. y Pachón, H. (2008). El consumo y la producción familiar de fríjol, maíz, yuca, batata y arroz en un municipio rural en Colombia: Evaluación de la posibilidad de implementar la biofortificación de cultivos. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 10(1), 11-21. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10568/65899>

- López-Gutiérrez, M. D., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Valdez-Aguilar, L. A. Sandoval-Rangel, A. (2015). Selenio y su efecto en el estado antioxidante y la composición mineral de la lechuga. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(SPE12), 2257-2262. doi: <https://doi.org/10.29312>
- Mallari, S. (2019). ¿Cultivos biofortificados o biodiversidad? La lucha por verdaderas soluciones está en marcha. Recuperado de <https://grain.org/system/articles/pdfs/000/006/245/original/Biofortified%20Crops%20ES%2002.pdf?1559642333>
- Mayer, J. E., Pfeiffer, W. H. y Beyer, P. (2008). Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. *Current opinion in plant biology*, 11(2), 166-170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.01.007>
- Melgoza, F.A.G., Escalante, F.B., Cavazos, C.J.L, Torres, V.R., De las Nieves Rodríguez-Mendoza, M., Fuentes, J.A.G. y Mendoza, A. B. (2016). Respuesta de las plantas de melón a las aplicaciones de yoduro de potasio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3465-3475. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149506007.pdf>
- Merinero de los Santos, M., Pérez-Aranda Redondo, M., Begines Ruiz, B., Martín Valero, M. J., Navarro de la Torre, S., Rodríguez Llorente, I. D., Pajuelo-Dominguez E. y Alcudia-Cruz A. (2020). Biofortificación de plantas de *Medicago sativa* mediante el uso de nanopartículas cargadas con hierro. In: Beltrán-Custodio, A. y Félix Ángel, M. (eds) *La investigación de hoy, el futuro de mañana*. (pp 77-81). doi: 10.17993/IngyTec.2020.61
- Miransari, M. (2013). Soil microbes and the availability of soil nutrients. *Acta physiologiae plantarum*, 35(11), 3075-3084. doi: 10.1007/s11738-013-1338-2
- Monserrate Rojas, F. A., Pachón, H., Hyman, G. G. y Vesga-Varela, A. L. (2009). Metodología para seleccionar zonas de intervención con cultivos biofortificados. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 26, 419-428. Recuperado de <https://scielosp.org/pdf/rpsp/2009.v26n5/419-428/es>
- Morales-Morales, A. E., Alvarado-López, C. J., Andueza-Noh, R. H., Tun-Suarez, J. M. y Medina, K. B. (2020). Calidad nutrimental y nutrécica en ejotes de caupí (*Vigna unguiculata* [L] walp.) de la península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*: 7(3) e2541. doi: <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2541>
- Nair, R. M., Yang, R. Y., Easdown, W. J., Thavarajah, D., Thavarajah, P., Hughes, J. D. A. y Keatinge, J. D. H. (2013). Biofortification of mungbean (*Vigna radiata*) as a whole food to enhance human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(8): 1805-1813. doi: 10.1002/jsfa.6110

- Nestel, P., Bouis, H. E., Meenakshi, J. V. y Pfeiffer, W. (2006). Biofortification of staple food crops. *The Journal of nutrition*, 136(4), 1064-1067. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/136.4.1064>
- Pfeiffer, W.H., y McClafferty, B. (2007). HarvestPlus: Breeding crops for better nutrition. *Crop Sci.* 47: S88-S105. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0020IPBS>
- Prasad, B. V. G., Mohanta, S., Rahaman, S. y Bareilly, P. (2015). Bio-fortification in horticultural crops. *J. Agric. Eng. Food Technol*, 2(2), 95-99. Recuperado de: https://chesci.com/wp-content/uploads/2017/07/V6i22_87_CS042048053_Irene_1227-
- Qaim, M., Stein, A. J. y Meenakshi, J. V. (2007). Economics of biofortification. *Agricultural Economics*, 37, 119-133. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2007.00239.x>
- Ramírez-Jaspeado, R., Palacios-Rojas, N., Funes, J., Pérez, S. y Donnet, M. (2018). Identificación de áreas potenciales en México para la intervención con maíz biofortificado con zinc. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(3), 327-337. doi: <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.327-337>
- Ramírez-Jaspeado, R., Palacios-Rojas, N., Nutti, M. y Pérez, S. (2020). Estados potenciales en México para la producción y consumo de frijol biofortificado con hierro y zinc. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(1), 11-23. doi: <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.11>
- Reyes, B., Gómez, L. y Rodríguez, C. (2020). Apoyando a productores nicaragüenses con semilla de frijol biofortificado en tiempos de COVID-19. Alianza Bioversity-CIAT/Programa HarvestPlus. Recuperado de <https://alliancebioversityciat.org/es/node/16146>
- Rietra, R. P.J.J., Heinen, M., Dimkpa, C. O. y Bindraban, P.S. (2017). Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 48(16), 1895-1920. doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>
- Rugeles-Reyes, S. M., Cecilio-Filho, A. B., López-Aguilar, M. A. y Silva, P. H. S. (2019). Foliar application of zinc in the agronomic biofortification of arugula. *Food Science and Technology*, 39(4), 1011-1017. doi: <https://doi.org/10.1590/fst.12318>
- Saltzman, A., Birol, E., Bouis, H.E., Boy, E., De Moura, F.F, Islam, Y. Pfeiffer, W. H. (2013) Biofortification: progress toward a more nourishing future. *Global Food Security*. 2(1):9-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2012.12.003>

- Saltzman, A., Birol, E., Oparinde, A., Andersson, M.S, Asare-Marfo, D., Diressie, M.T. y Zeller, M. (2017). Availability, production, and consumption of crops biofortified by plant breeding: current evidence and future potential. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1390(1), 104-114. doi: 10.1111/nyas.13314
- Shahzad, Z., Rouached, H. y Rakha, A. (2014). Combating mineral malnutrition through iron and zinc biofortification of cereals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 13:329-346. doi: 10.1111/1541-4337.12063
- Shaikh, S., y Saraf, M. (2017). Biofortification of *Triticum aestivum* through the inoculation of zinc solubilizing plant growth promoting rhizobacteria in field experiment. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 9:120-126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.12.008>
- Shivay, Y., S., Prasad, R. y Pal, M. (2015). Effects of source and method of zinc application on yield, zinc biofortification of grain, and Zn uptake and use efficiency in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(17): 2191-2200. doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1069320>
- Sida-Arreola, J. P., Sánchez, E., Ávila-Quezada, G. D., Acosta-Muñoz, C. H., y Zamudio-Flores, P. B. (2015). Biofortificación con micronutrientes en cultivos agrícolas y su impacto en la nutrición y salud humana. *Tecnociencia Chihuahua*, 9(2), 67-74. Recuperado de <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/download/591/580/>
- Singh, D., y Prasanna, R. (2020). Potential of microbes in the biofortification of Zn and Fe in dietary food grains. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(2): 1-21. doi: 10.1007/s13593-020-00619-2
- Smoleń, S, Kowalska I., Kováčik, P., Sady, W., Grzanka, M. y Kutman, U. B. (2019). Changes in the Chemical Composition of Six Lettuce Cultivars (*Lactuca sativa* L.) in Response to Biofortification with Iodine and Selenium Combined with Salicylic Acid Application. *Agronomy*, 9(10), 660. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy9100660>
- Tamayo, E., Gómez-Gallego, T., Azcón-Aguilar, C. y Ferrol, N. (2014). Genome-wide analysis of copper, iron and zinc transporters in the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis*. *Frontiers in Plant Science* 5: 547. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00547>
- Tisserant, E., Malbreil, M. y Kuo, A. (2013). Genome of an arbuscular mycorrhizal fungus provides insight into the oldest plant symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(50), 20117-20122. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00547>

UNICEF. (2019). Malnutrition rates remain alarming: stunting is declining too slowly while wasting still impacts the lives of far too many young children. Recuperado de <https://data.unicef.org/topic/%20nutrition/malnutrition/>

Velázquez-Gamboa, M.C., Rodríguez-Hernández, L., Abud-Archila, M., Gutiérrez-Miceli, F.A., González-Mendoza, D., Valdez-Salas, B. y Luján-Hidalgo, M. C. (2020). Agronomic Biofortification of Stevia rebaudiana with Zinc Oxide (ZnO) Phytonanoparticles and Antioxidant Compounds. Sugar Tech. 23(2), 453-460. doi: <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00897-w>

Viruez, J., Yonekura, P., Taboada, R., Borrero, J. y Grenier, C. (2016). Arroz biofortificado para bolivia-proyecto harvestplus. In: Reunión Anual del Programa de Cooperación Centroamericana para el Mejoramiento de Cultivos y Animales: Resúmenes. INTA. San José: INTA, Résumé, LXI PCCMCA.

Zheng, X., Giuliano, G. y Al-Babili, S. (2020). Carotenoid biofortification in crop plants: citius, altius, fortius. Biochimica et BiophysicaActa (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids, 1865(11), 158664. doi: 10.1016/j.bbalip.2020.158664

SINTESIS CURRICULAR

José Alberto Gío Trujillo

Ingeniero Agrónomo por el Tecnológico Nacional de México, Campus Tizimín (2008-2012). Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales Tropicales por la Universidad Autónoma de Yucatán (2014-2016). Estudiante del Doctorado en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable. Tecnológico Nacional de México, campus Conkal (2020). Correo institucional: DD20800277@conkal.tecnm.mx

Carlos Juan Alvarado López

Licenciado en Ingeniería Química por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (1997-2003). Maestría en Ciencias en Biotecnología: opción Ciencia y Biotecnología de Enzimas por la Universidad Autónoma de Coahuila (2004-2007). Doctorado en Ciencias Biológicas opción en Biología Experimental por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (2007 -2011). Cátedras-

CONACYT en el Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Departamento de posgrado. SIN: I. Correo institucional: carlos.alvarado@itconkal.edu.mx

Neith Aracely Pacheco López

Licenciatura en Ingeniería de los Alimentos. por la UAMI (1999-2004). Maestría en biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (2004-2006). Doctorado en Materiales macromoleculares (Universidad Claude Bernard de Lyon 1 Francia), Doctorado en biotecnología (Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Obtenido por programa en Cotutela (2006-2010). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño de del Estado de Jalisco. Investigadora Titular C. SIN: I. Correo institucional: npacheco@ciatej.net.mx

Jairo Cristóbal Alejo

Licenciatura en Sistemas de Producción Agrícola: Instituto Tecnológico No. 25 de Cd. Altamirano, Gro. (1986-1991). Maestría en Ciencias en: Fitopatología. Colegio de Postgraduados (1992-1993). Doctorado en Ciencias en: Fitopatología. Colegio de Postgraduados (1998-2000). Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Departamento de posgrado. SIN: I. Correo institucional: jairo.cristobal@itconkal.edu.mx

Arturo Reyes Ramírez

Licenciatura en Química Clínica. Universidad Veracruzana (1983-1988). Maestría en Ciencias: Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Veracruz (1997-2000). Doctorado en Ciencias: Biotecnología de Plantas. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Irapuato del IPN (2001-2005). Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Departamento de posgrado. SIN: I. Correo institucional: arturo.reyes@itconkal.edu.mx

SUPERVIVENCIA DE *ESCHERICHIA COLI* Y *SALMONELLA* *TYPHIMURIUM* EN AGUA RECREATIVA DE RÍO

SURVIVAL OF *ESCHERICHIA COLI* AND *SALMONELLA* *TYPHIMURIUM* IN RECREATIONAL RIVER WATER

María de Jesús **Moreno-Montoya**¹; Irvin **González-López**²; Cristóbal **Chaidez-Quiroz**³ y Osvaldo **López-Cuevas**⁴

Resumen

En México, la utilización de los ríos como centros recreativos impulsa la economía regional, sin embargo, la mayoría de éstos no cumplen con la seguridad y calidad del agua, por lo que cada día se incrementa el riesgo microbiológico derivado de malas prácticas de higiene y las descargas de desechos industriales y urbanos, quedando la salud pública expuesta debido a la deficiencia en el

monitoreo de patógenos asociados a brotes infecciosos. *Escherichia coli* (*E. coli*) y *Salmonella* Typhimurium (*S. Typhimurium*) presentan alta prevalencia en ríos de Sinaloa, son consideradas indicadores de contaminación, y son de las principales causantes de infecciones gastrointestinales a nivel mundial, por su capacidad de sobrevivir en numerosos entornos naturales. Por ello, en esta investigación, se evaluó la supervivencia

¹ Profesora de Tiempo Completo. Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis, Sinaloa, México. Boulevard Macario Gaxiola y Carretera Internacional S/N, Colonia Las Malvinas CP 81216. Número de teléfono 6681373971. Correo electrónico mjmore@gmail.com y maria.moreno@uadeo.mx

² Estudiante de Doctorado en Ciencias. Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIIA – CIAD). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a Eldorado Km. 5.5, AP 32-A, Campo El Diez, Culiacán, Sinaloa CP 80110, México. Número de teléfono 6871255117. Correo electrónico irvin.gonzalez@estudiantes.ciad.mx

³ Investigador y Director del Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIIA – CIAD). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a Eldorado Km. 5.5, AP 32-A, Campo El Diez, Culiacán, Sinaloa CP 80110, México. Número de teléfono 6672246438. Correo electrónico chaqui@ciad.mx

⁴ Investigador. Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIIA – CIAD). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a Eldorado Km. 5.5, AP 32-A, Campo El Diez, Culiacán, Sinaloa CP 80110, México. Número de teléfono 66 72672848. Correo electrónico Osvaldo.lopez@ciad.mx

de ambas bacterias en agua recreativa del río Fuerte, San José de Ahome, Sinaloa, México. Para determinar la supervivencia bacteriana se utilizaron muestras de agua de dos ubicaciones del río, previo y posterior al periodo vacacional de semana santa 2019. A cada muestra se le determinó la concentración de sólidos disueltos totales, y fue inoculada con *E. coli* y *S. Typhimurium* de manera independiente, a una concentración de $6 \text{ Log}_{10} \text{ UFC mL}^{-1}$, simulando las condiciones del río en el laboratorio. Para esto, ambas bacterias fueron evaluadas cada 48 h mediante la técnica de extensión en placa. Los resultados obtenidos mostraron que ambas bacterias previo al periodo de semana santa sobrevivieron 12 días, con $6.2 \times 10^1 \text{ UFC mL}^{-1}$ y $4.5 \times 10^1 \text{ UFC mL}^{-1}$ de *E. coli*, en los puntos de muestreo 1 y 2 respectivamente y, $4.66 \times 10^1 \text{ UFC mL}^{-1}$ y $5.4 \times 10^1 \text{ UFC mL}^{-1}$ de *S. Typhimurium* en los puntos de muestreo 1 y 2, respectivamente; asimismo, posterior al periodo vacacional sobrevivieron $1.2 \times 10^2 \text{ UFC mL}^{-1}$ hasta el día 16 y 4 UFC mL^{-1} hasta el día 20 de *E. coli* en los puntos de muestreo 1 y 2, respectivamente, también $1.65 \times 10^2 \text{ UFC mL}^{-1}$ hasta el día 16 y 22 UFC mL^{-1} de *S. Typhimurium* hasta el día 22, en los puntos de muestreo 1 y 2, respectivamente. Por medio de comparación de medias con la prueba de Tukey, se demostró que hay diferencias significativas entre la supervivencia de *E. coli* y *S. Typhimurium* en las fechas de muestreo, lo cual podría atribuirse a la capacidad de utilización de nutrientes, derivado de los desechos orgánicos generados por la afluencia humana.

Palabras clave: agua de río, afluencia, desechos.

Abstract

In Mexico, the use of rivers as recreational centers drives the regional economy, however, most of these do not comply with the safety and quality of the water, therefore the microbiological risk derived from poor

hygiene practices and discharges of industrial and urban waste increases every day, leaving public health exposed due to the deficiency in the monitoring of pathogens associated with infectious outbreaks. *Escherichia coli* (*E. coli*) and *Salmonella Typhimurium* (*S. Typhimurium*) have a high prevalence in rivers of Sinaloa, they are considered indicators of contamination and are of the main causes of gastrointestinal infections worldwide, due to their ability to survive in numerous natural environments. Therefore, in this research, the survival of both bacteria in recreational water from the Fuerte River, San José de Ahome, Sinaloa, Mexico, was evaluated. To determine bacterial survival, water samples from two river locations were used, before and after the 2019 Easter holiday period. The concentration of total dissolved solids was determined for each sample, and these were inoculated with *E. coli* and *S. Typhimurium* independently, at a concentration of $6 \text{ Log}_{10} \text{ CFU mL}^{-1}$, simulating river conditions in the laboratory. For this, both bacteria were evaluated every 48 h using the plate extension technique. The results obtained showed that both bacteria prior to the Easter period survived 12 days, with $6.2 \times 10^1 \text{ CFU mL}^{-1}$ and $4.5 \times 10^1 \text{ CFU mL}^{-1}$ of *E. coli* at sampling points 1 and 2, respectively and, $4.66 \times 10^1 \text{ CFU mL}^{-1}$ and $5.4 \times 10^1 \text{ CFU mL}^{-1}$ of *S. Typhimurium* at sampling points 1 and 2, respectively; likewise, after the holiday period they survived $1.2 \times 10^2 \text{ CFU mL}^{-1}$ until day 16 and 4 CFU mL^{-1} until day 20 of *E. coli* at sampling points 1 and 2, respectively, also $1.65 \times 10^2 \text{ CFU mL}^{-1}$ until day 16 and 22 CFU mL^{-1} until day 22 of *S. Typhimurium*, at sampling points 1 and 2, respectively. By comparison of means with the Tukey test showed that, there are significant differences between the survival of *E. coli* and *S. Typhimurium* in the sampling dates, which could be attributed to the capacity to use nutrients, derived from the organic waste generated by human influx.

Key words: river water, influx, waste.

INTRODUCCIÓN

Los ríos y arroyos de México constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, en la que destacan cincuenta ríos principales (Tabla 1 y Figura 1), por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país. Por la superficie que abarcan, destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, y por su longitud destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. Los ríos Lerma, Nazas y Aguanaval pertenecen a la vertiente interior. Dos tercios del escurrimiento superficial pertenece a siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá, a la vez que sus cuencas representan el 22% de la superficie de nuestro país (CONAGUA, 2011).

Tabla 1. Listado de los ríos principales por vertiente

No.	Río	Eskurrimiento natural medio superficial (millones de m ³ /año)	Vertiente
1	Balsas	16 587	Pacífico y Golfo de California
2	Santiago	7 849	Pacífico y Golfo de California
3	Verde	5 937	Pacífico y Golfo de California
4	Ometepec	5 779	Pacífico y Golfo de California
5	El Fuerte	5 176	Pacífico y Golfo de California
6	Papagayo	4 237	Pacífico y Golfo de California
7	San Pedro	3 417	Pacífico y Golfo de California
8	Yaqui	3 163	Pacífico y Golfo de California
9	Culiacán	3 122	Pacífico y Golfo de California
10	Suchiate	2 737	Pacífico y Golfo de California
11	Ameca	2 236	Pacífico y Golfo de California
12	Sinaloa	2 100	Pacífico y Golfo de California
13	Armería	2 015	Pacífico y Golfo de California
14	Coahuayana	1 867	Pacífico y Golfo de California
15	Colorado	1 863	Pacífico y Golfo de California
16	Baluarte	1 838	Pacífico y Golfo de California
17	San Lorenzo	1 680	Pacífico y Golfo de California
18	Acaponeta	1 438	Pacífico y Golfo de California
19	Piactla	1 415	Pacífico y Golfo de California

20	Presidio	1 250	Pacífico y Golfo de California
21	Mayo	1 232	Pacífico y Golfo de California
22	Tehuantepec	950	Pacífico y Golfo de California
23	Coatán	751	Pacífico y Golfo de California
24	Tomatlán	668	Pacífico y Golfo de California
25	Marabasco	648	Pacífico y Golfo de California
26	San Nicolás	543	Pacífico y Golfo de California
27	Elota	506	Pacífico y Golfo de California
28	Sonora	408	Pacífico y Golfo de California
29	Concepción	123	Pacífico y Golfo de California
30	Matape	90	Pacífico y Golfo de California
31	Tijuana	78	Pacífico y Golfo de California
32	Sonoyta	16	Pacífico y Golfo de California
33	Grijalva-Usumacinta	115 536	Golfo de México y Mar Caribe
34	Papaloapan	44 662	Golfo de México y Mar Caribe
35	Coatzacoalcos	28 093	Golfo de México y Mar Caribe
36	Pánuco	20 330	Golfo de México y Mar Caribe
37	Tonalá	11 389	Golfo de México y Mar Caribe
38	Tecolutla	6 095	Golfo de México y Mar Caribe
39	Bravo	5 588	Golfo de México y Mar Caribe
40	Jamapa	2 563	Golfo de México y Mar Caribe
41	Nautla	2 217	Golfo de México y Mar Caribe
42	La Antigua	2 139	Golfo de México y Mar Caribe
43	Soto La Marina	2 086	Golfo de México y Mar Caribe
44	Tuxpan	2 076	Golfo de México y Mar Caribe
45	Candelaria	2 011	Golfo de México y Mar Caribe
46	Cazones	1 712	Golfo de México y Mar Caribe
47	San Fernando	1 545	Golfo de México y Mar Caribe
48	Hondo	533	Golfo de México y Mar Caribe
49	Lerma	4 742	Interior
50	Nazas-Aguanaval	1 912	Interior
	Total	336 948	

Fuente: Conagua Subdirección General Técnica.



Figura 1. Mapa de los ríos principales de México.

Fuente: Conagua Subdirección General Técnica.

La contaminación o alteración de la calidad del agua reduce el volumen disponible para uso y consumo humano, así como para el funcionamiento de diversos ecosistemas (Espinosa-García et al., 2010). De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en México el 70% de los recursos de agua dulce disponible están afectados por la contaminación y el 30% se describe como extremadamente contaminado (Mendoza, 2014). Los ríos constituyen la fuente principal de abastecimiento del agua potable para las poblaciones humanas (EPA, 2012). La población produce grandes cantidades de aguas residuales, que deben ser depuradas apropiadamente para evitar la contaminación de los efluentes, siendo los ríos los cuerpos de agua más vulnerables a la contaminación, por su relación con las aguas industriales, la escorrentía de la agricultura y las tierras urbanas (Wang et al., 2011). Se han dado casos, como en el río San Pedro, considerado el principal cuerpo de agua superficial del Estado de Aguascalientes, donde se identificó un alto grado de contaminación derivado de las descargas municipales e industriales (Guzmán et al., 2011). De manera similar, se generó una apreciación generalizada sobre la calidad del agua del río Tlapaneco, en el estado de Guerrero, que fue de regular a muy mala, y no adecuada para su uso recreativo, además los usuarios se mostraron escépticos sobre el papel de las instituciones gubernamentales en la solución del problema (Bustamante et al., 2016). Asimismo, en la cuenca media del río Fuerte, en el norte de Sinaloa, durante el verano de 2012, se identificaron puntos de riesgo en la calidad del agua para uso público, ninguna área muestreada fue recomendable para uso recreativo y en época de sequía, la descarga de aguas del río Fuerte y drenes, previas a su

desembocadura en aguas continentales representaron un riesgo para la salud (González et al., 2016); así también en las riberas del río Fuerte, Sinaloa, se han visto incrementadas las cantidades de basura durante los fines de semana, por la gran afluencia de visitantes (Jolie, 2019); y de acuerdo con Chaidez et al. (2020) y Medrano et al. (2017), se demostró la habilidad de diferentes cepas de *Salmonella* para adaptarse y sobrevivir en ríos de Sinaloa.

La contaminación fecal es el principal riesgo sanitario en el agua, debido a la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en humanos. Por ello, el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población (Ramos et al., 2008). El monitoreo para un grupo de patógenos puede dar una falsa impresión de seguridad, si otros patógenos no identificados están presentes (Ríos et al., 2017). Para determinar la contaminación por patógenos en el agua de río, se toma como indicador a los coliformes fecales, donde el límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas al suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 Número Más Probable de Coliformes fecales por cada 100 mililitros (NMP/100 mL) para el promedio mensual y diario, respectivamente, de acuerdo a lo especificado en la NOM-001-SEMARNAT-1996 (que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales). Se han utilizado una serie de indicadores de contaminación fecal (Larrea et al., 2013) de los cuales, *Escherichia coli* es de los principales causantes de infecciones gastrointestinales (Bush, 2020; Gatti, 2014) en América Latina, África y Asia, principalmente en niños menores de 5 años, y una de las principales causas de muerte en poblaciones pobres de África y el sudeste asiático (Gómez, 2014). Se tienen registros que mueren en el mundo entre 0.8 y 2 millones de niños, siendo la segunda causa de muerte, después de las infecciones respiratorias (Gómez, 2014). Igualmente, las infecciones originadas por *Salmonella*, causan aproximadamente 1.4 millones de casos de enfermedades transmitidas por alimentos y más de 400 muertes anualmente en los Estados Unidos (USDA, 2011). *Salmonella entérica* presenta más de 2,600 serotipos en los seres humanos, de los cuales Typhimurium y Enteritidis lideran los reportes de brotes diarreicos (Contreras-Soto et al., 2019). Los serotipos de *Salmonella entérica* son capaces de crecer y sobrevivir en numerosos entornos naturales, al detectar y responder al estrés ambiental (Spector y Kenyon, 2012) y, aunque el número de enfermedades gastrointestinales asociados con el uso de aguas recreativas es desconocido, la frecuencia de estudios sobre la presencia de parásitos y otros patógenos en el agua ha aumentado (Magana et al., 2010).

El presente trabajo de investigación se realizó para comparar *in vitro* la supervivencia de las bacterias *E. coli*, y *S. Typhimurium* inoculadas en muestras

de agua de uso recreativo del río Fuerte, San José de Ahome, Sinaloa, tomadas antes y después del periodo de semana Santa 2019, y relacionarlo con la cantidad de sólidos totales presentes en el agua recreativa del río, en referencia a la generación de microorganismos, por la afluencia de sus visitantes.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

El río Fuerte se localiza al noroeste de México, dentro del distrito de riego número 10, del estado de Sinaloa. Tiene sus orígenes en el estado de Chihuahua, desciende por la Sierra Madre Occidental y desemboca por el estado de Sinaloa hacia el Océano Pacífico, en el Golfo de California (SEMARNAT, 2016). La principal actividad de esta región es la agricultura y en algunos sitios, como San José de Ahome se llevan a cabo actividades recreativas, principalmente en semana santa, por ser utilizado como centro balneario de un gran porcentaje de la población.

Se seleccionaron dos puntos de muestreo 1 y 2; (Figura 2) con base en la afluencia de visitantes por temporada, con coordenadas $25^{\circ}56'37.14''\text{N}$, $109^{\circ}16'04.19''\text{O}$ y $25^{\circ}56'33.324''\text{N}$, $109^{\circ}16'02.382''\text{O}$, respectivamente. Se llevaron a cabo dos muestreos, el día 17 de febrero y el 23 de abril de 2019, previo y posterior al periodo de semana santa, respectivamente.



Figura 2. Ubicación geográfica de puntos de muestreo. Río Fuerte, San José de Ahome, Sinaloa.

Las muestras se recolectaron en los márgenes del río, a una profundidad de 30 centímetros, en contenedores de polietileno, previamente estériles. Posteriormente, se colocaron dentro de una hielera refrigerada, a una temperatura de 4 a 8 °C, evitando en todo momento la contaminación de las muestras, las cuales se transportaron de inmediato a las instalaciones de la Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis, para realizar los análisis correspondientes. Se realizaron determinaciones de sólidos disueltos totales, reportados en miligramos por litro (mg/L), de acuerdo a la American Public Health Association (APHA, por siglas en inglés) (2017), para lo cual se utilizó un horno de secado (Felisa FE 291) y una balanza electrónica (CHIMADZU AY220). Para determinar la supervivencia en agua de río, se utilizaron las cepas de *Escherichia coli*, (ATCC 25922) y *Salmonella* Typhimurium (ATCC 14028), obtenidas del cepario del Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIA), del Centro de Investigación y Alimentación y Desarrollo (CIAD) Coordinación Culiacán, Sinaloa. Las cepas se encontraban almacenadas a -80 °C en crio-preservación. Para la reactivación se utilizó un asa de platino estéril, tomando una muestra de cada bacteria y se inoculó por separado en 5 mL de Caldo de Soya Trypticaseína (TSB, por siglas en inglés) contenidos en tubos de cultivo y, se incubaron a 37 °C por 24 h (Microbank, ProLab Diagnostics, U.S.A.). Para confirmar la presencia de colonias con características de *E. coli* y *S. Typhimurium*, se tomó una muestra de cada suspensión bacteriana, fueron estriadas en Agar XLD y Agar MacConkey (BD Bioxon, México) respectivamente, y se incubaron a 37 °C por 24 h. Una vez reactivadas, se tomó una colonia característica de cada una y se cultivaron en 50 mL de TSB, se incubaron a 37 °C durante 24 h bajo condiciones aerobias (incubadora Shel Lab SM16). Posterior a la incubación, la suspensión celular se purificó dos veces por centrifugación a 10,000 gravedades (*g*) por 10 minutos (centrifuga Thermo Scientific Leyend XTR). Las bacterias *E. coli* y *S. Typhimurium*, fueron inoculadas en un litro de agua recreativa obtenida del río Fuerte, contenidos en vasos de precipitado de vidrio, para los dos puntos de muestreo y periodos de muestreo (previo y posterior a semana santa). Se homogeneizaron suavemente con el uso de un agitador magnético en una parrilla eléctrica (IKA C-MAGHS10), y se colocaron cerca de la luz del sol, para simular características cercanas a las que se exponen en el agua del río. La concentración inoculada fue de 6 Log₁₀ en Unidades Formadoras de Colonia por mililitro (UFC mL⁻¹). Posteriormente, se realizaron recuentos bacterianos cada 48 horas. Se efectuaron diluciones seriadas de 1/10, 1/100, 1/1000, 1/10000, 1/100000 y 1/1000000, en tubos de ensayo con 9 mL de agua purificada estéril. Se usaron placas de Petri, conteniendo agar de bilis y rojo violeta como medio de cultivo; se utilizó un control negativo, conteniendo agua estéril sin inocular para verificar la esterilidad, con el método de siembra de extensión superficial en placa. Las placas inoculadas se incubaron a una temperatura de 35 ±2 °C, de 18 a 24 h para ambas bacterias (MCD-Lab,

2012), en una incubadora (Felisa FE 132). Para cuantificar las bacterias en UFC mL⁻¹ de agua recreacional del río, se utilizó un contador de colonias (Felisa FE 500).

Se realizaron cinco determinaciones de sólidos disueltos totales en cada uno de los puntos de muestreo, tanto previo, como posterior al periodo vacacional y, tres determinaciones de cada bacteria, por día.

Para evaluar el efecto de las variables (periodo de semana santa y puntos de muestreo) sobre los parámetros involucrados en la supervivencia bacteriana del agua recreacional (% sólidos disueltos totales y conteo bacteriano), se realizó un diseño experimental de factorial al azar con dos factores y dos niveles cada uno, tomando como factores a las variables y como respuestas o variables de respuesta a los parámetros, para cada bacteria. El análisis e interpretación de los resultados, se llevó a cabo por medio de comparación de medias de los tratamientos con el uso de la Prueba de Tukey, para las variables en la sobrevivencia de *E. coli* y *S. Typhimurium* (en Log₁₀ UFC mL⁻¹), mediante el uso del paquete estadístico SAS 2002, versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del promedio de las 5 repeticiones realizadas en cada uno de los puntos de muestreo, demostraron que los valores de sólidos disueltos totales posterior al periodo de semana santa fueron superiores aproximadamente 180 veces en comparación con los obtenidos previo a este periodo (Tabla 2).

Tabla 2. Sólidos disueltos totales del agua recreacional del Río Fuerte

Respecto al periodo de semana santa	Punto de muestreo	Hora de muestreo	Sólidos disueltos totales (mg/L)
PREVIO	1	12:18	5.467
	2	12:55	5.868
POSTERIOR	1	11:06	930
	2	11:24	1100

Fuente: Elaboración propia.

El análisis estadístico mostró que hay diferencias significativas de los resultados, entre los muestreos previos y posteriores del período vacacional, dado el valor de $P < 0.0001$, con 95 % de confiabilidad ($\alpha=0.05$).

Los sólidos disueltos totales son material soluble constituido por sales inorgánicas y materia orgánica que puede ser una fuente importante de compuestos tóxicos y afectar el crecimiento microbiano (Medrano et al., 2017). De acuerdo con los resultados generados de las muestras de agua del río Fuerte, se puede apreciar que no se afectó el desarrollo bacteriano, para este caso, por el contrario, aumentaron (Tabla 3). El incremento de los sólidos disueltos totales podría estar propiciado por la acentuación de los residuos generados por la afluencia humana durante el periodo vacacional 2019.

Con respecto a los resultados de conteos bacterianos, el análisis estadístico indicó que hay diferencias significativas en la supervivencia de las bacterias *E. coli* y de *S. Typhimurium*, entre los muestreos previos y posteriores del período vacacional de cada bacteria, dado el valor de $P < 0.0001$, con 95 % de confiabilidad ($\alpha=0.05$), y R^2 de 0.8404.

Tabla 3. Conteos bacterianos en el agua recreacional *in vitro* del Río Fuerte

Respecto al periodo de semana santa	Día	UFC mL ⁻¹ <i>E. coli</i>		UFC mL ⁻¹ <i>S. Typhimurium</i>	
		Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2	Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2
		PREVIO	0	1.21X10 ⁶	2.4X10 ⁶
	2	8.54X10 ⁸	5.055X10 ⁸	3.13X10 ⁸	3.82X10 ⁸
	4	9.03X10 ⁸	9.1X10 ⁸	1.27X10 ⁸	9.75X10 ⁸
	6	6.72X10 ⁶	1.43X10 ⁶	1.685X10 ⁶	9.98X10 ⁶
	8	5.25X10 ⁴	1.175X10 ⁴	9.5X10 ⁴	4.1X10 ⁴
	10	1.22X10 ²	1.55X10 ²	1.61X10 ²	1.68X10 ²
	12	6.2X10 ¹	4.5X10 ¹	4.66X10 ¹	5.4X10 ¹
POSTERIOR	14	0	0	0	0
	0	2.32X10 ⁶	2.37X10 ⁶	6.15X10 ⁶	2.09X10 ⁶
	2	1.35X10 ⁸	4.37X10 ⁸	6.23X10 ⁷	4.26X10 ⁷
	4	2.72X10 ⁹	9.95X10 ⁷	7.06X10 ⁷	3.46X10 ⁷
	6	5.21X10 ⁹	8.25X10 ⁷	8.45X10 ⁶	8.53X10 ⁸

8	3.74×10^8	5.43×10^9	6.12×10^7	1.43×10^9
10	1.58×10^7	2.51×10^9	5.4×10^6	1.46×10^7
12	2.37×10^6	2.39×10^8	7.61×10^5	2.58×10^5
14	6.08×10^4	4.56×10^7	9.12×10^3	7.96×10^4
16	1.2×10^2	3.81×10^4	1.65×10^2	3.74×10^2
18	0	1.8×10^2	0	22
20	0	4	0	0
22	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los conteos bacterianos en el tiempo, se muestran en la Figura 1.

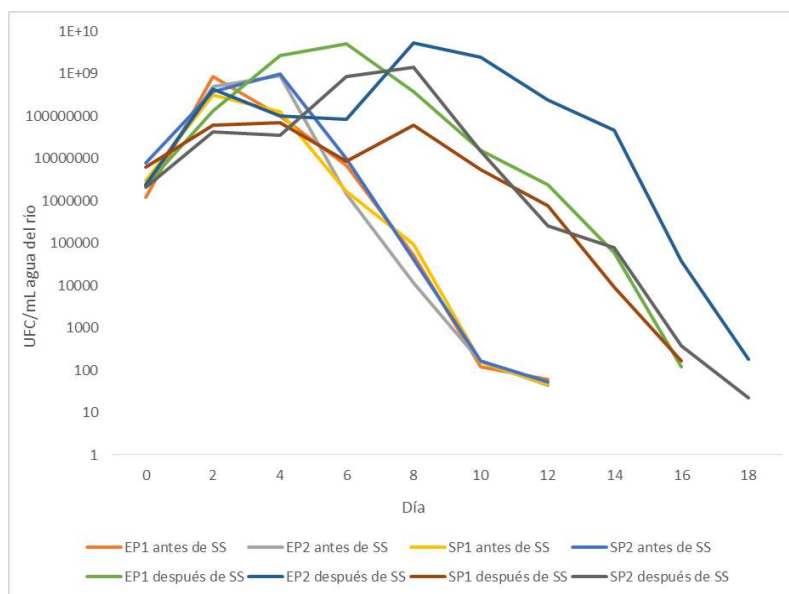


Figura 1. Resultados de los conteos bacterianos en el tiempo.

Donde: E es *E. coli*,

S es *S. typhimurium*

P1 es el punto de muestreo 1,

P2 es el punto de muestreo 2 y

SS es el periodo vacacional de semana santa

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observó que para la supervivencia de *E. coli* y *S. Typhimurium*, en el agua del río muestreada previo a semana santa de los dos puntos de muestreo evaluados, ambas bacterias presentaron un descenso gradual en las concentraciones de UFC mL⁻¹ después del día 6, hasta los 12 días cuando su presencia fue nula. En la evaluación posterior a semana santa, la supervivencia de *E. coli* en el punto 1 disminuyó gradualmente a partir del día 14, sobreviviendo hasta el día 16, a diferencia del punto 2, en el cual, la disminución fue desde el día 16, y la supervivencia duró hasta el día 20. Por otra parte, *S. Typhimurium* presentó una disminución a partir el día 12, permaneciendo viable durante los días 16 y 18 posteriores a la inoculación en el agua evaluada de los puntos 1 y 2 respectivamente. Se aprecia que la supervivencia bacteriana tanto de *E. coli* como de *S. Typhimurium* fue alrededor de una semana más en el muestreo posterior de semana santa, comparado con el previo. Por otro lado, en un análisis observacional, se determinó que el agua muestreada posterior a semana santa se encontraba más turbia, esto debido al movimiento constante del agua por parte de los bañistas, así como la acumulación de residuos de desechos arrojados al río (basura o residuos fecales). Se presume que ambas bacterias aprovecharon las fuentes de carbono derivadas de los desperdicios generados por los usuarios del agua recreativa del río Fuerte, lo que concuerda con (De la Cruz et al., 2015), quienes manifiestan que los microorganismos son capaces de utilizar nutrientes y diversos elementos que otros organismos superiores no pueden hacer. De acuerdo con (White, 2013), la materia orgánica disuelta derivada de la descomposición de la vegetación, constituyen el 10% del total de la materia orgánica disuelta, en donde la glucosa es generalmente la más abundante de los monosacáridos. En este sentido, Medrano et al. (2017) y González et al. (2021) mencionan que *Salmonella* es capaz de utilizar una diversidad de fuentes de carbono en el agua de río derivados de materia orgánica, lo que les permite extender sus periodos de supervivencia en estos ambientes y el establecimiento de posibles nichos microbianos. Por lo que la aportación constante de nutrientes presentes en los residuos orgánicos en el agua de río, será una condicionante para la supervivencia y establecimiento de microorganismos de interés en salud pública como *Salmonella* y *E. coli* (Torres et al., 2016). En estudios similares, se observó que *Salmonella* Typhi y *Salmonella* Enteritidis fueron capaces de sobrevivir en agua potable estéril a una concentración de 3×10^8 UFC mL⁻¹ por periodos de 160 min y 10 h, respectivamente (Moya et al., 2013). En el presente trabajo se demostró que *E. coli* y *S. Typhimurium* son capaces de sobrevivir periodos aproximados de 22 días en el agua de uso recreativo del río Fuerte, ya que presenta condiciones idóneas como considerables concentraciones de materia orgánica que sirve de suministro constante de nutrientes. También existen otros factores que influyen en la supervivencia bacteriana, como el tipo de cepa o serotipo bacteriano, la ruta de contaminación o condiciones climáticas (Torres et al., 2016). En este sentido,

De la Cruz et al. (2015) señalaron que la supervivencia es una función de factores biológicos y físicos que interactúan con las poblaciones microbianas, desarrollando múltiples actividades funcionales. Así también, la temperatura es uno de los factores climáticos considerado como favorable para la supervivencia bacteriana, ya que la mayoría de los serotipos de *Salmonella* crecen en un rango de temperatura desde 5 a 47 °C, con una temperatura óptima de 35 a 37 °C (González et al., 2014).

Se considera la supervivencia por periodos de tiempos más prolongados de *E. coli* y *S. Typhimurium*, en el agua recreativa del río Fuerte, San José de Ahome, Sinaloa, por la mayor cantidad de sólidos presentes, dado el incremento de los desperdicios en el agua del río.

CONCLUSIONES

La presente investigación demostró que *E. coli* y *S. Typhimurium* son capaces de sobrevivir prolongados periodos de tiempo en agua de uso recreativo del río Fuerte posterior al periodo vacacional de semana santa, por lo que es considerable establecer medidas preventivas que impidan el establecimiento y reproducción de microorganismos patógenos, evitando así la acumulación de desechos orgánicos en los cuerpos de agua. Esto, con la finalidad de disminuir los riesgos de infecciones entéricas generadas por estos patógenos.

LITERATURA CITADA

- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23 ed.). Baird, R., Eaton, A., and Rice, E. editors. Washington, D.C, U.S.A.: A. P. Association, Ed.
- Bush, L. M. (2020). *Infecciones por Escherichia coli*. Obtenido de MANUAL MSD Versión para profesionales.
- Bustamante-González, A., Galindo-De Jesús, G., Jaramillo-Villanueva, J. L., and Vargas-López, S. (2016). Percepción de la contaminación del río Tlapaneco por la población ribereña. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(1), 47-62.
- Chaidez-Quiroz, C., Peraza-Garay, F., Medrano-Félix, J., Castro-Del Campo, N., and López-Cuevas, O. (2020). Phenotypic traits of carbon source utilization in environmental *Salmonella* strains isolated from river water. *International Journal of Environmental Health Research*, 2 2, 1155-1163. doi:10.1080/09603123.2020.1849578.

- CONAGUA. (2011). Ciclo hidrológico. En Conagua, and S. d. Naturales (Ed.), *Atlas del agua en México 2011* (págs. 45-47). Tlalpan, Ciudad de México, México. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Publicaciones/Publicaciones/S GP-18-11.pdf>.
- Contreras-Soto, M. B., Medrano-Félix, J. A., Ibarra-Rodríguez, J. R., Martínez-Urtaza, J., Chaidez Quiroz, C., and Castro-del Campo, N. (2019). Los últimos 50 años de *Salmonella* en México: Fuentes de aislamiento y factores que influyen en su prevalencia y diversidad. *Revista Bio ciencias*, 6, 1-26. Obtenido de <https://doi.org/10.15741/revbio.06.nesp.e540The>.
- De la Cruz-Leyva, M., Zamudio-Maya, M., Corona-Cruz, A., González-de la Cruz, J. U., and A., R.-H. R. (2015). Importancia y estudios de las comunidades microbianas en los recursos y productos pesqueros. *Ecosistemas y recur. agropecuarios*, 2 (4).
- EPA. (2012). *¿De dónde proviene el agua potable?* (E. USA, Ed.) Obtenido de Environmental Protection Agency.
- Espinosa García, A. C., Aguilar Medina, M. J., and Mazari Hiriart, M. (2010). Calidad, una limitante más para la disponibilidad del agua. En A. Aguilar Ibarra, and I. d. UNAM (Ed.), *CALIDAD DEL AGUA Un enfoque multidisciplinario* (Primera ed., págs. 25-50). Ciudad de México, México.
- Gatti, P., Assuncao, A., Baldin, J., and Amaral, L. (2014). Microbiological quality of whole and filleted shelf-tilapia. *Aquaculture*, 196-200.
- Gómez-Duarte, O. (2014). Enfermedad diarreica aguda por *Escherichia coli* enteropatógenas en Colombia. *Revista Chilena de Infectología*, 31(5). doi:10.4067/S0716-10182014000500010.
- González, L., Trigueros, J. A., Rodríguez, H. B., Ávila, J. A., and Arciniega, M. A. (2016). Calidad del agua: Caracterización Espacial en Épocas de Sequía en el Río Fuerte, Sinaloa, México. *Ciencia desde el Occidente*, 3(1), 35-47.
- González, P., Pereira, S. S., Hernández, A., and Villarreal, C. (2014). Aislamiento microbiológico de *Salmonella* spp. y herramientas moleculares para su detección. *Salud Uninorte*, 30(1), 73-94. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/817/81730850009.pdf>.
- González-López, I., Medrano-Félix, J. A., Castro-Del Campo, N., López-Cuevas, O., Ibarra Rodríguez, J. R., Martínez-Rodríguez, C., and Chaidez-Quiroz, C. (2021). Metabolic plasticity of *Salmonella* enterica as adaptation strategy in river water. *International Journal of Environmental Health*

- Research*, 1(13). Obtenido de <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1896682>.
- Guzmán, G., Ramírez, E., Thalasso, S., and Rodríguez, S. (2011). Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río San Pedro en el estado de Aguascalientes. *Universidad y Ciencia*, 27(1), 17-32.
- Jolie, M. (2019). Visitantes convierten en basurero el río Fuerte. *El Debate*. Obtenido de: <https://www.debate.com.mx/losmochis/Visitantes-convierten-en-basurero-el-rio-Fuerte-20190618-0027.html>
- Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N. M., and Heydrich-Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34.
- Magana-Ordorica, D., Mena, K., Valdez-Torres, J., Soto-Beltran, M., Leon-Felix, J., and Chaidez-Quiroz, C. (2010). Relationships between the occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* and physicochemical properties of marine waters at the Pacific Coast of Mexico. *Journal of Water and Health*, 8(4), 797-802. doi:<https://doi.org/10.2166/wh.2010.130>.
- MCD-Lab. (2012). *Agar bilis y rojo violeta Ficha técnica*. Obtenido de <https://mcd.com.mx/>.
- Medrano-Félix, J., Castro-del Campo, N., Peraza-Garay, F., Martínez-Rodríguez, C., and Chaidez, C. (2017). Carbon source utilization-based metabolic activity of *Salmonella* Oranienburg and *Salmonella* Saintpaul in river water. *Water and Environment Journal*, 32(1), 118–124.
- Mendoza, E. (2014). *Contaminados, siete de cada 10 ríos de México*. Obtenido de Contralínea.com.mx.
- Moya, R., Alvarado, P., and Vásquez, N. (2013). Supervivencia de *Salmonella typhi* y *Salmonella enteritidis* en agua potable de cuatro distritos de Trujillo. *REBIOLEST*, 1(2), 34-42.
- Ramos-Ortega, L., Vidal, L., Vilarly, S., and Saavedra-Díaz, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Martha, Caribe Colombiano. *Acta biol. Colomb*, 13(3), 87-98.
- Ríos Tobón, S., Agudelo Cadavid, R., and Gutiérrez Builes, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. doi:<https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>.
- SEMARNAT. (2016). *Diario Oficial. Primera Sección*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- Spector, M. P., and Kenyon, W. (2012). Resistance and survival strategies of *Salmonella enterica* to environmental stresses. *Food Research International*, 45, 455-481.
- Torres-Aguilar, V., Manjarrez-Domínguez, C., Acosta-Muñoz, C., Guerrero-Prieto, V., Parra-Quezada, R., Noriega-Orozco, L., and Ávila-Quezada, G. (2016). Interactions between *Escherichia coli* O157:H7 and food plants. Has this bacterium developed internalization mechanisms? *Revista Mexicana de Fitopatología*, 34(1), 64-83. doi:10.18781/R.MEX.FIT.1507-4.
- USDA. (2011). *Información sobre inocuidad de alimentos. Salmonella preguntas y respuestas*. Servicio de Inocuidad e Inspección de los Alimentos Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Wang, H., Li, X., and Xie, Y. (2011). Hydrochemical evaluation of surface water quality and pollution source apportionment in the Luan River basin, China. *Water Science and Technology*, 64(10). doi:10.2166/wst.2011.794. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22105137/>.
- White, W. M. (2013). *Geochemistry* (Second ed.). United Kingdom: Wiley Blackwell.

AGRADECIMIENTOS

A la Q.F.B. Célida Isabel Martínez Rodríguez. Responsable técnico del Laboratorio de Microbiología Ambiental y de Alimentos del CIAD Culiacán.

Al M.C. José Luis Valdés Vega. Responsable del Laboratorio de Alimentos de la Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis.

SÍNTESIS CURRICULAR

María de Jesús Moreno Montoya

Ingeniera Bioquímica por la Universidad Autónoma de Sinaloa Campus Culiacán, Maestra en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Unidad Culiacán y Doctora en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales por la Universidad Autónoma Indígena de México Unidad Los Mochis. Ha trabajado en Industrias Vepinsa, S.A, de C.V., ha sido Responsable de Laboratorio y Jefa del Departamento de Ingeniería y Tecnología, Presidenta de Academia, Consejera Técnica y Docente de la Universidad

Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis. Correo electrónico: mjmore@gmail.com

Irvin González López

Licenciado en Biología por la Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Guasave. Maestría en Ciencias por el Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria, del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (LANIIA–CIAD). Estudiante de Doctorado en Ciencias LANIIA–CIAD. Correo electrónico irvin.gonzalez@estudiantes.ciad.mx

Cristóbal Chaidez Quiroz

Químico Farmacéutico-Biólogo por la Universidad Autónoma de Sinaloa Unidad Culiacán. Maestro y Doctor en Ciencias por la Universidad de Arizona, Tucson, EUA. Nivel 3 del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Ha sido Director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Unidad Culiacán, Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, Editor de la revista científica “International Journal of Environmental Health Research”, Miembro de comité de asesores científicos de las empresas Clorox, Consultor experto de la FAO, Miembro del consejo directivo de la CANACINTRA). Profesor Investigador y Director del Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIIA-CIAD), Miembro Honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos, Miembro del Comité de Ciencia y Tecnología del COBAES, Miembro de la Junta Directiva de la Ciudad Educadora del Saber de Sinaloa. Correo electrónico chaqui@ciad.mx

Oswaldo López Cuevas

Químico Farmacéutico-Biólogo por la Universidad Autónoma de Sinaloa, Unidad Culiacán. Maestría y Doctorado en Ciencias por el Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria, del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (LANIIA–CIAD). Profesor Investigador del LANIIA–CIAD. Correo electrónico osvaldo.lopez@ciad.mx

PERCEPCIONES SOBRE EL ROL DE LA UNIVERSIDAD COMO GESTORA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO ENDÓGENO DE LA AMAZONÍA PERUANA

PERCEPTIONS ON THE ROLE OF THE UNIVERSITY AS A MANAGER OF RESEARCH AND INNOVATION FOR THE ENDOGENOUS DEVELOPMENT OF THE PERUVIAN AMAZON

Rosario Mireya **Romero-Parra**¹; Luis Andres **Barboza-Arenas**²; José Antonio **Faría-Romero**³ y Jorge Luis **Romero-Chacín**⁴

Resumen

El desarrollo endógeno intenta mejorar la disposición de vida de los habitantes campestres a través de la utilización fusionada de los medios naturales y acciones de progreso las cuales sean concordantes con el ecosistema pero que al mismo tiempo sean una vía financiera permanente. A su vez, procura la preservación de la biodiversidad como potencia de origen, así como un progreso financiero con productividad sustentable que proporcione bienestar. En ese sentido, el propósito del estudio fue describir el rol de la universidad como gestora de investigación e innovación para el logro del desarrollo endógeno de la Amazonía peruana mediante la percepción de autoridades y

docentes universitarios. La investigación tuvo un enfoque cualitativo, con diseño de teoría fundamentada, teniendo como informantes a docentes y autoridades de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Los resultados de las entrevistas fueron analizados mediante el programa IRaMuTeQ, para determinar las coocurrencias y relaciones de las dos categorías: Rol de la universidad como gestora de investigación e innovación y el desarrollo endógeno de la Amazonía peruana. Realizándose un estudio lexicométrico de los documentos generados. Reportando desde la percepción de las autoridades y los docentes a la investigación y la innovación que se realiza desde la universidad como eje central para el logro del desarrollo endógeno de la región.

¹ *Universidad Continental. Lima, Perú. E-mail: rosarioromeroparra@gmail.com Autora de correspondencia.

² Universidad Tecnológica del Perú.

³ Universidad de Ciencias y Humanidades. Perú.

⁴ Universidad Continental. Cusco, Perú.

Además, plantean la necesidad de la participación activa de todos los estudiantes conjuntamente con sus docentes para la planificación de actividades que conlleven a solventar los problemas de la región mediante la generación del conocimiento científico y la innovación. Concluyendo que, la universidad tiene un rol protagónico como gestora de investigación e innovación para logro del desarrollo endógeno de la Amazonía peruana.

Palabras clave: Amazonía peruana; desarrollo endógeno; investigación; innovación; universidad.

Abstract

Endogenous development seeks to improve the living conditions of rural inhabitants through the combined use of natural resources and progress actions that are in harmony with the ecosystem but at the same time are a permanent financial path. At the same time, it seeks the preservation of biodiversity as a power of origin, as well as a financial progress with sustainable productivity that provides welfare. In this sense, the purpose of the study was to describe the role of the university as a manager of research and innovation for the achievement of endogenous development in the Peruvian Amazon through the perception of university authorities and professors. The

research had a qualitative approach, with a grounded theory design, with teachers and authorities of the National University of the Peruvian Amazon as informants. The results of the interviews were analyzed using the IRaMuTeQ program to determine the co-occurrences and relationships of the two categories: Role of the university as a manager of research and innovation and endogenous development of the Peruvian Amazon. A lexicometric study of the documents generated was carried out. Reporting from the perception of the authorities and teachers to the research and innovation that is carried out from the university as a central axis for the achievement of the endogenous development of the region. In addition, they state the need for the active participation of all students together with their teachers for the planning of activities that lead to solve the problems of the region through the generation of scientific knowledge and innovation. In conclusion, the university has a leading role as a manager of research and innovation to achieve the endogenous development of the Peruvian Amazon.

Key words: Peruvian Amazon; endogenous development; research; innovation; university.

INTRODUCCIÓN

No es factible idear un patrón de progreso optativo, sustentable e inclusivo, sin reunir el talento del ser humano y las facultades tecnológicas y científicas en conjunto con las virtudes humanistas que tiene la posibilidad de fomentar la educación universitaria (González, 2021; Quispe, 2016). Por lo cual, llevar a efecto ese modelo de universidad conlleva un desafío, a la misma vez que demuestra la apremiante obligación de realizar renovaciones internas en las universidades, en el modo en el cual se amplían los procedimientos de enseñanza-aprendizaje, extensión e investigación y de la colectividad que la ampara (Barro, 2015; Mancera-González, 2021). Especialmente de la colectividad, es de donde a la universidad, le surgen los principales retos y por tal razón, el vínculo con la

misma debe ser el origen para adecuarse a las inclinaciones que hagan frente, a fin de conservar su lugar en el sistema colectivo.

En la actualidad, en Perú convergen un conjunto de preceptos, políticas y reglamentos que desde un punto de vista generan circunstancias propicias para que se amplíen procedimientos de vínculos con empresas, comunidades y gobiernos, en gran medida productivos mutuamente y desde otra perspectiva, conlleva una observación de análisis en la parte interna de las universidades con la finalidad de implementar al instante renovaciones, a fin de brindar contestación a la variedad del escenario. Asimismo, otro de los primordiales núcleos de la estrategia de desarrollo endógeno es la expansión de las invenciones y la noción en el género social y productivo, tal y como puede manifestarse en las iniciativas que se desempeñan en provincias proactivas, fructíferas y de rangos de progreso muy diversos (Alonso, 2018; Velásquez, Aguilera y Pérez, 2021).

En el mismo orden de ideas, el progreso del desarrollo regional en la Amazonía peruana, y el rol que en él ha tenido los recintos educativos superiores, tal vez sea considerado de diversos modos en vinculación a las perspectivas aceptadas. De modo global, se demuestra que la coalición Ministerio–Universidad, a partir de la gerencia de la innovación y el conocimiento ha sido producto de un procedimiento fidedigno, que corresponde al período del noventa, lo cual ha autorizado que esté incluida en la erudición de trabajadores y dirigentes de las gobernaciones regionales y la universidad en particular; siendo esta una base fundamental de los efectos que en tema de progreso regional logra mostrar la localidad (Codner, 2017).

Asimismo, la universidad de hoy en día tiene el deber de ser una universidad vanguardista por un progreso humano sustentable lo cual propone un enlace directo entre las finalidades de la universidad y los objetivos sociales. Dicho de otro modo, se debe persistir en la peculiaridad vanguardista de la universidad a fin de que logre colaborar con el bienestar humano y con el desarrollo social; sustentable e integrador. Además, las universidades son institutos esenciales en los procedimientos de productividad, divulgación y utilización del conocimiento destacado para el progreso (Barboza y Sáenz, 2020; Donneys y Blanco, 2016). Estos procedimientos son vitales en el suministro de las facultades humanas que el desarrollo sustentable exige. Cabe resaltar, que al referirse a facultades humanas no solamente abarca habilidades y conocimientos; sino que incluso comprende actitudes y valores.

Lo anteriormente expuesto, según Vázquez (2018) involucra significativas modificaciones en las universidades las cuales impactan a todos los procedimientos esenciales, debido a que es preciso trabajar más en el ambiente donde se originan las dificultades, de modo participativo, involucrando a todos los representantes en el equipo, en virtud de establecer medios de innovación y conocimiento con perspectivas numerosas e interdisciplinarias, en la cual se

dobleguen las maneras habituales de hacer a la oportunidad y efecto en el progreso.

En ese sentido, Vidal e Issa (2017) plantean que en las universidades son fundamentales las transformaciones, en primer lugar, transformaciones organizativas es decir, fundación de organizaciones céntricas a fin de estudiar el contenido, elaboraciones estructurales de recintos educativos superiores más inmediatos a los conflictos, consolidación de los centros o grupos de investigación los cuales se vinculen de manera estable con colectividades, compañías, departamentos docentes modificados en módulos creativos, organizaciones sociales, entre otros; en segundo lugar, transformaciones en la disciplina institucional, en otras palabras, de docentes y directores, a fin de promover una formación vanguardista para sus desarrollos y para la colectividad, y en tercer lugar, pero no menos importante, transformaciones en la proyección determinante de las universidades que interiorice propósitos y motivos determinados dependiendo de la colaboración al progreso colectivo sustentable inclusivo.

Por otra parte, las vinculaciones entre la universidad y la sociedad no consiguen ser únicamente estudiadas a partir del procedimiento oficial de licenciatura tanto en pregrado como en postgrado, esos son motivos que han demostrado (y lo continuará haciendo) la efectividad de dichos institutos, pero se refiere a cambiar los vínculos a fin de modificar los procedimientos por los cuales pasa el logro de dichas licenciaturas (Tovar y Fontalvo, 2017). Lo expuesto con anterioridad, conlleva a la creación de nexos sólidos entre las conveniencias recíprocas para el progreso entre una y otra parte, lo cual requiere enlaces de complementación en la utilización de infraestructuras, adiestramiento de estudiantes en el transcurso de fases de servicio comunitario y prácticas profesionales, la implementación de asesorías, orientaciones, resolución grupal sostenida en planes de conflictos, entre otros.

Ahora bien, esto último sucede mediante numerosas vías de conexión, dentro de las cuales se presentan: contactos informales, traslado de personal, enlaces pactados para el traspaso de diferentes tecnologías, acuerdos colaborativos, programas de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) adjuntos, instauración de espacios tecnológicos, acciones variadas de adiestramiento sin finalidades de licenciatura, trabajo social comunitario, avances de programas científicos grupales, entre otros (Hernández, Ravina y Chumaceiro, 2020). De esta manera, la afluencia de conocimientos especialmente se origina de los institutos de investigación; es decir de las universidades, respecto a las compañías y en la última la afluencia de conocimientos brota en ambos sentidos, siendo el más apropiado actualmente, aun cuando no se rechaza la utilización de los sobrantes en composiciones variadas.

Además, en el fomento de la transformación en las universidades respecto a una instrucción vanguardista posee un valioso predominio de sus autoridades y docentes (Natera, 2015). Por lo tanto, cabe resaltar que el liderazgo se debe manifestar, ante todo, en la práctica de un modo de orientación suficientemente participativo y cooperativo el cual propicie la creación de un entorno vanguardista entre docentes, trabajadores y estudiantes, en el que se obtenga el progreso de virtudes prácticas y éticas tales como: indulgencia para la variedad de perspectivas y proposiciones, susceptibilidad con las dificultades de todo tipo que se manifiesten en el ambiente, sumisión de los beneficios particulares a los colectivos, competencia para el trabajo grupal y la deliberación con distintos saberes, responsabilidad con la universidad y el país, disposición a la transformación, entre otros, los cuales se encuentran en la plataforma de la innovadora instrucción a fin de lograr el avance de una región en particular.

Por otro lado, actualmente, se entiende la importancia que posee la utilización sustentada de los medios naturales, al igual que la conservación de la diversidad biológica, no obstante, ante todo, se entiende la obligación de inquirir tecnologías impecables, estrategias apropiadas y posibilitar la interacción permanente de los ciudadanos regionales con la finalidad de lograr el desarrollo endógeno en el Perú y así tener la posibilidad de ofrecer comodidad y una mejor y mayor calidad de vida prolongada. A este respecto, resulta relevante acompañar las normativas. Principalmente, el desarrollo sustentable posee una perspectiva prolongada en la que se intenta conciliar el progreso financiero y el mantenimiento de medios teniendo presente las obligaciones actuales y futuras.

Así mismo, el desarrollo sustentable intenta mejorar la disposición de vida de los habitantes campestres a través de la utilización fusionada de los medios naturales y acciones de progreso las cuales sean concordantes con el ecosistema pero que al mismo tiempo sean una vía financiera permanente (Álvarez, Natera y Castillo, 2019; Villalva-Heredia, 2018). A su vez, procura la preservación de la biodiversidad como potencia de origen, así como un progreso financiero con productividad sustentable que proporcione bienestar.

Con respecto a lo anterior, el Estado fomenta la interacción eficaz de todos los representantes, procura la competencia en su administración, al mismo tiempo promociona las acciones de progreso las cuales procuren erradicar la miseria. Por lo tanto, resulta significativo resaltar los procedimientos e impulsos que se vienen presentando internamente en la nación en el ámbito de la disgregación de poderes; por lo cual es significativo estimularlos y potencializarlos.

Al mismo tiempo, Campos y Sarduy (2020) expresan que se pretende producir un medio de criterio, estatal y mundial, el cual fomente la identificación y premiación financiera a cargo de las naciones desarrolladas, por el daño y devastación ambiental. Adicionalmente, dentro de este ámbito, las autoridades planifican hacer hincapié en la propagación de asuntos ecológicos a fin de

fomentar la interacción de la colectividad organizada y los ciudadanos en común, teniendo el interés en la promoción de áreas de discusión, diálogo, resolución y propagación de los conflictos ecológicos de la nación con los diversos equipos de valor, involucrando al sector privado, subordinaciones públicas con capacidades ambientales, el sector académico, colectividades autóctonas, entre otros. Ante los planteamientos anteriores, se origina la siguiente interrogante ¿Cómo es el rol de la universidad como gestora de investigación e innovación en el desarrollo endógeno de la Amazonía peruana? Y se plantea como propósito del estudio describir el rol de la universidad como gestora de investigación e innovación para el logro del desarrollo endógeno de la Amazonía peruana mediante la percepción de autoridades y docentes universitarios.

Desarrollo endógeno

Al plantear la acepción de desarrollo endógeno se debe ascender a sus principios occidentales, los cuales manifiestan de modo relevante la práctica de una innovación fomentada por fuentes intrínsecas que destacan en las resoluciones a las dificultades de la asociación empresarial, antes que responder los procedimientos de automatismo apoyando normas predeterminadas. Por consiguiente, de dicha práctica es probable desglosar el concepto de desarrollo endógeno, vinculándolo con la convergencia de dos enfoques de investigación perfectamente representados por Dulcich (2018): uno, más bien de índole hipotético, que surge como resultado de la intención de detectar una idea de progreso la cual posibilitara el ejercicio patente hacia el avance de municipios y provincias.

Así mismo, una de las virtudes más grandiosas que es posible asignarle al concepto de desarrollo endógeno radica en la creencia de que todas las colectividades geográficas poseen una totalidad de medios (culturales, institucionales, humanos, económicos) los cuales componen su capacidad de progreso (García et al., 2015). De este modo, la satisfacción a ras regional de elementos mayormente colaterales acerca de los que se acoplan los procedimientos de aumento financiero regional, al igual que: gerencia patente, educación, optimización tecnológica, mecanismo monetario, creación de sociedades, entre otras, posibilita descubrir la asignación de una establecida organización fructífera con ejes autóctonos de progreso.

Por consiguiente, como la formulación habitual en relación al progreso financiero regional tiene la frecuencia de orientarse a examinar las probabilidades de provocar financiaciones forasteras o proponer actividades de recuperación frente a los institutos de administración esencial, es oportuno recalcar que el

desarrollo endógeno se fundamenta en la caracterización y utilización de los medios y capacidades en una época auténtica determinada, posibilitando favorecer la facultad de vanguardia de la región a través de la reconstrucción de una clase social a fin de hallar resoluciones competentes a sus dificultades.

Por otro lado, Vázquez (2018), agrupa unas particularidades que le brindan una conformación concreta a la acepción de desarrollo endógeno: Hace alusión a procedimientos de acopio de bienes en regiones determinadas y se origina gracias al empleo propio de la capacidad financiera regional la cual posibilita los institutos y sistemas de reglamentación que distinguen a cada país.

Desde otro punto de vista, Moral, Uclés, Jurado y Viruel (2020) manifiesta que el desarrollo endógeno cumple una perspectiva geográfica de los procedimientos de aumento y variabilidad elemental, que tiene como punto inicial la presunción de que la zona no es una simple base física de las acciones, procedimientos financieros y elementos, sino que es un gestor de renovación social, por la que cada región se relaciona al mecanismo de correspondencias mercantiles de una nación según su concreción geográfica y de su autenticidad política, financiera, cultural y social.

Comparativamente, en una proximidad arriba-abajo al progreso financiero, Calánchez y Ayala (2016) contemplan que los representantes regionales, patentes y confidenciales, son los garantes de las actividades de financiación y de la inspección de los procedimientos, otorgando un rol influyente a las organizaciones, a las compañías, a los institutos regionales, y a la misma asociación ciudadana en los procedimientos de desarrollo y transformación elemental.

Para finalizar, a partir del enfoque del desarrollo endógeno, lo social se incorpora al mismo tiempo con lo financiero (Vázquez, 2018), al comprender lo regional como una zona en la cual las propuestas de las variadas áreas de la asociación establecida se concretan, logrando una iniciativa frecuente en virtud de que los representantes privados y públicos hacen elecciones de financiación dirigidas a solucionar las dificultades regionales, de las compañías y de la colectividad.

En síntesis, es posible expresar que el desarrollo regional endógeno es un procedimiento de aumento financiero y transformación elemental la cual dirige a una optimización del grado de vida de los habitantes del pueblo y en el que es posible reconocer, en todo caso, 3 aspectos: El financiero: distinguido por un mecanismo determinado de fabricación el cual posibilita a los propietarios regionales utilizar competentemente los elementos benéficos y obtener grados de producción idóneos. El aspecto sociocultural: distinguido por los atributos determinados de la organización económica-social, ambientalista y cultural de las distintas localidades que hay en una nación las cuales funcionan de soporte al procedimiento de progreso (Millar, 2014; Tabera, Carbonell y Leyva, 2021). Por

último, el aspecto político-administrativo: distinguido por la interacción de las organizaciones públicas de la región y corporaciones industriales, sociales y mercantiles del sector para la elaboración de elementos del ambiente vanguardista; propicio a la productividad y al progreso sustentable.

El desarrollo endógeno como interacción productiva

Si unir el aumento de la productividad en la estructura social de la nación a partir del punto de vista del progreso permanente es lo que diferencia la hipótesis del desarrollo endógeno de la hipótesis del incremento endógeno, por tanto, eso representa que el desarrollo endógeno acoge una perspectiva regional y no práctica de los procedimientos de aumento y transformación elemental, comprendiendo que los modos de distribución, los mecanismos de vinculaciones y la acción de aprendizaje son los componentes promotores de la acción financiera (Vázquez, 2018).

De todas maneras, tanto la hipótesis del desarrollo endógeno como los patrones de incremento endógeno admiten que hay diversos métodos de desarrollo de las finanzas según la capacidad de progreso, que es posible que los beneficios de los componentes sean progresivos, que el avance tecnológico es endógeno en los procedimientos de evolución y que hay un área para las organizaciones industriales y sectoriales.

Por lo tanto, el desarrollo endógeno es mostrado como un procedimiento de incremento y transformación elemental en el cual la administración del mecanismo productor, el tipo de vinculaciones entre acciones y representantes, la actividad de aprendizaje y el mecanismo sociocultural establecen los procedimientos de transformación (Romero y Muñoz, 2014). Adicionalmente, se distingue por su extensión territorial, no únicamente a causa del impacto espacial de los procedimientos tecnológicos y organizativos, sino por dar por sentado que cada región es la derivación de una crónica en la cual se ha ido modelando el ambiente organizativo, financiero e institucional.

Como se ha venido desarrollando con anterioridad, cada área económica muestra una estructuración particular la cual se ha ido precisando según los consecutivos mecanismos fructíferos, de las transformaciones organizativas y tecnológicas de los institutos y compañías, y de los cambios en el mecanismo de vinculaciones industriales y sociales (Moctezuma, López y Mungaray, 2017). No obstante, es tal la influencia fidedigna que posee cada colectividad regional en esa agrupación, que la región logra comprenderse como un soporte provechoso creado por representantes de desarrollo municipal. Por tal razón, establecido el valor esencial que recibe toda economía regional en la sección mundial del

trabajo, es poco probable disociar su mecanismo productor del comercio de trabajo, ni las vinculaciones sociales de las vinculaciones de producción; lo cual origina la siguiente interrogante ¿Qué puede indicar esto a partir del enfoque del desarrollo endógeno?

En efecto, la respuesta destaca en la importancia de edificar o habilitar todo espacio determinado a fin de que se una al mecanismo financiero mundial según su tradición particular, asignándole de esta manera, a toda región oportunidades especiales en el procedimiento de cambio productivo (Vargas, 2021). Esta es la evidente divergencia de conceptualizar la unidad regional como un representante y elemento determinante de progreso, sobrepasando la reducida percepción de esta como sencilla área uniforme o apoyo físico de las acciones sociales o financieras. Asimismo, la actuación participativa se ha estado acentuando últimamente al propagarse los métodos recientes de asistencia tecnológica: los convenios claves, las compañías de investigación, los tratados de complementación metódica, el patrón japonés de progreso de proveedores, los nuevos vínculos universidad – industria, la contribución sistemática con el cliente, entre otros.

Aunado a ello, la categoría, la regularidad y la energía que logren poseer este estándar de participaciones en un área financiera, unido con la solidez que tenga la clase de evaluaciones, establecen hasta qué nivel logra cada compañía o cada universidad dedicarse en su campo de especialidad operacional (Merritt, 2015). En fin, el desarrollo sustentable es una acepción que se ha venido ampliando últimamente; implicando el dominio fusionado de los medios naturales a través de la utilización de estrategias efectivas que posibilitan una evaluación entre el progreso y el mantenimiento teniendo presente las obligaciones de las actuales y próximas generaciones.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

La investigación tuvo un enfoque cualitativo, con diseño de teoría fundamentada, en este diseño “el investigador produce una explicación o teoría respecto a un fenómeno, proceso, acción o interacciones que se aplican a un contexto concreto y desde la perspectiva de diversos participantes” (Hernández y Mendoza, 2018, p. 525). En efecto, en el presente estudio se pretende generar teorías sobre el rol de la universidad como gestora de investigación e innovación para el desarrollo endógeno, atendiendo los puntos de vista de las personas involucradas en la investigación.

Además, la investigación asume como enfoque más específico de teoría fundamentada, al constructivista, “con este se busca ante todo enfocarse en los significados provistos por los participantes del estudio. Se interesa más por considerar las visiones, creencias, valores, sentimientos e ideologías de las

personas” (Hernández y Mendoza, 2018, p. 529). En ese sentido, se atienden de forma muy cercana las expresiones de las personas informantes y las derivaciones igualmente se presentan mediante el análisis de estas narraciones. En este estudio los informantes fueron el vicerrector y coordinador de investigación, así como seis (6) docentes de la misma área de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, a los cuales se les efectuaron las entrevistas. Su escogimiento se realiza atendiendo el muestreo teórico, que plantea Páramo (2015), en el cual se seleccionan a los participantes acorde a los requerimientos de exactitud y refinamiento de los fundamentos teóricos que se están desplegando.

La investigación se despliega en tres fases esenciales: la descripción, la cual presenta la organización conceptual; la codificación, la cual estuvo apoyada por un software; y el contraste permanente (Contreras, Páramo y Rojano, 2019). Este proceso permitió establecer las subcategorías del rol de la universidad como gestora de investigación e innovación y el desarrollo endógeno.

La codificación y el análisis de información se ejecutan paralelamente, analizándose los resultados de las entrevistas mediante el apoyo del software IRaMuTeQ – «Interfaz de R para el Análisis Multidimensional de los Textos y Cuestionarios», debido a que este admite la ejecución del estudio lexicométrico de documentos.

RESULTADOS

Se analizaron los resultados de las entrevistas mediante el programa IRaMuTeQ, para determinar las coocurrencias y relaciones de las dos categorías: Rol de la universidad como gestora de investigación e innovación y el desarrollo endógeno de la Amazonía peruana. Realizándose un estudio lexicométrico de los documentos generados, para lo cual se formaron nubes de léxicos y de analogías, las cuales se presentan a continuación.

En la Figura 1 se aprecian las subcategorías que surgen de a partir de las percepciones de las autoridades y docentes del área de investigación sobre el rol de la universidad como gestora de investigación e innovación para el desarrollo endógeno de la Amazonía peruana, los cuales coinciden que uno de los principales roles de la universidad debe ser el desarrollo endógeno mediante la investigación e innovación, la cual debe ser concretada con una producción científica que atienda las principales necesidades de la región, atendiendo las coocurrencias reportadas.



Figura 1. Nube de palabras con el rol de la universidad como gestora de investigación e innovación para el desarrollo endógeno de la Amazonía peruana.

Fuente: Elaboración propia.

En consecuencia, resulta muy significativo resaltar la misión de la universidad como un instrumento para avalar la preservación ambiental y fomentar la utilización lógica y sustentable de los medios naturales. Al mismo tiempo, promover el progreso financiero conciliando la utilización de tecnologías impecables y conceder más plusvalía a los artículos de la región. A su vez, impulsar la interacción privada en la administración y preservación de los medios naturales. Igualmente, la universidad es un instrumento para producir las circunstancias apropiadas en vertientes fiscales, de impulso financiero en áreas boscosas y mineras; y por su parte posibilita la supervisión del acatamiento positivo de los lineamientos para el logro del desarrollo endógeno. Por otro lado, la universidad debe procura, a través de proyectos, políticas y actividades pertinentes, proteger los medios naturales de la nación, fomentar la utilización sustentable de modo imparcial, creativo, interactivo y metódico. Estos aspectos se ven reflejados en la Figura 2, en la cual se aprecian también las interrelaciones que tienen las subcategorías surgidas, resaltando la interrelación que debe existir entre la investigación e innovación desarrollada en la universidad con el desarrollo endógeno de la región.

fomentando la interacción de la colectividad organizada y los ciudadanos en general, para las proposiciones de los asuntos esenciales de la universidad.

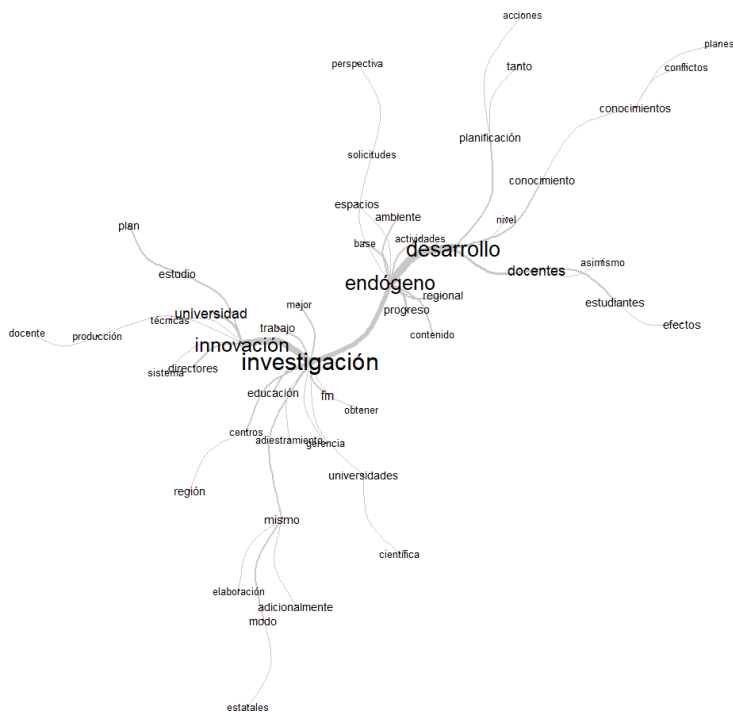


Figura 3. Árbol de similitudes del rol de la universidad como gestora de investigación e innovación para el desarrollo endógeno de la Amazonía peruana.

Fuente: Elaboración propia.

La investigación e innovación como base para el desarrollo endógeno

La investigación representa la base del conocimiento científico, por lo tanto, en las universidades que son generadoras de este, es fundamental darle un papel relevante a la investigación científica. En esa línea de pensamiento, Gisbert (2017) resalta la importancia de la investigación en la Educación Superior al plantear que la misma ayuda a mejorar el estudio, porque permite establecer contacto con la realidad a fin de que se conozca mejor y la finalidad de esta, consiste en formular nuevas teorías.

En ese sentido, la investigación y la docencia van de la mano, y en la educación universitaria deberían ser inseparables, ya que a través de la investigación se pueden ofrecer soluciones a las problemáticas presentadas en el quehacer educativo y mediante el mismo surgen nuevas interrogantes científicas (Romero, 2020). Es por ello que, es vital que en las universidades provean las herramientas y orientaciones necesarias al docente y a los estudiantes, para que formalicen y divulguen su producción científica, generadas en muchos casos, en las aulas de clases. Además, desde la universidad se sientan las bases para el desarrollo endógeno mediante la investigación e innovación, como se aprecia en la Figura 4.



Figura 4. Árbol de similitudes de la investigación e innovación como base para el desarrollo endógeno.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, todos los proyectos de investigación deben estar adscritos a líneas de investigación pertinentes a cada comunidad o distrito, para lograr el

desarrollo endógeno de cada provincia y estas a su vez forman parte de un centro de investigación por áreas de especialización. Es importante señalar que, las nuevas líneas de investigación deben tener mínimo tres proyectos aprobados y los centros tres líneas generadas en un área específica (Alvarado et al., 2021). En ese sentido, para promover un desarrollo endógeno en las provincias se tienen que generar proyectos pertinentes a los requerimientos de la región, para solventar sus necesidades y potenciar sus fortalezas.

Cabe resaltar que, se ha comprobado el alcance e importancia de la universidad, lo cual se demuestra en las derivaciones y efectos recolectados en las entrevistas sobre las innovaciones e investigaciones en la universidad en los recientes años, del mismo modo que la satisfacción estatal lograda en este contenido, el cual ha posibilitado que el efecto se propague alrededor de otras regiones del país (Maynas, Ayacucho, Amazonas, entre otros), y que adicionalmente, posee repercusión en instituciones estatales.

De modo específico sobresale el compromiso vinculado Universidad-Gobierno, evolucionado a ras regional, orientado a incluir las recientes antelaciones y referencias estatales, integrando, al mismo tiempo, la elaboración de alimentos fundamentada en la inclusión y difusión de efectos científicos y excelentes destrezas agrarias. Asimismo, el mecanismo de trabajo planificado ha conseguido fijar respecto al propósito general de obtener la autosuficiencia municipal de autoridades, docentes y estudiantes, para el desarrollo y economía, en los grupos de trabajo de cada plan de estudio, en vinculación con los expertos de los CI y las organizaciones.

En ese orden de ideas, los elementos claves para lograr el desarrollo endógeno de una región, están representados en la Figura 5, donde se observa que el centro de todo el proceso es la universidad, la cual tiene como base las actividades, tanto de los docentes como las de los estudiantes, para generar la producción científica y solventar los problemas mediante la investigación e innovación (Campoverde y Bravo, 2021), para el avance de la Amazonía peruana con criterios específicos cónsonos a la región.



Figura 5. Rol protagónico de la universidad como gestora de investigación e innovación en el desarrollo endógeno de la Amazonía peruana.

Fuente: Elaboración propia.

Por ello, se propone la institucionalización de la investigación e innovación en todas las universidades para el desarrollo endógeno sustentable, atendiendo las percepciones de las autoridades y docentes de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, así como la puesta en funcionamiento de estas premisas circula por:

- La necesidad de incentivar el desarrollo de profesiones según las solicitudes, preferencia vigente y programada del progreso en el espacio de influjo directo de la universidad, que adicionalmente, brinde una propuesta de planificación habitual con novedosos planes de período breve o de instrucción técnica, y en el cual el ofrecimiento de planes diarios, presenciales, se extienda a fin de abarcar modalidades online, vespertinas o variadas, generando oportunidades de entradas a estudiantes de calificaciones mínimas o que están obligados a mezclar trabajo y estudio.
- Que cada año se realice una adaptación al plan de estudio de las profesiones habituales, las cuales se aprenden en la base céntrica a las solicitudes del ambiente, incluyendo, cambiando o descartando temas según lo amerite el progreso regional, desde una perspectiva, manifestadas en la planificación de progreso de manera prolongada.

- El adiestramiento de los estudiantes mediante talleres y cursos para el dominio de técnicas de investigación, que le proporcionen las habilidades metodológicas a fin de que sean dueños de su propio aprendizaje, lo que es significativo no únicamente para su recorrido por la universidad sino para seguir descubriendo a lo largo de su vida. Por lo tanto, anualmente en el plan de adiestramiento de la asamblea son programadas, para los estudiantes, diferentes dinámicas las cuales son planificadas por los docentes.
- En virtud de cada uno de los programas de estudio en las profesiones se prepara el vínculo de los estudiantes con su ambiente competitivo próximo a partir de los años iniciales, en contextos beneficiosos o sociales garantizados, bajo la directriz de expertos de los servicios o la producción adecuadamente dispuestos y la orientación de un docente universitario, lo cual posibilite no solamente conducir a la praxis sus conocimientos, sino especialmente conocer de la normativa profesional en la cual será necesario introducirse, sus especialidades, innovaciones, métodos, entre otros; consiguiendo en el mayor de los casos, el vínculo del estudiantado cada año, a los mismos espacios de modo que les sea posible obtener una mejor productividad en sus contribuciones y adicionalmente, alcanzar la elaboración del trabajo de investigación para la exposición del mismo y posteriormente, poder obtener su titulación.
- Otro de los cambios necesarios reincide en el método de gerencia de la investigación. Por lo tanto, se deben reestructurar los ejes temáticos, desde las solicitudes y prelacones de la región y el país, del mismo modo que se está llevando a cabo una perspectiva de administración fusionada, lo cual representa que aproximadamente de éstas se impulse a los estudiantes y docentes de las distintas facultades y profesiones, para el progreso de trabajos de investigación a período completo con índole multidisciplinario en relación directa con los factibles receptores de los efectos que se consigan, bajo la dirección de un guía científico respaldado por docentes especialistas.
- Correlacionar universidad – sociedad, para contribuir con la potencialidad e incentivación entre los docentes de las probabilidades de la universidad para la asistencia científica-técnica de elevada plusvalía de gran provecho en un ambiente como el de la región poco solicitante de conocimiento científico.
- Manejo de la perspectiva metódica en la gerencia de los procedimientos académicos, distribuido por todos los directores, en el compendio que, si bien son autónomos, su excursión a la colectividad debe ser fusionada. De modo que se consiga, en cada contexto, relacionar actividades de investigación, con actividades de instrucción a nivel de pre y postgrado, vínculos mundiales, recuperación de costumbres deportivas, culturales,

recreativas, entre otras; las cuales posean una impresión en los individuos y sus circunstancias de trabajo y vida, desde la vigilancia a los conflictos que manifiestan en todo su nivel de dificultad.

- Ejecución de actividades de adiestramiento a docentes y autoridades de todas las profesiones acerca del contenido del progreso regional sustentable, con intención a la interpretación del papel de cada uno en este procedimiento y su concretización en el cometido.
- Inserción del contenido del progreso regional sustentable en el plan de estudio adecuado a nivel de pregrado y a diversas profesiones.
- Constitución de un equipo de trabajo en la sección de I+D+i que sirva de conexión entre las universidades, sus obligaciones y los diferentes campos de la base central. Destinando compromisos en los departamentos y vicerrectorías que asisten los procedimientos de soporte.
- Determinación de espacios de I+D+i a fin de reunir las actividades de gerencia universitaria del conocimiento y la optimización en función de su progreso.
- Control y monitoreo del sistema en el consejo directivo de la universidad desde la exposición de información de derivaciones a cargo de la vicerrectoría hasta informes de monitoreo y capitulaciones de cuentas de los directores y decanos de los Centros de Investigación (CI).
- Tomando en cuenta que, cualquiera que sea la clasificación colectiva y los medios que aplique un sistema de educación, su categoría no debe ser mejor que la de sus docentes, por tanto, la mayor parte del empeño debe estar orientada en la preparación de los docentes a fin de optimizar el grado del sistema de educación. Asimismo, se ha estado llevando a cabo un método de formación de los docentes para capacitarlos en la cultura vanguardista y así puedan cumplir satisfactoriamente sus variados papeles, a su vez que la duración y los medios requeridos para las acciones de asociación se encuentren incluidas en sus programas.
- Las acciones de asociación con el ambiente deben estar incluidas en la programación efectiva y estratégica de la universidad, con un propósito determinado y sus metas e indicadores, tanto en la planificación anual de acciones como en las planificaciones periódicas.
- La producción de un sistema de distinta índole (de innovación, de conocimiento, socio- técnicas, entre otras), y en la producción de las redes de vanguardia regional o espacios específicos de aprendizaje, con la finalidad de constituir coaliciones con centros de investigación y universidades de la misma región, de otras regiones y de otros países a fin de hacer llegar a los espacios, los conocimientos que sean requeridos para asistir la resolución íntegra de sus conflictos.

Finalmente, la praxis ha confirmado que la mayoría de los conflictos en universidades, no necesitan de nuevo conocimiento para su resolución, puesto que con los conocimientos previos es viable solucionarlos, siempre y cuando tengan la habilidad de tramitar y adaptar a cada espacio, por lo cual, esa es la probabilidad que poseen algunas universidades, que, sin tener solidez en la creación de nuevos conocimientos de patrón principal, logran tener efectos significativos en la colectividad; empleando apropiadamente el conocimiento accesible por parte de docentes y estudiantes. Asimismo, las universidades logran repercutir en la ejecución de novedades sociales incluyentes de patrón gradual, mediante la elaboración de adiestramientos, orientaciones, consultorías, asistencia científica y técnica, entre otras.

Atendiendo los planteamientos anteriores, se sugiere la implementación de las siguientes líneas de acción:

- Fomentar la investigación en los profesores y estudiantes.
- Orientar las actividades de investigación para la producción científica.
- Promover actividades de formación y divulgación de la ciencia.
- Estrechar vínculos con organismos como el Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Organizar todos los proyectos de investigación en sus respectivas líneas de acción o de investigación.
- Generar nuevos centros de investigación por áreas específicas.
- Crear nuevas revistas en físico y digitales, atendiendo los indicadores de calidad de SCOPUS y Web of Science (WoS).
- Desarrollar proyectos endógenos comunitarios con estudiantes y profesores.
- Ofrecer la información necesaria de los procedimientos administrativos para desarrollar proyectos financiados y la filiación de las publicaciones científicas.
- Participar en eventos científicos relevantes con conferencias y ponencias institucionales.
- Entre otras acciones o funciones en pro de la producción y divulgación científica.

Es relevante resaltar que, solo atendiendo estas líneas de acción se puede mejorar el desarrollo endógeno de la región y demostrar una vez más que a través de investigación y la innovación las universidades tienen el poder del conocimiento. Y más aún en los actuales tiempos de pandemia, donde la educación lleva un proceso implícito de actualización e innovación a través de la investigación, a nivel de docentes, estudiantes y comunidades.

CONCLUSIONES

Desde la percepción de docentes y autoridades involucradas en el estudio, la universidad tiene un rol protagónico como gestora de investigación e innovación para logro del desarrollo endógeno de la Amazonía peruana. En consecuencia, es posible asegurar que, en la actualidad, la circunstancia en la cual se encuentra la nación; urge el aumento de la vinculación de la universidad y su entorno, de manera tal que se transforme en representante dinámico y asociado estratégico para la resolución de las dificultades que perjudican el progreso. De allí que, no es una alternativa, sino una obligación social, la cual debe ser atendida de forma consciente por la universidad, así como por el gobierno.

Además, desde la percepción de las autoridades y los docentes del área de investigación, se distinguen a los CI como entes responsables de las misiones suplementarias a las habitualmente llevadas a cabo por los distintos campos de actuación de las universidades, como la probabilidad de inaugurar procedimientos de instrucción a nivel de pregrado, también tienen que tener en cuenta su localización para contribuir en los procedimientos de desarrollo sustentable de la región.

En fin, el desarrollo endógeno se ha transformado en un análisis que favorece la conceptualización de políticas y estrategias, que los representantes de una región tienen la posibilidad de efectuar; beneficiándose de las posibilidades que muestra la globalización. Cualquiera que sea la perspectiva que se acoja, las organizaciones de progreso deben edificarse desde componentes ambientales, sociales, financieros, políticos, institucionales y culturales los cuales se enlazan de modo único en toda región, en toda nación. Por lo tanto, la universidad juega un rol protagónico para el logro del desarrollo endógeno, manteniendo los impulsos de progreso que divergen de una región a otra, de un municipio a otro. Por último, se trata de una hermenéutica que se origina en la etapa vigente del desarrollo de incorporación financiera y que posibilita el estudio de los procedimientos de progreso de los pueblos, municipios y naciones, para plantear soluciones factibles a los desafíos que proponen los cambios sociales y financieros.

LITERATURA CITADA

Alonso, A. (2018). Desarrollo territorial y desarrollo endógeno. *Revista Economía y Desarrollo*, 141(1). Recuperado de: <http://www.econdesarrollo.uh.cu/index.php/RED/article/view/433>

- Alvarado-Peña, L., Amaya, R., Sansores, E. y Rafael, A. (2021). Realidad y perspectivas de los Centros de Investigación Universitarios en América Latina ante el Covid-19. *Telos Revista de Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales*, 23(2), 435–449. <https://dx.doi.org/10.36390/telos232.14>
- Álvarez, I., Natera, J. M. y Castillo, Y. (2019). Generación y transferencia de ciencia, tecnología e innovación como claves de desarrollo sostenible y cooperación internacional en América Latina. *Documentos de trabajo (Fundación Carolina): Segunda época*, (19), 1. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7113385>
- Barboza, L. y Sáenz, F. (2020). La gestión del conocimiento para la innovación y el desarrollo rural: experiencias desde Costa Rica. *Yulök. Revista De Innovación Académica*, 4(1). <https://doi.org/10.47633/yulk.v4i1.199>
- Barro, S. (2015). *La transferencia de I+D, la innovación y el emprendimiento en las universidades. Educación superior en Iberoamérica*. Santiago de Chile, CINDA.
- Calánchez, Á. y Ayala, T. (2016). Innovación social como una política pública para el desarrollo endógeno en Venezuela. *Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, (11), 191-206. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5866905>
- Campos, M. y Sarduy, M. (2020). Dimensión ambiental del desarrollo local y comunitario. La experiencia cubana. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 8, 85-105. Recuperado de: <http://www.revflacso.uh.cu/index.php/EDS/article/view/484>
- Campoverde-Villacis, D. y Bravo-Peláez, N. (2021). La eficiencia de la gestión educativa y su impacto en la innovación del docente de la Institución Bárbara Alfaro. *Digital Publisher CEIT*, 6(1), 139–155. <https://dx.doi.org/10.33386/593dp.2021.2-1.532>
- Codner, D. (2017). Elementos para el diseño de políticas de transferencia tecnológica en las universidades, *Redes*, 23(45), 49-61.
- Contreras, M., Páramo, D. y Rojano, Y. (2019). La teoría fundamental como metodología de construcción teórica. *Pensamiento & Gestión*, (47), 283-306. <https://doi.org/10.14482/pege.47.9147>
- Donneys, F. y Blanco, B. (2016). La transferencia de tecnología en universidades colombianas, *Economía y Desarrollo*, 157(2), 182-198.
- Dulcich, F. (2018). Especialización internacional y el escaso desarrollo endógeno de tecnología en la Argentina. *Ciencia, docencia y tecnología*, 29(56), 74-108. Recuperado de: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cdyt/n56/n56a04.pdf>

- García, C., Carreón, J., Hernández, J., Mejía, S., García, E. y Rosas, J. (2015). Hacia una agenda hídrica para la gobernanza local sustentable. *Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales*, 11(1), 130-154. Recuperado de: <http://revistacientifica.uaa.edu.py/index.php/riics/article/view/257>
- Gisbert, M. (2017). La investigación en Tecnología Educativa en un contexto digital. *Revista Interuniversitaria de Investigación En Tecnología Educativa*, (3). <https://dx.doi.org/10.6018/riite/2017/316331>
- González, M. (2021). El papel de la universidad como actor del conocimiento y la innovación en el desarrollo territorial sostenible. *Estrategia y Gestión Universitaria*, 9(1), 94-109. Recuperado de: <https://revistas.unica.cu/index.php/regu/article/view/1882/0>
- Hernández, J., Ravina, R. y Chumaceiro, A. (2020). Relevance and social responsibility of sustainable university organizations: analysis from the perspective of endogenous capacities, *Entrepreneurship and Sustainability Issues* 7(4): 2967-2977. [https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4\(26\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4(26))
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: Editorial Mc Graw Hill Education.
- Mancera-González, O. (2021). Educar y formar en el empoderamiento pacifista. *Ra Ximhai* 17(2): 15-45. <https://doi.org/10.35197/rx.17.02.2021.01.jg>
- Merritt, H. (2015). The Role of Human Capital in University-Business Cooperation: The Case of Mexico. *Journal of the Knowledge Economy* (6), 568-588.
- Millar, D. (2014) Endogenous development: some issues of concern, *Development in Practice*, 24(5), 637-647. <https://doi.org/10.1080/09614524.2014.938615>
- Moctezuma, P., López, S. y Mungaray, A. (2017). Innovación y desarrollo: programa de estímulos a la innovación regional en México. *Problemas del Desarrollo*, 48(191), 133-159. <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2017.11.007>.
- Moral, A., Uclés, D., Jurado, E. y Viruel, M. (2020). Sostenibilidad, desarrollo endógeno y economía social. *Revista Iberoamericana de Economía Solidaria e Innovación Socioecológica*, 3. <https://doi.org/10.33776/riesise.v3i0.4980>

- Natera, J. (2015). The Dynamicks of national innovation systems: an empirical approach to economic growth and development. *Innovation and Development*, 5(1), 169-172.
- Páramo, D. (2015). La teoría fundamentada (Grounded Theory), metodología cualitativa de investigación científica. *Pensamiento & Gestión*, (39), 7-13. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64644480001>
- Quispe, G. (2016). Visiones del desarrollo endógeno desde las comunidades locales. *Revista Perspectivas*, (37), 95-122. Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1994-37332016000100006&script=sci_arttext
- Romero, M. y Muñoz, M. (2014). Comunidad y desarrollo comunitario: aspectos teóricos y metodológicos. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 2(2), 77-89.
- Romero, R. (2020). Acciones pedagógicas para propiciar los pilares fundamentales de la educación venezolana. ¿Realidad o utopía? *Revista San Gregorio*, 1(39), 87-101. Recuperado de: <http://revista.sangregorio.edu.ec/index.php/revistasangregorio/article/view/1308>
- Tabera-Leyva, I., Carbonell-Pupo, A. y Leyva-Osorio, L. A. (2021). La gestión del conocimiento y la innovación para el desarrollo local sustentable: una visión desde la universidad de Moa. *Ciencia & Futuro*, 11(3), 61-81. Recuperado de: https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/2094
- Tovar, C. y Fontalvo, S. (2017). Cultura de innovación y desarrollo endógeno en la gerencia de las universidades en Santa Marta, Colombia. *Cultura*, 38(45).
- Vargas-Canales, J. (2021). Cultura y planeación del desarrollo en comunidades indígenas de la sierra sur, Oaxaca. *Ra Ximhai* 17(2), 121-145. doi.org/10.35197/rx.17.02.2021.05.em
- Vázquez, A. (2018). Reflexiones teóricas sobre la relación entre desarrollo endógeno y economía social. *Revista Iberoamericana de Economía Solidaria e Innovación Socioecológica*, 1. <https://doi.org/10.33776/riesise.v1i0.3581>
- Vázquez-Barquero, A. (2018). Constitución, desarrollo endógeno y dinámica de las instituciones. *Revista de economía mundial*, (48). <https://doi.org/10.33776/rem.v0i48.3885>

- Velásquez, K., Aguilera, L. y Pérez, J. (2021). La gestión de la innovación territorial en el entorno socioeconómico cubano. *RILCO: Revista de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional*, (12), 41-51. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8200233>
- Vidal, C. y Issa, S. (2017). Cultura de innovación y desarrollo endógeno en la gerencia de las universidades en Santa Marta, Colombia. *Cultura*, 38(45). Recuperado de: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n45/a17v38n45p02.pdf>
- Villalva-Heredia, C. (2018). El rol de la Universidad en el sistema de gestión agrícola en Ecuador. *EduSol*, 18(64). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/4757/475756620011/475756620011.pdf>

AGRADECIMIENTOS

Se expresa el agradecimiento a todas las personas que colaboraron con el desarrollo del presente estudio, especialmente a las autoridades y docentes de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

ACCESIBILIDAD UNIVERSAL EN LAS CALLES DEL TERRITORIO: DISTRITO URBANO 4, PUERTO VALLARTA, JALISCO

UNIVERSAL ACCESSIBILITY IN THE STREETS OF THE TERRITORY: URBAN DISTRICT 4, PUERTO VALLARTA, JALISCO

Adriana Yunuen **Dávalos-Pita**

Resumen

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sustentable, podemos encontrar en el Objetivo 11 la relación con la accesibilidad universal, el cual persigue la meta de que, dentro de la ciudad, cualquier individuo pueda disfrutar de los espacios públicos, atendiendo particularmente las necesidades de: personas con discapacidad, adultos mayores, mujeres, niños. Siendo este un punto muy importante a atender en la transformación de las ciudades hacia la sustentabilidad.

El presente estudio tiene como objetivo “Identificar las áreas de oportunidad que existen dentro del territorio a partir de la relación de las variables”. Se analizaron variables que tienen que ver con la accesibilidad universal en la vialidad, estas variables fueron tomadas de la plataforma interactiva Espacio y Datos de INEGI y fueron evaluados en campo según los criterios de la accesibilidad universal.

La investigación es de tipo correlacional, diseño descriptivo, con un enfoque cuantitativo, efectuando trabajo de campo y el

análisis de datos estadísticos por medio de software SPSS (versión 25) y una muestra conformada por 1,414 Manzanas. Los resultados revelan que se rechaza la hipótesis 1: La fuente con mejores índices de accesibilidad universal son los detectados en INEGI, así como la hipótesis 2: Existe relación significativa entre todas las variables de accesibilidad universal en el distrito 4 de Puerto Vallarta, se rechaza al no presentarse en la totalidad relación significativa.

Palabras clave: ciudad; inclusión social; derecho a la ciudad; sustentabilidad; calidad de vida; diseño universal.

Abstract

Within the Sustainable Development Goals, we can find in Goal 11 the relationship with universal accessibility, which pursues the goal that within the city, any individual can enjoy public spaces, particularly addressing the needs of: people with disability, older adults, women, children. This being a very important point to address in the transformation of cities towards sustainability.

The objective of this study is to "Identify the areas of opportunity that exist within the territory based on the relationship of the variables". Variables that have to do with universal accessibility in the road were analyzed, these variables were taken from the interactive platform Space and Data of INEGI and were evaluated in the field according to the criteria of universal accessibility.

The research is of a correlational type, descriptive design, with a quantitative approach, carrying out field work and statistical data analysis using SPSS software

(version 25) and a sample made up of 1,414 apples. The results reveal that hypothesis 1 is rejected: The source with the best rates of universal accessibility are those detected in INEGI, as well as hypothesis 2: There is a significant relationship between all the variables of universal accessibility in district 4 of Puerto Vallarta, it is rejected, there is no significant relationship in the entirety.

Key words: city; social inclusion; right to the city; sustainability; quality of life; universal design.

INTRODUCCIÓN

La ciudad es percibida de manera distinta según la experiencia de las personas, para aquellos con movilidad reducida como lo son adultos mayores, personas con discapacidad, mujeres, niños, entre otros, la ciudad es amenazante, dificulta su desempeño, los expone, inclusive para las personas que no tienen movilidad reducida la ciudad puede resultarles compleja. Las ciudades las vivimos de manera diferente si somos mujeres, si somos niños y niñas, si son personas con discapacidad, si son adultos mayores; entonces tiene que tomarse esta perspectiva de inclusión si queremos realmente construir ciudades igualitarias, ciudades incluyentes (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2016) (SEDATU). Aunado a esto, hay que contemplar también a las personas que son de baja o alta estatura, padres de familia que transitan con carritos de bebés o niños pequeños, el factor de la obesidad, mujeres embarazadas, así como todos aquellos que puedan contar con una condición temporal que no les permita una movilidad de manera segura, todos estos necesitan de una ciudad que sea amigable con ellos. Resaltó la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2018) la inclusión social asegura que todas las personas sin distinción puedan ejercer sus derechos y garantías, aprovechar sus habilidades y beneficiarse de las oportunidades que se encuentran en su entorno. Determinó la SEDATU (2019) sobre la inclusión que las calles deben ser diseñadas para que cualquier persona pueda hacer uso de la misma en igualdad de condiciones. Esto se logra a través del reparto equitativo del espacio, en especial de los usuarios más vulnerables, es decir de los peatones, ciclistas y usuarios del transporte público. A la vez considerar un enfoque de diseño universal para facilitar la movilidad y accesibilidad de toda la población, y no segregativo o exclusivo para las personas con discapacidad. También promover espacios atractivos que generen seguridad e interacción social entre todos los usuarios, con un enfoque

que priorice el uso de la calle por parte de niños y mujeres. La ciudad la hacen los habitantes, entonces un entorno urbano con deficiencias no es incluyente, resulta necesario atacar las deficiencias que se han venido desarrollando en el diseño de estos espacios.

Debemos recordar que existe el derecho a la ciudad, que da sustento a lo anteriormente expuesto, comentado por ONU-Habitat (2020) el derecho a la ciudad, es el derecho de todos los habitantes a habitar, utilizar, ocupar, producir, transformar, gobernar y disfrutar ciudades, pueblos y asentamientos urbanos justos, inclusivos, seguros, sostenibles y democráticos, definidos como bienes comunes para una vida digna. Es por esto que resulta vital la intervención dentro de las ciudades, ya que todo habitante precisa de un lugar donde pueda desarrollarse de manera integral, donde el papel de la accesibilidad universal resulta imprescindible para poder lograrlo. Para poder lograr que nuestras ciudades tengan estas características de inclusión, seguridad, justos, debemos aplicar los criterios de la accesibilidad universal, ya que esta contempla a todos los segmentos de población, logrando crear entornos inclusivos, tomando en cuenta las necesidades de todos, donde la sustentabilidad es la meta a llegar, las ciudades que aspiran a llegar a ser nombradas como sustentables, deben contemplar las necesidades de sus ciudadanos.

La Accesibilidad Universal es la característica que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos o instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad y comodidad y de la forma más autónoma y natural posible (Confederación Española de Personas con Discapacidad Física y Orgánica, s.f.). La sustentabilidad es el objetivo que persiguen las ciudades, pero tal como señaló Gutiérrez (2012) por más sustentable que sea, en un entorno inaccesible una silla de ruedas puede ser una prisión.

La accesibilidad universal no tiene por qué ser un obstáculo en el diseño de los proyectos, la accesibilidad universal prevista desde un inicio en los proyectos logra una armonía, no tiene que ser como algunos piensan, algo que demerite las propuestas, la mejor accesibilidad es la que no se percibe ya que es parte del proyecto, además se encuentra al alcance de todos, es decir emana diseño universal, de manera que las soluciones específicas sólo se utilizarán cuando no se pueda aplicar una solución universal. Indicó la SEDATU (2019) que el proyecto debe garantizar que las circulaciones, materiales, geometrías, señalamientos y elementos complementarios sean diseñados para su usabilidad para el mayor tipo de personas, incluidas las personas con discapacidad, personas con movilidad limitada, con limitación cognitiva, de género, identidad o edad, sin necesidad de adaptación ni diseño especializado.

Las ciudades son las que presentan el mayor número de la población, estas se encuentran en constante crecimiento, son las ciudades el foco para habitar, ya que en ellas se encuentran mejores oportunidades, condiciones de vida. Actualmente, poco más de la mitad de la humanidad habita en ciudades y para 2030, esta cifra ascenderá a casi el 60%. En México, dicha proporción es mayor dado que en 2010, casi tres cuartas partes de la población habitaba en áreas urbanas. Ello, evidencia la importancia de los centros urbanos como espacios donde cada vez más personas trabajan, estudian y residen, buscando mejorar su calidad de vida y vivir con dignidad (Universidad Nacional Autónoma de México, 2017). Los gobiernos de las ciudades entonces, deben poner especial atención en las condiciones que estos brindan a sus ciudadanos, en crear espacios que sean dignos, si son referentes para que otros vayan a la ciudad en busca de oportunidades, de mejorar en algún aspecto su vida, la ciudad debe poner especial atención en su infraestructura, en sus servicios, en el entorno urbano, sus espacios públicos, para que cualquier individuo pueda disfrutar de ella. El concepto de calidad de vida está directamente relacionado con la habitabilidad y la accesibilidad. El poder acceder y hacer uso en igualdad de condiciones, de manera cómoda, natural, segura y autónoma de los productos, entornos y servicios influye directamente en el bienestar de las personas y en su calidad de vida (López, Quesada, Guillem, Orellana, & Serrano, 2015).

El tener entornos con accesibilidad universal, le permiten al individuo ser autónomo, poder acceder a espacios de recreación, laborales, educación, abastos, entre otros sitios de interés, les da la oportunidad de tener libertad, potencializar sus talentos pudiendo desplazarse a cualquier punto de la ciudad, todo esto sin ser dependientes de una ayuda y sin ser expuestos a un accidente. El objetivo de la accesibilidad pasa por el logro de la autonomía personal y de la movilidad. A nivel urbano ello significa contar con una configuración de la red viaria sin obstáculos o barreras, en suma, lograr un urbanismo accesible (Fernández, García, Juncà, Rojas, & Santos, 2010). Una de las guías para poder evaluar nuestro entorno es la de Fernández et al. (2010) que nos señalan los siguientes elementos del entorno urbano a evaluar para el análisis de la accesibilidad, Tabla 1.

Tabla 1. Elementos de accesibilidad a evaluar en el entorno urbano

Principales elementos a considerar para analizar la accesibilidad del entorno urbano

- Flujos de circulación
 - Templado de tráfico
 - Itinerarios peatonales sin obstáculos » - Banda libre peatonal
 - Áreas peatonales
 - Elementos comunes de urbanización » - Aceras
-

- Bordo
 - Boloos, pilonas y horquillas
 - Pavimentos
 - Protección de alcorques
 - Pasos de peatones
 - Vados para vehículos
 - Rampas y suavizado de pendientes
 - Escalera
 - Pasamanos
 - Barandilla
 - Aparcamientos en superficie
 - Aparcamientos subterráneos
 - Elementos urbanos diversos
 - » - Bancos
 - Apoyos isquiáticos
 - Fuentes
 - Papeleras
 - Farolas
 - Teléfonos públicos
 - Aseos públicos
 - Semáforos
 - Buzones
 - Marquesinas
 - Quioscos y terrazas
 - Parquímetros
 - Cajeros automáticos
 - Máquinas expendedoras
 - Pérgolas
 - Elementos de ornamentación
 - Puertas de aparcamientos
 - Cubos y contenedores de basura
 - Elementos verticales
 - Elementos de la señalización
 - Lugares de descanso
 - Jardines públicos
 - Iluminación
 - Señalización
 - Barreras temporales
 - » - Zonas de obras en vía pública
 - Vehículos mal estacionados
 - Mantenimiento
-

Fuente: Elaboración propia a partir de Fernández et al. (2010).

La ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco, es un referente como oferta de turismo de sol y playa, en el país. Dentro del Municipio, con el objetivo de regularizar y tener un ordenamiento, facilitando la gestión de la ciudad, este se divide en distritos urbanos. La investigación se desarrolla en el Distrito Urbano 4 de Puerto Vallarta, Jalisco; el cual se encuentra subdividido 3 subdistritos: A, B y C. Este Distrito es muy importante en Puerto Vallarta, ya que en él se desarrolla alta actividad comercial, posee gran cantidad de habitantes por ser de los distritos en la ciudad más consolidados, así como sus paisajes naturales como son: Río, Montaña y Laguna. Comentó el Gobierno de Puerto Vallarta, Jalisco (2020) el distrito urbano 4 facilita la comunicación y conectividad hacia el resto del territorio y es de gran importancia ya que en él se concentran actividades relacionadas al comercio y servicios para la población. Figura 1.



Figura 1. Localización del Distrito urbano 4.

Fuente: Gobierno Municipal de Puerto Vallarta, Jalisco 2020.

Objetivo general

- Identificar las áreas de oportunidad que existen dentro del territorio a partir de la relación de las variables

Objetivo específico

- Detectar cual fuente de datos tiene los mejores índices en el distrito urbano 4
- Determinar la significatividad de la relación de las variables en la vialidad

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Diseño de investigación

El diseño de investigación constituye el plan y la estructura de la investigación, concibiéndose de determinada manera que permita obtener respuestas a las preguntas de investigación (Kerlinger & Lee, 2002).

El tipo de diseño de investigación que se llevó a cabo es una investigación con diseño no experimental, además de ser de corte transversal, ya que no se manipularon las variables y solo se realizó el estudio en un momento en el tiempo.

Enfoque de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo ya que se implementó el uso de análisis de datos estadísticos, para explicar la relación entre las variables existentes en el territorio que tienen que ver con la accesibilidad universal.

La investigación cuantitativa busca encontrar la fuerza de asociación o correlación entre variables, la generalización y objetivación de los resultados a través de una muestra para hacer inferencia a una población de la cual toda muestra procede (Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2002).

Tipo de investigación

Esta investigación se cataloga como una investigación de tipo correlacional, ya que se busca la relación entre las variables que integran la accesibilidad universal en el territorio.

Señaló Mejía (2017) la investigación correlacional consiste en buscar diversas variables que interactúan entre sí, así cuando sucede un cambio en una de ellas, se puede asumir cómo será el cambio en la otra que se encuentra directamente relacionada con la misma.

Hipótesis

Las hipótesis son las guías de una investigación o estudio. Las hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del

fenómeno investigado (Mejía, 2017). La hipótesis que persiguió esta investigación fue:

- La fuente con mejores índices de accesibilidad universal son los detectados en INEGI.
- Existe relación significativa entre todas las variables de accesibilidad universal en el distrito 4 de Puerto Vallarta.

Técnica de recolección de datos

Observación estructurada

Comentaron Campos y Lule (2012) la observación estructurada se refiere a la observación metódica que es apoyada por instrumentos como la guía de observación y el diario de campo mediante la utilización de categorías previamente codificadas y así poder obtener información controlada, clasificada y sistemática.

Podemos concluir entonces que, la observación que se aplicó es estructurada, ya que, al momento del trabajo de campo, ya se contaban con las variables establecidas a calificar para su posterior análisis.

Análisis de datos

La codificación y análisis de los datos se realizaron en el paquete estadístico SPSS versión 25. Se inspeccionó los valores fuera de rango, medias, desviaciones típicas y coeficientes de variación. Se realizó un análisis de correlaciones de Pearson para determinar la relación entre todas las variables objeto de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Este territorio fue sometido a una evaluación de variable es que tienen que ver con la accesibilidad universal, estos fueron tomados de Instituto Nacional de Estadística y Geografía (s.f.) (INEGI) en su plataforma interactiva Espacio y

Datos, además estos mismos se contrastaron en campo para calificar en ellos el aspecto de la accesibilidad universal. Analizándose la siguiente información dentro de las manzanas del distrito urbano 4, Figura 2.

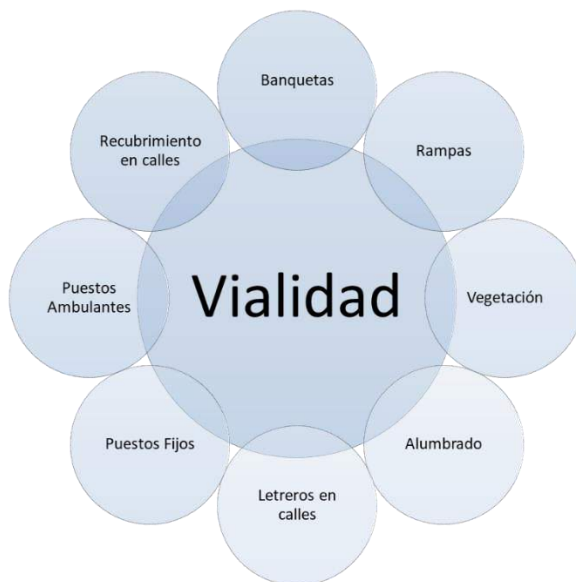


Figura 2. Elementos a evaluar en la vialidad.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la cantidad de número de manzanas analizadas y su clasificación según el origen de datos, Tabla 2.

Tabla 2. Origen de los datos

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	INEGI	1414	50,0	50,0	50,0
	CAMPO	1414	50,0	50,0	100,0
	Total	2828	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Estas manzanas fueron sometidas a una evaluación, reinterpretando la clasificación realizada por INEGI en colores, posteriormente verificando la

situación en cuanto a la accesibilidad universal de cada manzana para así obtener un valor numérico mediante la siguiente estructura, Tabla 3.

Tabla 3. Tabulación para variables en vialidad

Tabulación para recubrimiento, banqueta, vegetación, rampas, alumbrado y letreros					
Significado	Ninguna calle	Alguna calle	Alguna calle y accesible	Todas las calles	Todas las calles y accesibles
Puntaje	0	1	1.5	2	2.5

Fuente: Elaboración propia.

Agregando una evaluación en cuanto a Puestos Ambulantes y Fijos, ya que estos por su naturaleza son una obstrucción en cuanto a la movilidad, Tabla 4.

Tabla 4. Tabulación para variables de puestos

Tabulación para Puestos ambulantes y fijos			
Significado	Ninguna calle	Alguna calle	Todas las calles
Puntaje	0	1	2

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos de cada manzana del Distrito Urbano 4 se procesaron para obtener un índice, donde el valor índice de cada manzana tanto de INEGI como en Campo, nos arroja los siguientes datos estadísticos descriptivos, Tabla 5.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos del Índice de Accesibilidad Universal

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Índice de Accesibilidad Universal	2828	,06	1,88	,8369	,35179
N válido (por lista)	2828				

Fuente: Elaboración propia.

Dicho índice para su análisis se delimitó por grupo de origen de datos, obteniendo la media y desviación de cada uno de los grupos, dando como resultado lo siguiente, Tabla 6.

Tabla 6. Índice de Accesibilidad Universal por origen de datos

	Origen de los datos	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Índice de Accesibilidad Universal	INEGI	1414	,8832	,37673	,01002
	CAMPO	1414	,7907	,31840	,00847

Fuente: Elaboración propia.

Se ejecutó la comparación de la media de los grupos, según el origen de los datos, aplicando la prueba de Levene de igualdad de las varianzas y así definir si podemos o no suponer varianzas iguales, dando como resultado lo siguiente, Tabla 7.

Tabla 7. Prueba de muestras independientes del Índice de Accesibilidad Universal

	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
								Inferior	Superior	
Índice de Accesibilidad Universal	Se asumen varianzas iguales	28,808	,000	7,056	2826	,000	,09256	,01312	,06684	,11828
	No se asumen varianzas iguales			7,056	2749,625	,000	,09256	,01312	,06684	,11828

Fuente: Elaboración propia.

Este resultado nos dice que, en cuanto al Índice de Accesibilidad Universal, no se asumen varianzas iguales entre los grupos de origen de datos, lo que se interpreta que entre estos dos grupos al interior presentan diferencias significativas, ya que la Sig. (bilateral) es menor a 0.05.

Correlaciones

Se procedió a medir el grado de dependencia existente entre la totalidad de las variables, aplicando la prueba de correlación por los denominados coeficientes de correlación lineal de Pearson, así como las diferencias en la variable es según su origen de datos por medio de las medias y desviaciones típicas, y pruebas t para evaluar las medias, Tabla 8:

Tabla 8. Correlación de Pearsons, medias, desviaciones típicas y pruebas t entre las variables consideradas

	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Existencia de Recubrimiento	1							
2 Existencia de Banqueta	,844**	1						
3 Existencia de Vegetación	,182**	,234**	1					
4 Existencia de Rampas	,431**	,412**	,132**	1				
5 Existencia de Alumbrado	,118**	,105**	,182**	-,143**	1			
6 Existencia de Letrero de Calles	,543**	,592**	,345**	,399**	,142**	1		
7 Existencia de Puestos Fijos	-,057**	-,070**	-,284**	,235**	-,304**	-,040*	1	
8 Existencia de Puestos Ambulantes	,113**	,122**	-,220**	,212**	-,349**	,016	,500**	1

INEGI Media	,895	,979	1,414	,250	1,223	,888	,50	,91
INEGI DT	,7489	,7601	,6544	,5825	,7025	,7479	,818	,932
Campo Media	,707	,703	,991	,147	1,304	,456	,90	1,12
Campo DT	,5915	,5851	,5989	,3779	,6039	,5160	,881	,888
T	7,41** *	10,85* **	17,95* **	5,61** *	- 3,27** *	17,88* **	- 12,27* **	- 6,15** *

*p<0.05; **p<0.01; Las correlaciones son significativas

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra que en cuanto a la variable Existencia de recubrimiento, correlaciona de manera significativa con la totalidad de las variables. La existencia de recubrimiento muestra correlaciones de forma tanto significativa como positivamente con los variable es: existencia de banquetas ($r=.844$, $p<0.01$), existencia de vegetación ($r=.182$, $p<0.01$), existencia de rampas ($r=.431$, $p<0.01$), existencia de alumbrado ($r=.118$, $p<0.01$), existencia de letrero de calles ($r=.543$, $p<0.01$) y existencia de puestos ambulantes ($r=.113$, $p<0.01$) lo que significa que mientras la vialidad tenga buenas condiciones de recubrimiento podremos encontrar la presencia de banquetas, alumbrado, vegetación, letreros de calle y el ambiente propicio para existencia de ambulante; así como se correlaciona negativo pero significativamente existencia de puestos fijos ($r=-.057$, $p<0.01$). Interpretando esta variable que actúa de forma negativa que a medida que una vialidad tenga buenas condiciones de recubrimiento, será menor la presencia de puestos fijos en la vialidad.

En la variable existencia de banquetas, esta correlaciona de manera significativa con todas las variables, siendo la correlación significativa y positiva con existencia de recubrimiento ($r=.844$, $p<0.01$), existencia de vegetación ($r=.234$, $p<0.01$), existencia de rampas ($r=.412$, $p<0.01$), existencia de alumbrado ($r=.105$, $p<0.01$), existencia de letreros en calles ($r=.592$, $p<0.01$) y existencia de puestos ambulantes ($r=.122$, $p<0.01$), esto quiere decir que mientras tengamos una banqueta en buen estado, podemos encontrar también la presencia en la vialidad de recubrimiento, alumbrado, vegetación, letreros en calles y puestos ambulantes; además se correlaciona de manera negativa pero significativamente con la existencia de puestos fijos ($r=-.070$, $p<0.01$), esto podemos interpretarlo como que a medida de que existen banquetas en buenas condiciones, la presencia de puestos fijos se ve reducida.

Concerniente a la existencia de vegetación, esta variable correlaciona significativamente con todas las variables, siendo positiva y significativamente

con la existencia de recubrimiento ($r=.182$, $p<0.01$), existencia de banqueta ($r=.234$, $p<0.01$), existencia de rampas ($r=.132$, $p<0.01$), existencia de alumbrado ($r=.182$, $p<0.01$), existencia de letrero de calles ($r=.345$, $p<0.01$), lo que se interpreta como una vialidad que tiene existencia de vegetación, en ella también podremos encontrar la presencia de las variables anteriormente nombradas; correlaciona negativa pero significativamente con existencia de puestos fijos ($r=-.284$, $p<0.01$) y existencia de puestos ambulantes ($r=-.220$, $p<0.01$), esto quiere decir que en la vialidad que presenta una existencia de vegetación, no da espacio para que se desarrolle plenamente la presencia de los puestos tanto fijos como ambulantes haciendo que esta sea menor.

Sobre la existencia de rampas, esta correlaciona significativamente con todas las variables, de forma positiva y significativa con existencia de recubrimiento ($r=.431$, $p<0.01$), existencia de banqueta ($r=.412$, $p<0.01$), existencia de vegetación ($r=.132$, $p<0.01$), existencia de letrero en calle ($r=.399$, $p<0.01$), existencia de puestos fijos ($r=.235$, $p<0.01$) y existencia de puestos ambulantes ($r=.212$, $p<0.01$) esto nos dice una vialidad con rampas, traerá consigo presencia importante de recubrimientos, banquetas, vegetación, letrero de calles, pero obstáculos como presencia de puestos tanto fijos como ambulantes; correlaciona de forma negativa pero significativa con la existencia de alumbrado ($r=-.143$, $p<0.01$) lo que nos dice que a medida de que tengamos una vialidad con rampas, podemos encontrarnos con el inconveniente de que la presencia de alumbrado se vea disminuida.

Con la variable existencia de alumbrado se encuentra que todas tienen una relación significativa, conformado por correlación de variables de manera positivamente y significativamente con la variable existencia de recubrimientos ($r=.118$, $p<0.01$), existencia de banquetas ($r=.105$, $p<0.01$), existencia de vegetación ($r=.182$, $p<0.01$) y existencia de letreros de calle ($r=.142$, $p<0.01$), lo que nos dice que mientras se tenga alumbrado en la vialidad, encontraremos existencia de recubrimiento, banquetas, vegetación y letreros en calle, así mismo se correlaciona de forma negativa pero significativamente con existencia de rampas ($r=-.143$, $p<0.01$), existencia de puestos fijos ($r=-.304$, $p<0.01$) y existencia de puestos ambulantes ($r=-.349$, $p<0.01$), lo que indica que a medida de que se tiene alumbrado en la vialidad, tendremos carencia en rampas y poca presencia de puestos tanto fijos como ambulantes.

En la variable existencia de letrero en calles, se encontró que solo las variables: existencia de recubrimiento, existencia de banquetas, existencia de vegetación, existencia de rampas, existencia de alumbrado y existencia de puestos fijos tienen significatividad, siendo de manera positiva y significativa la variable existencia de recubrimiento ($r=.543$, $p<0.01$), existencia de banquetas ($r=.592$, $p<0.01$), existencia de vegetación ($r=.345$, $p<0.01$), existencia de rampas ($r=.399$, $p<0.01$), existencia de alumbrado ($r=.142$, $p<0.01$) lo que nos indica que mientras

una vialidad tenga existencia de este elemento, también se podrán encontrar recubrimiento, banquetas, vegetación, rampas, alumbrado; también correlaciona de manera negativa pero significativamente con existencia de puestos fijos ($r=-.040$, $p<0.05$), lo que nos indica que a medida de que una vialidad cuenta con su señalización de letreros de calles, se ve reducida la presencia de puestos fijos en la vialidad. No se encuentra relación significativa con la presencia de puestos ambulantes.

En cuanto a la variable existencia de puestos fijos, este correlaciona significativamente con la totalidad de las variables, de manera positiva y significativamente con la existencia de rampas ($r=.235$, $p<0.01$) y existencia de puestos ambulantes ($r=.500$, $p<0.01$), siendo entonces que cuando la vialidad tenga presencia de puestos fijos, esta vialidad también contara con presencia de rampas, pero también con presencia de puestos ambulantes; de manera negativa y significativamente con existencia de recubrimientos ($r=-.057$, $p<0.01$), existencia de banquetas ($r=-.070$, $p<0.01$), existencia de vegetación ($r=-.284$, $p<0.01$), existencia de alumbrado ($r=-.304$, $p<0.01$), existencia de letrero de calles ($r=-.040$, $p<0.05$), lo que nos indica que al tener en la vialidad existencia de puestos fijos, tendremos pobres condiciones de recubrimiento, de banquetas, de vegetación, alumbrado y letrero en calles, esto nos habla de que las calles con mayor presencia de puestos son aquellas vialidades en las que aún se encuentra en una nivel muy pobre de infraestructura urbana.

Al evaluar la variable existencia de puestos ambulantes, se detecta que este se correlaciona significativamente con las variables: existencia de recubrimiento, existencia de banquetas, existencia de vegetación, existencia de rampas, existencia de alumbrado y existencia de puestos fijos. Siendo la existencia de letreros en calle una variable que no resulta significativa. De manera positiva y significativa la existencia de recubrimientos ($r=.113$, $p<0.01$), existencia en banquetas ($r=.122$, $p<0.01$), existencia de rampas ($r=.212$, $p<0.01$) y existencia de puestos fijos ($r=.500$, $p<0.01$) quiere decir que aquellos puestos ambulantes buscaran tener un recorrido en una vialidad que presente recubrimientos, banquetas, rampas y también presencia de puestos fijos; de manera negativa pero significativamente con la variable existencia de vegetación ($r=-.220$, $p<0.01$) y existencia en alumbrado ($r=-.349$, $p<0.01$) lo que indica que en aquellas vialidades donde más presencia se encuentra el ambulante son vialidades con poca vegetación y además cuenta con una disminución en la situación del alumbrado. Con la variable Letrero en calles no se encontró resultado significativo.

También en la Tabla 8 se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de origen de datos, INEGI y campo, en todas las variables, según los datos de T.

Dado este análisis se puede encontrar que las vialidades que cuentan con buen promedio en cuanto a su recubrimiento, banquetas, vegetación, alumbrado y letrero de calles estas tienen poca presencia de puestos fijos, lo cual resulta beneficioso para poder tener una mejor movilidad dentro del entorno urbano.

En cuanto a los puestos ambulantes, estos prefieren vialidades con mejores condiciones para poder desplazarse, lo cual resulta lógico ya que comúnmente desarrollan su actividad mediante el uso de carritos, triciclos, caminando o en automóviles. Resulta importante destacar la poca relación que se tiene con la vegetación, lo que se interpreta que la vegetación ocupa los lugares en la vialidad y no permite que estos se establezcan, además de que la ausencia o poca presencia de alumbrado no es espacio de su preferencia.

Podemos inferir en cuanto al alumbrado que su poca presencia o ausencia en algunos casos, desencadena que no sea un lugar seguro por la poca visibilidad que presenta, siendo a resaltar que aquellas personas con movilidad reducida que en cuanto a lo motriz precisan de una rampa se expongan aún más.

Discusión

El objetivo de este trabajo era “Identificar las áreas de oportunidad que existen dentro del territorio a partir de la relación de las variables”. Los resultados obtenidos nos permiten rechazar en su totalidad ambas hipótesis:

1. La fuente con mejores índices de accesibilidad universal son los detectados en INEGI.
2. Existe relación significativa entre todas las variables de accesibilidad universal en el distrito 4 de Puerto Vallarta.

Ya que podemos encontrar que en cuanto a la hipótesis 1, no cuenta INEGI con los mejores índices en la totalidad de las variables, ya que la situación de alumbrado resulta mejor evaluada en campo, al igual que las variables de Puestos Fijos y Ambulantes presentan más altos índices en campo.

En cuanto a la hipótesis 2, no se encontró la relación significativa entre todas las variables, destacando la ausencia de significatividad en la relación de Letreros en calle y Puestos Ambulantes.

Aun dentro del distrito urbano 4, hay puntos importantes por atacar, que haciéndolo nos llevará a tener vialidades con mejores condiciones, que cumplan con criterios de accesibilidad universal, dotándole al ciudadano un entorno digno y seguro para desenvolverse, el gobierno de la ciudad deberá atacar la pobre accesibilidad de los elementos de la vialidad para poder otorgar mejores condiciones, tal como señala Hernández (2011). Es responsabilidad de la sociedad en su conjunto y muy especialmente de los poderes públicos modificar

el entorno de modo que pueda ser utilizado en igualdad de condiciones por todos y cada uno de los ciudadanos. Resaltamos el hecho de que la sociedad también tiene un papel importante, ya que su desempeño ha provocado también entornos con poca accesibilidad esto al alterar elementos de la vialidad o colocando obstáculos. Para que la ciudad mantenga su nivel de humanismo es necesario construir y reconstruir creativamente el espacio público que debe ser concebido por todos y para todos los ciudadanos como el espacio en el que se debe convivir y se realizan actividades colectivas e interacciones, su preservación, su buen uso y aprovechamiento; es un espacio en que puede y debe ser aprovechado, cuidado y gozado por los miembros de la comunidad; es deber de los gobiernos cuidar el equilibrio de su uso, evitando el monopolio de los mismos, manteniéndolos como un espacio de convivencia, de creación y de recreación (Luna Parra, 2002).

Existe poca literatura que ayude a construir una evaluación del territorio para poder tomar decisiones, es necesario crear una metodología que nos oriente en la evaluación de las variables que impactan en la vialidad y su relación con la accesibilidad universal. Ya que básicamente solo se encuentra literatura sobre las condiciones que se deberían aplicar, criterios, características y normativas, pero sobre los entornos existentes hace falta trazar una ruta.

CONCLUSIONES

Las ciudades están en una continua búsqueda de maneras en las cuales aplicar la sustentabilidad, apegándose a acuerdos, manuales, normas, para que este crecimiento que tienen en sus manchas urbanas sea cubriendo estos aspectos. Sin embargo ¿qué pasa con todo lo construido?, es preciso abordar este hueco, para poder diagnosticar como esta nuestro territorio, detectar esos focos rojos y poder atacar en búsqueda de poder mejorar lo que ya tenemos.

Las variables tomadas de la plataforma de INEGI nos ayudan a acercarnos a conocer la situación que viven nuestras vialidades, sería oportuno que existiera por parte de las fuentes oficiales un apartado que incluya esta visión de la accesibilidad universal, así los gobiernos podrían tener un levantamiento sobre su territorio, para que se puedan hacer acciones que contribuyan al bienestar de la población en general.

Por desgracia el hablar de accesibilidad universal lo visualizan como un aspecto no importante, irrelevante inclusive, sin darse cuenta que un aspecto fundamental, con indicadores demográficos como la esperanza de vida, esta va en aumento y la población adulto mayor necesita de mejores condiciones para vivir, algunas discapacidades derivadas de los frecuentes accidentes, enfermedades crónicas degenerativas, inclusive la tasa de obesidad es importante para poder planear un territorio con mejores condiciones.

Si bien la ciudad de Puerto Vallarta es un destino turístico consolidado en el sector de sol y playa, las intervenciones dentro del territorio en cuanto a accesibilidad universal se han visto cortas, mejoras que, dado la condición de lugar turístico, se implementan básicamente en zonas turísticas, dejando atrás a todos los ciudadanos que habitamos el Puerto. Los municipios podrían hacer una planeación estratégica para poder mejorar sus condiciones urbanas y con ello captar ese turismo que busca una ciudad que sea amigable, o el ciudadano que busca una ciudad con mejor calidad de vida. Los compromisos en cuanto a la sustentabilidad, han sido atacados de manera muy superficial, dejando el aspecto humano bastante rezagado.

LITERATURA CITADA

- Campos y Covarrubias, G., & Lule Martínez, N. E. (2012). La observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai*, VII(13), 45-60.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (12 de Diciembre de 2018). *CEPAL*. Obtenido de *CEPAL* : <https://www.cepal.org/es/enfoques/inclusion-social-economica-politica-personas-mayores>
- Confederación Española de Personas con Discapacidad Física y Orgánica. (s.f.). *Observatorio Accesibilidad y Vida Independiente*. Obtenido de Observatorio Accesibilidad y Vida Independiente : <https://observatoriodelaaccesibilidad.es/archivos/3104>
- Fernández, J. d., García Milá, J., Juncà Ubierna, J. A., de Rojas Torralba, C., & Santos Guerras, J. J. (2010). *Manual para un entorno accesible*. Madrid: Real Patronato sobre Discapacidad, con la colaboración de la Fundación ACS. Recuperado el 5 de Marzo de 2017, de http://www.included.eu/sites/default/files/documents/realpatronato.manual_entorno_accessible.pdf
- Gobierno de Puerto Vallarta, Jalisco. (24 de Diciembre de 2020). *Gobierno de Puerto Vallarta, Jalisco*. Recuperado el 21 de Agosto de 2021, de Gobierno de Puerto Vallarta, Jalisco.: <https://transparencia.puertovallarta.gob.mx/gacetas/2018-2021/Gaceta%2018%20T02%20WEB.pdf>
- Gutiérrez Brezmes, J. L. (25 de Septiembre de 2012). *Universidad Iberoamericana*. Obtenido de <http://campusverde.ibero.mx/otros/foro-sistemas-manejo-ambiental/presentaciones/2-j-1-gutierrez-brezmes.pdf>

- Hernández Galán, J. (2011). *Accesibilidad Universal y Diseño para Todos. Arquitectura y Urbanismo*. (1° ed.). España: Fundación ONCE/Vía Libre.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). Espacio y Datos de México. Recuperado el 15 de 01 de 2022, de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/>
- López Catalán, M., Quesada Molina, F., Guillem Mena, V., Orellana Valdez, D., & Serrano, A. (2015). La accesibilidad en la vivienda sustentable. *Estudios sobre Arte Actual*.
- Luna Parra, M. A. (2002). Ciudades humanas. En *Ciudades humanas. Pobreza urbana y el futuro de las ciudades*. (Primera ed., págs. 93-104). México: Gobierno del Estado de México.
- Mejía Jervis, T. (04 de Mayo de 2017). *Lifeder*. Recuperado el 22 de Marzo de 22, de <https://www.lifeder.com/investigacion-correlacional/>
- ONU-Habitat. (24 de Febrero de 2020). *ONU-Habitat*. Obtenido de ONU-Habitat: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/componentes-del-derecho-a-la-ciudad#:~:text=El%20Derecho%20a%20la%20Ciudad,comunes%20para%20una%20vida%20digna.>
- Pita Fernández, S., & Pértegas Díaz, S. (27 de 05 de 2002). *Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey*. Obtenido de <https://homepage.cem.itesm.mx/amaya.arribas/diferenciascuanti-cuant.pdf>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (24 de 10 de 2016). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sedatu/prensa/derecho-a-la-ciudad-accesibilidad-universal-y-enfoque-de-genero-aportaciones-de-mexico-a-la-nueva-agenda-urbana?idiom=es-MX>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2019). *Manual de calles. Diseño vial para calles mexicanas*. Ciudad de México, México. Obtenido de <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/manual-de-calles-diseno-vial-para-ciudades-mexicanas>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2017). *Ciudades sostenibles y derechos humanos*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de http://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/OtrosDocumentos/Doc_2017_033.pdf

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la Universidad de Guadalajara “Mi alma matter”, a mi hogar el Centro Universitario de la Costa, así como al CONACYT, por los años de formación que me trajeron a este momento. Gracias al Dr. Remberto Castro Castañeda por su guía y apoyo en el uso de SPSS.

SÍNTESIS CURRICULAR

Adriana Yunuen Dávalos Pita

Arquitecta por la Universidad de Guadalajara (UdeG), por el Centro Universitario de Arte Arquitectura y Diseño (CUAAD), registrada como Perito responsable de obra en Puerto Vallarta, Jalisco, cuenta con Maestría en Valuación Inmobiliaria e Industrial por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) y Maestría en Administración de Negocios por la Universidad de Guadalajara (UdeG) perteneciente al PNPC de CONACYT. Doctora en Ciencias para el Desarrollo, la Sustentabilidad y el Turismo por la Universidad de Guadalajara (UdeG), perteneciente al PNPC de CONACYT. Ha trabajado como Supervisor de obra, Diseñador y Perito Valuador Inmobiliario y Docente en el Nivel Medio Superior, actualmente Docente por parte de la Universidad de Guadalajara en la Licenciatura en Arquitectura, en el Centro Universitario de la Costa; Investigador colaborador en el Cuerpo Académico Estudios de la Ciudad, Arquitectura y Desarrollo, del Centro Universitario de la Costa. Ha sido autor de varios artículos sobre Accesibilidad Universal. Correo: yunuen.davalos@academicos.udg.mx.

CONOCIMIENTO TRADICIONAL, AGROBIODIVERSIDAD Y PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS EN LOS LIIPAKAN (HUERTOS FAMILIARES) DE OLINTLA, PUEBLA

TRADITIONAL KNOWLEDGE, AGROBIODIVERSITY AND AGROECOLOGICAL PRACTICES IN THE LIIPAKAN (HOME GARDENS) OF OLINTLA, PUEBLA

Patricia **Tino-Antonio**¹; Primo **Sánchez-Morales**^{2*}; Dionicio **Juárez-Ramón**³; Eckart **Boege-Schmidt**⁴ y Julio **Sánchez-Escudero**⁵

Resumen

Los huertos familiares son agroecosistemas muy antiguos que muestran identidad cultural y conocimientos, por lo que el presente trabajo tiene por objetivo analizar el conocimiento ecológico tradicional que poseen las familias campesinas e indígenas de Olintla, Puebla, con relación al manejo del huerto familiar. La metodología

implementada fue a través del estudio de caso que nos permitió aplicar una metodología mixta. Se aplicaron técnicas cualitativas como la entrevista semiestructurada, que se realizó con 15 informantes clave; y como técnica cuantitativa, la encuesta, en la cual se calculó un tamaño de muestra de 76 familias, obtenido de un listado previo de familias que poseen huertos (N=380) esto con el fin de recolectar información primaria de una

¹ Estudiante de la Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio VAL 1. Km 1.7 carretera a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa, CP. 72960, Puebla, Pue. México bio_sigloxx1@hotmail.com

² Profesor-Investigador del programa de Manejo Sostenible de Agroecosistemas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio VAL 1. Km 1.7 carretera a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa, CP. 72960, Puebla, Pue. México. *Autor de correspondencia: primosamo@yahoo.com

³ Centro De agroecología, Instituto de ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio VAL 1. Km 1.7 carretera a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa, CP. 72960, Puebla, Pue. México. dionicio.juarez@correo.buap.mx

⁴ Profesor Investigador Emérito del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Jalapa, Veracruz. eckart.boege@gmail.com

⁵ Profesor-Investigador del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 México 136.5 CP. 56230, Montecillo, México. sanchezzej@hotmail.com

manera más completa. Con los datos obtenidos se realizó una base de datos en Microsoft Excel®, donde se registró de manera codificada la información obtenida, dicha información se procesó con el programa SPSS versión 27.0. Se encontró que las familias campesinas de Olintla nombran en su lengua natal, el totonaco, al huerto familiar como liipakan, y se obtuvo también que la agrobiodiversidad que presentan los liipakan se ve reflejada en un alto número de especies registradas el cual fue de 239, de las cuales 130 son nativas; además, 142 son nombradas en totonaco. También se hizo una clasificación de 18 categorías de acuerdo con el uso que le dan; se registraron 10 prácticas agroecológicas que se emplean en los huertos como parte del conocimiento tradicional y se realizó una escala de conocimiento que poseen las familias, obteniendo que 58 propietarios poseen un conocimiento de alto a muy alto, lo cual evidencia la conservación de la biodiversidad y la preservación del patrimonio biocultural. Se concluye que los liipakan son importantes porque se destinan principalmente para producir alimentos (49.8% de especies cultivadas) aportando a la soberanía alimentaria de las familias de Olintla; además, allí se cultivan plantas medicinales (24.7%) y especies ornamentales (23.4%).

Palabras clave: agrobiodiversidad; prácticas agroecológicas; saberes y haceres locales; liipakan.

Abstract

Home gardens are very old agroecosystems that show cultural identity and knowledge, so the present work aims to analyze the traditional ecological knowledge possessed by the peasant and indigenous families of Olintla, Puebla, in relation to the management

of the home garden. The methodology implemented was through a case study that allowed us to apply a mixed methodology. Qualitative techniques were applied, such as the semi-structured interview, which was conducted with 15 key informants; and as a quantitative technique, the survey, in which a sample size of 76 families was calculated, obtained from a previous list of families that have home gardens (N=380) in order to collect primary information in a more complete way. With the data obtained, a database was created in Microsoft Excel®, where the information obtained was recorded in a coded manner and processed with the SPSS program version 27.0. It was found that the farming families of Olintla name the family garden as liipakan in their native language, Totonac, and it was also found that the agrobiodiversity of the liipakan is reflected in the high number of species registered, which was 239, of which 130 are native; in addition, 142 are named in Totonac. A classification of 18 categories was also made according to their use; 10 agroecological practices used in the orchards were recorded as part of the traditional knowledge and a scale of knowledge possessed by the families was made, obtaining that 58 owners have a high to very high level of knowledge, which evidences the conservation of biodiversity and the preservation of the biocultural heritage. It is concluded that the liipakan are important because they are mainly used to produce food (49.8% of cultivated species) contributing to the food sovereignty of Olintla families; in addition, medicinal plants (24.7%) and ornamental species (23.4%) are cultivated there.

Key words: agrobiodiversity; agroecological practices; local knowledge and know-how; liipakan.

INTRODUCCIÓN

Actualmente ha crecido el interés por estudiar la agricultura tradicional a través de ciencias como la Etnoecología, Etnobotánica y recientemente la Agroecología (Altieri, 2009), ya que sus principios se basan en el conocimiento tradicional, que las familias campesinas e indígenas, han transmitido a lo largo del tiempo de generación en generación. Gracias a estos conocimientos se han podido desarrollar prácticas para el manejo de su patrimonio biocultural, y se han diseñado y manejado sistemas sostenibles para la producción de alimentos, bienes y servicios (Toledo, 2012). Por tanto, se puede decir que este análisis se da desde un enfoque ecológico y cultural, además de aspectos sociales y económicos (Boege, 2018).

Por otro lado, se puede mencionar que hay una coevolución de los pueblos originarios junto con su cultura y su patrimonio biocultural, dando lugar así a la bioculturalidad, la cual se caracteriza entonces por poner a la cultura como un medio entre la sociedad y naturaleza (Luque *et al.*, 2018). A este acumulativo de saberes y haceres es a lo que denominamos Conocimiento Ecológico Tradicional (CET) que se caracteriza porque las comunidades indígenas se basan en sus creencias y respeto a su entorno inmediato para su manejo. El conocimiento es el resultado de experiencias prácticas y está basada en la experiencia directa y local además de que es un acumulativo de información que se transmite de generación en generación (García *et al.*, 2019a; Cano *et al.*, 2016).

El conocimiento se transmite de generación en generación, de manera oral o por medio de la práctica (Boege, 2018), también está relacionado al lenguaje, las relaciones sociales, su cosmovisión y principalmente su cultura (White-Olascoaga y Chávez-Mejía, 2016). Mientras que la experiencia hace referencia a las actividades realizadas a lo largo del tiempo, es netamente práctica y se basa en la experimentación, por ejemplo, en el liipakan la elaboración de compostas y el cuidado del huerto (García *et al.*, 2019a).

Uno de los sistemas inmediatos al entorno de las comunidades indígenas es el huerto familiar, el cual recibe diferentes nombres, dependiendo de la región, en este caso lo denominan liipakan en lengua totonaca, y de acuerdo con Ibarra *et al.* (2019), García *et al.* (2019b) y Mariaca (2012), es el espacio que rodea o se encuentra junto a la casa habitación, en el que podemos encontrar barreras vivas, plantas cultivadas y animales criados y del cual se obtienen alimentos frescos y variados durante todo el año, además de reflejar la identidad cultural de las familias, así como el conocimiento ecológico tradicional que se tiene de este espacio (Calvet-Mir *et al.*, 2014).

Una de las principales funciones del liipakan es el cultivo de plantas, es decir, las familias campesinas cultivan sus alimentos, como lo menciona Nair (2000).

Además, el liipakan contribuye a la economía de las familias campesinas de Olintla ya que el principal objetivo es el autoabasto y la venta de productos excedentes.

De acuerdo con lo anterior los huertos familiares tienen mucha importancia tanto económica, social, biológica y cultural; igualmente, existe un alto nivel de conocimientos ecológicos tradicionales asociados, que contribuyen a la gestión de estos agroecosistemas y a la preservación de la diversidad biocultural. Por esta razón, para el presente trabajo se planteó el siguiente objetivo: analizar el conocimiento ecológico tradicional que poseen las familias campesinas e indígenas de Olintla, Puebla, con respecto al manejo del huerto familiar.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

El estudio se realizó en la comunidad de Olintla, Puebla, cabecera del municipio que lleva el mismo nombre. Olintla se localiza en la Sierra Norte del estado de Puebla (Figura 1) y pertenece a la región totonaca del centro de México (INALI, 2008). Se ubica entre los paralelos $20^{\circ} 03'$ y $20^{\circ} 11'$ de latitud norte y entre los meridianos $97^{\circ} 37'$ y $97^{\circ} 44'$ de longitud oeste, a una altitud entre 180 y 1,100 msnm; tiene una superficie de 63.5 kilómetros cuadrados. Igualmente, pertenece a la provincia morfotectónica de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico (INEGI, 2009).

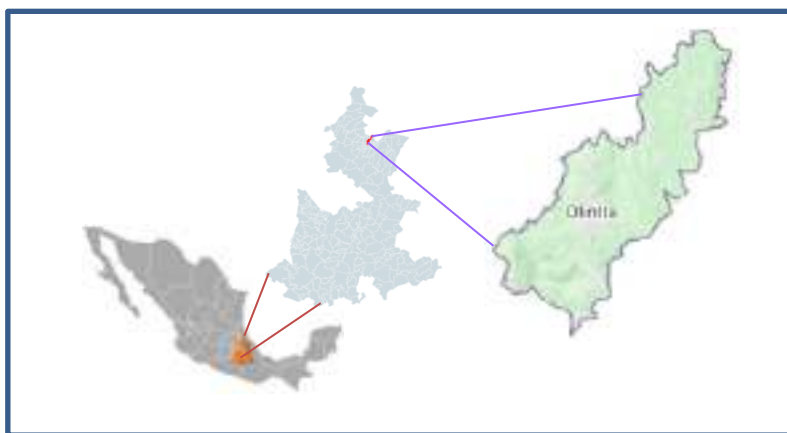


Figura 1. Ubicación de municipio de Olintla en el estado de Puebla.

Fuente: Elaboración propia.

En Olintla predomina el clima semicálido subhúmedo con lluvias todo el año, con una precipitación que varía desde 1,500 hasta 4,000 mm anuales. Con respecto a su vegetación, presenta zonas con bosque tropical perennifolio, bosque mesófilo de montaña, bosques de cedro, carboncillo, chalahuite, encinos y jonotes (INAFED, 2010). Cabe señalar que, debido a las actividades humanas, se pueden observar paisajes con restos de vegetación primaria intervenidos con diversos cultivos como maíz, café, frutales, así como potreros.

Este municipio tiene una población de 11,641 habitantes, de los cuales 5,681 son hombres y 5,960 mujeres. Además, 96.5 % de la población son hablantes de la lengua totonaca, razón por la que se consideran indígenas (INEGI, 2010). La principal actividad económica de la población es la agricultura de temporal.

Métodos y técnicas: Se realizó un estudio de caso, que nos permitió aplicar una metodología mixta, es decir, se aplicaron técnicas cualitativas y cuantitativas las cuales se complementan de manera mutua para la recolección de datos primarios de una manera más completa (Hernández-Sampieri *et al.*, 2011), además de que se recomienda cuando existe poca información acerca del tema en estudio (Martínez, 2006).

Entre las técnicas cualitativas para la recolección de datos se aplicó la observación participante, empleando una guía como instrumento de apoyo, además de dos rondas de entrevistas semiestructuradas a 15 informantes clave de la localidad. La primera ronda se realizó durante los meses de octubre a noviembre del 2020 y la segunda se aplicó entre marzo y abril de 2021, con el propósito de complementar información básica acerca del manejo y prácticas que se emplean en el huerto familiar, sus características y la relación que existe entre las familias con sus huertos. Para esta técnica se empleó una guía y una grabadora de audio marca TASCAM DR-07_{MKII}, para posteriormente realizar la transcripción y el análisis de la información obtenida.

Con respecto a la obtención de datos cuantitativos, se aplicó el cuestionario como instrumento de la encuesta, para lo cual, primero se hicieron recorridos en la localidad con el fin de realizar un listado de las familias que tienen un huerto y así obtener nuestra población (N), el listado arrojó un total de 380 familias poseedoras de huertos. A partir de este dato se pudo calcular el tamaño de muestra (n), empleando la siguiente fórmula (Montesano, 1999) que se utiliza cuando se conoce la población:

$$n = \frac{(NZ^2 * pq)}{(Nd^2 + Z\alpha^2 * pq)}$$

Donde:

N= tamaño de población (**380**)

z= valor de la distribución normal (**1.96**)

α = nivel de significancia (**0.05**)

p= proporción del fenómeno en estudio que representa la población de referencia (**0.93**).

q= proporción de la población de referencia que no representa el fenómeno en estudio (**0.07**).

d= nivel de precisión absoluta (**0.05**).

Una vez aplicada la fórmula se obtuvo el tamaño de muestra ($n=76$), esta cantidad indicó el número de familias a las que se les aplicó el cuestionario. Las familias entrevistadas fueron elegidas al azar del listado poblacional obtenido ($N=380$), a través de un generador de números aleatorios en línea (NANA, 2020). La encuesta se aplicó entre julio y octubre de 2020.

Procesamiento de datos: Los datos obtenidos mediante la encuesta fueron: datos socioeconómicos de los actores involucrados, de la productividad de los huertos familiares, las técnicas empleadas para su manejo, número de especies y su abundancia. Se registraron las especies presentes de cada huerto con el nombre local; posteriormente, se identificaron con claves botánicas utilizando información de catálogos virtuales como Enciclovida (con el fin de cotejar las especies) (CONABIO, S.F.) y malezas de México (CONABIO, 2012).

Una vez concluido el proceso de aplicación de la encuesta y entrevista semiestructurada en la colecta de información primaria, se realizó una base de datos en Microsoft Excel®, donde se registró de manera codificada la información obtenida con estas herramientas metodológicas. La información codificada se procesó con el programa SPSS versión 27.0 con la finalidad de verificar que los datos cumplieran con características adecuadas de asimetría y curtosis, para luego procesarlos aplicando pruebas estadísticas.

Escala del Conocimiento Ecológico Tradicional (CET): Con la finalidad de medir el CET, se realizó una escala de manejo con valores desde 0 (conocimiento muy bajo) hasta >7 (conocimiento muy alto) pasando por rangos de 1 a 2 (conocimiento bajo), de 3 a 4 (conocimiento medio), y de 5 a 6 (conocimiento alto). Para darle valor a esta escala se consideraron variables como: *edad de los productores; quién le enseñó al manejo del liipakan; qué tiempo lleva cultivando plantas; desde cuándo tienen su liipakan, y la forma de transmisión del conocimiento*. De acuerdo con los datos primarios colectados a través de la entrevista semiestructurada y encuesta, se le dio valor a cada variable generando rangos. Un ejemplo es la variable *desde cuándo tienen su liipakan*, los datos colectados evidencian que, el rango de tiempo va de 10 a 66 años o más, lo que se realizó en este caso fue restar $66-10=56$ y este dato se dividió entre tres rangos a los que se les asignó valores, de manera que, quienes se ubicaron entre 10 y 28 años de tener sus liipakan se les estipuló un valor de 1 (experiencia regular), los

que se hallaron entre 29 y 47 se les asignó un valor de 2 (experiencia media), y los que se encontraron entre 48 y 66 años o más se les estableció un valor de 3 (experiencia alta). Igualmente se realizaron correlaciones entre algunas variables como el CET y los años de trabajo en los huertos, con el objeto de conocer la relación entre estas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto al cálculo de la cobertura de la muestra, se obtuvo que la proporción total de la comunidad representada por el muestreo en los huertos familiares fue de 0.99 lo que equivale a un 99% de completitud. Se procesaron los datos de las variables y se emplearon aquellos cuyos valores son cercanos o iguales a cero, de manera que la distribución asimétrica fuera lo menos cargada hacia algún extremo, además que la curtosis aceptable fue con distribución normal o mesocúrtica.

Caracterización de la comunidad de estudio: Se entrevistó un total de 76 personas de Olintla, de las cuales fueron 39 mujeres y 37 hombres, cuya edad oscila entre 32 y 87 años, con un promedio de 60 años. Con respecto al nivel de escolaridad, se tiene que 18% de la población entrevistada no tiene estudios, 53% estudió algún grado de educación primaria sin concluirla, 24% cuenta con primaria concluida, 4% terminó la secundaria, y solamente 1% estudió una licenciatura.

Con relación a la ocupación de las personas entrevistadas, se encontró que para 67 de ellas (88.2%) la actividad económica principal es la agricultura, mientras que cuatro (5.3%) se dedican al comercio, dos a la carpintería (2.6%), dos más a la sastrería (2.6%) y solo una a la albañilería (1.3%). Cabe resaltar que la tenencia de los sitios donde se ubican los huertos, en todos los casos son propietarios de esos lugares. Además, todos los entrevistados son hablantes de la lengua totonaca y las familias nucleares están compuestas en promedio por cuatro integrantes.

El liipakan o huerto familiar: En Olintla, al huerto familiar se le nombra de diversas maneras: principalmente liipakan (nombre en totonaco), huerta, sitio, patio, traspatio y huerto. Para este trabajo nos referimos al huerto familiar como un agroecosistema o sistema agroforestal que es el área cercana a las casas de las familias (García *et al.*, 2019a; Ibarra *et al.*, 2019), espacio donde cultivan diversas plantas comestibles como hortalizas, aromáticas, medicinales, de ornato, árboles frutales y puede haber la crianza de animales, así como infraestructura doméstica y trabajo familiar (Mariaca, 2012). Estos sistemas agroforestales son muy importantes desde la época prehispánica hasta la actualidad (Van der Wal *et al.*,

2011; Kantún *et al.*, 2013). Son agroecosistemas productivos, pero también son espacios de recreación y convivencia social.

El tamaño de los huertos familiares de Olintla varía desde 6 hasta 1,250 m², cuyo promedio es de 197 m². De hecho, el rango de los liipakan que va de 150 a 250 m² representa un tercio del total de huertos de la comunidad. Esta área difiere con lo reportado por Chablé-Pascual *et al.* (2015) quien reporta huertos con una superficie que va desde 200 a 20,000 m² en la región de la Chontalpa, Tabasco; asimismo, en un estudio realizado en el municipio de Caxhuacán perteneciente a la Sierra Norte del estado de Puebla, se menciona que el área promedio es de 447 m² (Castañeda-Guerrero *et al.*, 2020), en ambos casos, áreas mayores a la registrada en este trabajo, lo cual muestra lo importante que es para las familias tener un espacio dónde sembrar sus alimentos independientemente del área disponible para hacerlo.

Con respecto al uso que le dan al huerto familiar, se obtuvo que 46 personas (60.5%) mencionaron que solamente es para cultivo de plantas que de acuerdo con Nair (2000) es una de las funciones básicas del huerto; mientras que, para treinta personas más (39.5%) el huerto es para cultivo de plantas y cría de animales, principalmente aves de corral y cerdos. Cabe mencionar que se registró un total de 846 animales (826 aves de corral y 20 cerdos). Las aves de corral (gallinas, pollos, guajolotes, patos) se encuentran libres en el huerto familiar o en gallineros; las familias destinan un área para el establecimiento de estos animales. De igual forma los cerdos habitan en chiqueros¹ que se ubican en un área alejada a la casa habitación, pero dentro del liipakan.

Además, en 45% de los huertos familiares muestreados, las mujeres son las que se encargan de diseñar y mantener el huerto, y por consecuencia, quienes deciden qué plantas cultivar, de acuerdo con sus necesidades y/o costumbres; en 28% la pareja está a cargo, diseña y decide qué cultivar; en 14% de los casos los varones son quienes toman esas decisiones; y solo en 9% de los huertos toda la familia decide este aspecto; en el restante 4% los hijos y nueras toman esta decisión. Dentro de las labores que se realizan en el liipakan, las mujeres están a cargo del cuidado, siembra, deshierbe, riego y cosecha, ya que son actividades que no requieren de mucha fuerza física; mientras que, los hombres realizan la poda, el cercado y ayudan en el deshierbe (chapeo²) y abonado situación que coincide con lo reportado por Cano *et al.* (2016).

Con respecto al cuidado del huerto, autores como García *et al.* (2019a) y Cano *et al.* (2016) mencionan que la mujer es la encargada del cuidado y mantenimiento, lo cual coincide con lo hallado en este trabajo, donde se menciona

¹ Los chiqueros o zahúrdas son las construcciones que se utilizan para criar cerdos.

² En la zona de estudio se le llama chapeo a la acción de cortar la hierba, generalmente con machete.

que la mujer es quien, principalmente, decide qué plantas cultivar, así como de su arreglo topológico y, por consiguiente, del cuidado, como también lo mencionan Vázquez-Dávila y Lope-Alzina (2012). De acuerdo con García-Flores *et al.* (2016) y Colín *et al.* (2012) se atribuye que la mujer es la encargada, debido a que se queda en casa al cuidado de la familia, y los hombres salen a trabajar.

La agrobiodiversidad: Se registró un total de 239 especies vegetales útiles en los huertos familiares, pertenecientes a 183 géneros botánicos y 75 familias, de ahí que vale la pena mencionar que las familias de Olintla han nombrado en su lengua natal, el totonaco, a 142 especies de las 239 registradas; asimismo, 130 especies son nativas.

La riqueza en los huertos familiares varía de 11 a 64 especies, con un promedio de 26. Igualmente, se registraron 18,637 individuos en un área total de 1.42 ha de huertos familiares, donde la abundancia mínima fue de 32 individuos pertenecientes a 14 especies en un área de 16 m² y el número máximo de individuos fue de 1,319 pertenecientes a 33 especies en un área de 750 m².

La agrobiodiversidad hallada en los liipakan de Olintla muestra una composición florística mayor a la registrada por López *et al.* (2019) (110 especies útiles) y Del Ángel-Pérez y Mendoza (2004) (223 spp.) en localidades indígenas del estado de Veracruz cercanas a Olintla. También en Veracruz, pero en la zona centro, Reyes-Betanzos y Álvarez-Ávila (2017) hallaron 75 especies; en el altiplano central de México García-Flores *et al.* (2016) encontraron 188 y Gutiérrez-Cedillo *et al.* (2015) documentaron 222 especies. Por otra parte, en Morelos, Monroy *et al.* (2016) ubicaron 45 especies, mientras que Guarneros *et al.* (2014) encontraron 130 en Santa María Nepopualco, estado de Puebla. No obstante, esta diversidad de especies es inferior a lo reportado por Castañeda-Guerrero *et al.* (2020) (361 spp.) para el municipio de Caxhuacán, asimismo por Chablé-Pascual *et al.* (2015) (330 spp.) y Kantún *et al.* (2013) (449 spp.), en el sureste de México.

Los resultados de este trabajo son comparables con lo registrado por Toledo (2015) en el agroecosistema forestal *kuojtakiloyan* (bosque útil) en la Sierra Norte de Puebla donde se reporta que, de las 250 a 300 especies registradas, el 96% son consideradas útiles. Cabe señalar, que el sistema agroforestal estudiado por Toledo es manejado por comunidades nahuas, y en el caso del huerto familiar de Olintla es manejado por una comunidad totonaca. Además, en este trabajo se encontró que 100% de las especies registradas son útiles.

En la Figura 2 se muestran las familias más representativas o con mayor número de especies vegetales halladas en los liipakan de Olintla, Puebla. Como se observa, la familia de las Asteraceae está representada por 16 especies, seguido por la Solanaceae con 13, Fabaceae con 12, Musaceae y Rutaceae con 11 especies cada una.

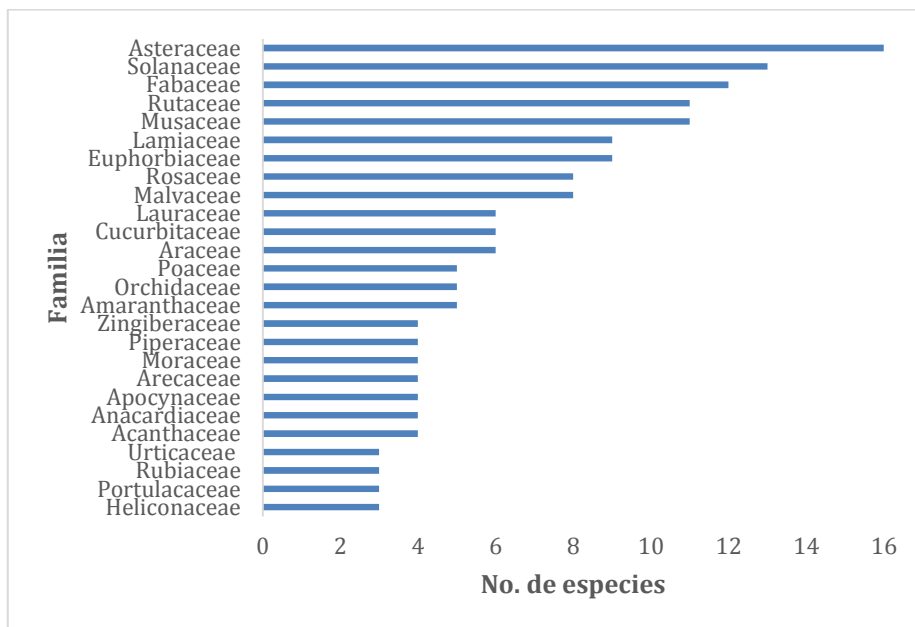


Figura 2. Familias botánicas más representativas en los liipakan de Olintla, Puebla.

Fuente. Elaboración propia con datos de campo, 2020.

Usos de las especies vegetales de acuerdo con las costumbres y tradiciones.

Dentro de los aspectos que se pueden resaltar en el manejo del huerto, uno de los más relevantes es el uso que las familias le dan a las especies vegetales, de acuerdo con sus costumbres y tradiciones. Con base en los resultados obtenidos se hizo una clasificación de 18 categorías (Tabla 1), en donde la más importante es la alimenticia, ya sea como verduras, quelites, frutas, condimentos, entre otros, la cual está conformada por 119 especies, lo que representa el 49.8% del total de las especies. Dentro de esta categoría, la mayor abundancia se registró en la condimenticia con 7,013 individuos, seguida de cultivos básicos con 5,037 individuos y la frutal con 1,487 individuos.

La siguiente categoría es la medicinal, donde se registró un total de 59 especies (24.7%) y una abundancia de 5,037 individuos. En esta categoría destacan plantas como el pekwatuwan (*Mentha citrata*) que se emplea para el susto; la ruda (*Ruta graveolens* L.), albahaca (*Ocimum basilicum*) y toqxiwa' (*Sambucus canadensis*) para hacer limpias, esto de acuerdo con su contexto cultural.

La tercera categoría en orden de importancia de especies es la ornamental, donde se registraron 56 especies (23.4%), pero en contraste con las anteriores, su abundancia es menor (826 individuos). Estas especies son utilizadas

principalmente para adornar las casas, las podemos encontrar frente, alrededor o como cercos vivos. Dentro de esta categoría se hallan especies destinadas para ritual, conformada por 12 especies más, donde destacan tres especies del género *Heliconia*, llamadas comúnmente xqatyaw, el litampa (*Chamaedorea tepejilote*) y el kooni' (*Ceratozamia mexicana*) las cuales son utilizadas para adornar los altares en fechas especiales, como el día de muertos, o bien, la entrada de casas que ofrecen alguna mayordomía. Para adornar la ofrenda del día de muertos, además de usar el litampa y el kooni', también utilizan qalhpxum (*Tagetes erecta*), pasmaxanat (*Gomphrena globosa*) y tsitsilik (*Celosia argentea* var. *Cristata*). Aunado a lo anterior, se emplean frutas como la naranja, mandarina, plátanos, limas, yuca y camotes, que se colocan como parte de la ofrenda, mismas que se cosechan del liipakan.

Tabla 1. Clasificación de especies registradas en el liipakan de acuerdo con el principal uso que le dan, número de especies registradas por categoría y abundancia

<i>Categoría</i>	<i>Clasificación (usos)</i>	<i>Especies registradas</i>	<i>Abundancia</i>
1	Condimental	12	7,013
2	Cultivo Básico	10	5,037
3	Medicinal	59	4,154
4	Frutal	57	1,487
5	Quelite	14	1,459
6	Verdura	17	1,460
7	Ornamental	56	826
8	Envoltura	3	915
9	Ritual	12	703
10	Sombra/ Leña	16	482
11	Aromática/Edulcorante	2	266
12	Construcción	8	83
13	Tubérculo	5	262
14	Té	1	25
15	Utensilio	3	11
16	Maderable	2	8
17	Forraje	2	17
18	Grano	1	1

Fuente: Elaboración propia con datos de campo, 2020.

*La suma de las especies es superior al registrado debido a que hay especies con más de un uso.

Esta situación, con respecto al orden de las categorías del uso que se les da a las plantas en Olintla, coincide con lo hallado por Castañeda-Guerrero *et al.* (2020), López *et al.* (2019) y Calvet-Mir *et al.* (2014) quienes mencionan estos tres principales usos por parte de las familias de quienes poseen huertos en Caxhuacán y Veracruz respectivamente. Con esto se reafirma que la producción de alimentos en comunidades rurales se ha considerado un aspecto importante para la seguridad alimentaria (Lope-Alzina, 2017; Pulido-Salas *et al.*, 2017).

Estructura de los huertos familiares. La estructura de los huertos familiares hace referencia a la distribución de todos los componentes en el terreno; las plantas representan el componente más predominante y complejo, por ello, en los huertos familiares muestreados se pudo observar la estructura de dos formas: vertical y horizontal.

Estructura vertical. Consiste en el ensamble de las plantas por estratos definidos según la altura y forma de vida, se pueden identificar tres estratos en la vegetación que presentan los 76 huertos familiares, los cuales son: arbóreo, arbustivo y herbáceo. Por esto, se puede decir que los huertos familiares asemejan un ecosistema natural, debido a que presentan una alta diversidad de especies con múltiples estratos vegetales.

Estrato arbóreo. Está representado por especies con alturas que llegan hasta 20 metros, tal es el caso del cedro (*Cedrela odorata* L.) y carboncillo [*Ocotea puberula* (Rich.) Nees], especies maderables, igualmente especies de frutales como mango (*Mangifera indica*), mamey (*Pouteria sapota*), talachca (*Inga jinicuil* Schltdl. & Cham. Ex G. Don) y aguacate (*Persea americana* mill). Igualmente, en este estrato se hallan especies que se emplean para construcción como: calzadilla (*Vervesina sp*), maicillo (*Pleuranthodendron lindenii* (Turcz.) Sleumer). También se encuentran especies que son empleadas para combustible como el leaqaxkiwe (*Cupania dentata* Moc. & Sessé ex DC), todas estas especies presentan alturas entre 8 y 19 m.

Estrato arbustivo. Lo representan especies con una altura máxima de 5 metros y se pudieron observar frutales, ornamentales, sombra-leña, construcción, verduras, rituales y cultivos básicos. Las especies que se registraron son: naranja (*Citrus x sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*), plátanos (*Musa sp*), café (*Coffea arabica*), bugambilia (*Bougainvillea sp*), tepejilote (*Chamaedorea tepejilote* Liebmann), jonotillo (*Maivaviscus arboreus*), por mencionar algunas.

Estrato herbáceo. En este estrato se observaron especies condimenticias como: orégano (*Origanum vulgare*), epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.), cebollina (*Allium neapolitanum* Cyr.), entre otras; medicinales: chichicastle (*Urtica dioica* L.), estafiate (*Artemisia ludoviciana*), mirto (*Salvia coccinea*

Buc'hoz ex Etl.), matance (*Mentha pulegium*), muiltle (*Justicia spicigera*), entre otras. Así también, se encontraron especies comestibles como quelites: hierba mora (*Solanum nigrum*), totopillo (*Tinantia erecta* (Jacq.) Fenzl.), verdolaga (*Portulaca oleracea*), lengua de vaca (*Rumex crisp*); tubérculos: camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam); verduras: calabaza (*Cucurbita sp.*) y espinoso (*Sechium edule*).

Estructura horizontal. La estructura horizontal hace referencia a la organización de los componentes en el terreno, es decir, cómo se conforma el liipakan; además de las plantas, se incluye a los animales y las construcciones como gallineros, chiqueros, colgadizos³, casa habitación, entre otros.

En el caso de la estructura de los huertos familiares de Olintla se identificó que, en 46 huertos, además de la infraestructura doméstica, se ubica el huerto familiar junto o alrededor de ésta, donde el estrato herbáceo como especies condimenticias, medicinales, y ornamentales, son cultivadas en el suelo, maceta o recipientes y se encuentran junto o alrededor de la casa habitación. Este estrato se intercala con el arbustivo como frutales, ornamentales, sombra-leña, y el estrato arbóreo también se encuentra intercalado, pero con mayor frecuencia alejado de la casa habitación en los límites del terreno; igualmente, el terreno se encuentra delimitado por barreras vivas.

En 15 huertos se pudo observar que, además de la casa habitación, existe un pequeño colgadizo donde se almacena leña para el autoabasto, mientras que, en diez huertos, además de lo anterior, se encontraron gallineros que se ubican cerca de la casa habitación, y solo en cinco huertos familiares se observaron chiqueros que se encuentran en una esquina alejada de la casa habitación; el arreglo de las especies vegetales es de la misma forma que lo anteriormente mencionado.

Otra característica, es que en todos los liipakan el estrato herbáceo como especies medicinales, condimenticias y verduras, se encuentran dentro de un corral delimitado en su mayoría por cercos vivos, situación que evita que las aves y otros animales se coman las plantas herbáceas; igualmente, los límites del terreno en su mayoría se delimitan por especies arbóreas y/o barreras vivas, y en pocos casos con cercas de tela metálica o alambre.

La estructura y composición en los liipakan y *kuojtakiloyan* tienen ciertas similitud: se encuentran plantas silvestres y cultivadas, y las características estructurales de estos bosques son preservadas, a partir de las cuales se obtienen infinidad de productos (Toledo, 2015). En este sentido, Martínez *et al.* (2007) y Martínez-Alfaro *et al.* (1995) mencionan una variabilidad en composición y estructura en los cafetales de la Sierra Norte de Puebla, en donde se pueden encontrar especies vegetales útiles, entre silvestres y cultivadas, nativas e

³ En la comunidad de Olintla, Puebla, así se les llama a las prolongaciones de los techos de las viviendas en la parte exterior, o bien, pequeños techados que son aprovechados para guardar leña y protegerla de la lluvia.

introducidas, lo cual es comparable con los liipakan de Olintla, estos aspectos reflejan el conocimiento asociado al máximo aprovechamiento de especies vegetales y del espacio.

Prácticas agroecológicas en el liipakan. El conocimiento que poseen las familias campesinas e indígenas es aplicado en prácticas de manejo para la conservación del liipakan, es decir, en prácticas agroecológicas. Para este trabajo se consideraron diez prácticas agroecológicas sugeridas por Albarracín-Zaidiza *et al.* (2019), Nicholls *et al.* (2015) y Altieri *et al.* (2012) como técnicas importantes desde esta perspectiva:

- 1) **Compostaje.** Esta práctica las familias campesinas la realizan de una manera rústica empleando recipientes como tambos o bandejas⁴, que ya no le son útiles en la cocina, en donde depositan restos orgánicos que provienen de la cocina, de frutos caídos y hojarascas. También hay familias que simplemente depositan esos desechos en un lugar del liipakan para su descomposición y así obtener su propio abono para nutrir sus plantas, ayudando en su economía debido a que no se ven en la necesidad de adquirir productos externos para la fertilización.
- 2) **Abonos orgánicos.** Los abonos orgánicos que emplean son los excrementos de las aves de corral principalmente, que recolectan de los gallineros cuando este ya está en descomposición ya que si lo aplican fresco puede marchitar a las plantas. Igualmente emplean tierra que colectan del monte y la aplican directamente a las plantas; también se usa la ceniza aplicada de forma directa y la composta que producen de sus desechos.
- 3) **Manejo Agroecológico de Insectos.** Cuando el problema con insectos fitófagos es menor se emplean preparados a base de jabón y extractos vegetales como chile, ajo, entre otros. Asimismo, al existir una alta agrobiodiversidad se contribuye a promover interacciones biológicas y sinergias benéficas entre los componentes del agroecosistema.
- 4) **Chapeo o deshierbe.** Esta práctica la realizan tanto hombres como mujeres empleando el machete y azadón; el deshierbe lo realizan de forma manual con el fin de eliminar plantas que no son de interés para los dueños del liipakan, y que pudieran competir con los cultivos.
- 5) **Cercos vivos.** Las familias siembran plantas arbustivas en hilera a manera de cercado alrededor del liipakan cuyo objetivo es que sirvan de protección para las plantas herbáceas principalmente, contra el viento, animales, especialmente aves de corral e insectos; es decir, los cercos

⁴ Los tambos empleados para elaborar la composta son recipientes de 80, 100 ó 200 litros, mientras que las bandejas son parecidas a tinas de 50 litros de capacidad.

vivos sirven como refugio para enemigos naturales de insectos fitófagos, dando como resultado que exista poca o nula afectación de aquellos.

- 6) **Diversidad vegetal.** Se siembra una importante diversidad de plantas, especialmente comestibles y útiles, lo que muestra un sistema agrícola complejo en donde la función principal es satisfacer sus necesidades alimenticias, además de que se contribuye a que no afecten los insectos, pues se favorece la existencia de enemigos naturales tratando de mantener un equilibrio ecológico.
- 7) **Labranza mínima.** En esta práctica, el suelo se remueve lo mínimo posible antes de la siembra, o bien, la siembra es directa y se realiza casi después de haber cosechado algún otro cultivo.
- 8) **Promoción de la actividad biológica del suelo con adición de materia orgánica.** Como se menciona esta práctica consiste en aplicar constantemente materia orgánica como abonos orgánicos, hojarasca de los árboles, especialmente chalahuite (*Inga spuria*) y la adición de restos de materia orgánica al suelo para su descomposición en el liipakan, originando así que exista actividad biológica en el suelo por parte de macro y microorganismos.
- 9) **Rotación de cultivos.** Implica la siembra de cultivos diferentes en el liipakan después de cada cosecha. Cabe mencionar que no llevan un orden, pero se van cambiando los cultivos a través del tiempo; por ejemplo, al cosechar cilantro, posteriormente en ese espacio se planta chile, jitomate o cebollina.
- 10) **Cobertura vegetal.** Consiste en dejar restos vegetales como hojas de los platanales en el suelo. Es común incorporar las arvenses a la hora del chapeo, y restos de cultivos anteriores como la cáscara de frijol, café, rastrojo de maíz, etc., con el fin de cubrir el suelo para evitar erosión.

En la Figura 3 se puede observar que el empleo de prácticas agroecológicas es relevante en los liipakan entre las familias de Olintla, Puebla.

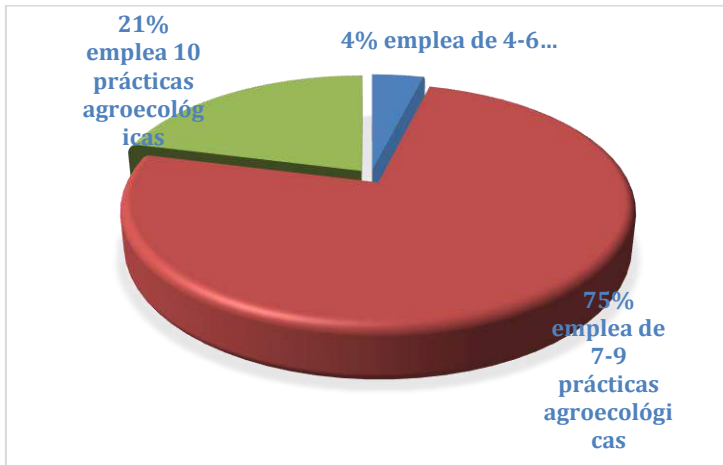


Figura 3. Porcentaje de liipakan que realizan prácticas agroecológicas.

Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos en campo, 2020.

El rango de prácticas empleadas va de 4 a 10; sin embargo, en 96% de los huertos se emplean de 7 a 10, y no hay un solo caso en que se omita la aplicación de alguna de estas técnicas.

Al realizar una correlación entre el número de prácticas agroecológicas (PA) y el uso de insumos externos (IE) (por ejemplo, fertilizantes de síntesis química) se halló que existe una relación indirecta altamente significativa ($r_{PA, IE} = -0.81$, $p < 0.01$) (Figura 4); es decir que, entre más prácticas agroecológicas empleen las familias campesinas en sus huertos, menor será el empleo de insumos externos. Asimismo, se refleja que el manejo de los liipakan por parte de las familias campesinas de Olintla es de acuerdo con la experiencia adquirida a lo largo del tiempo y el conocimiento acerca de las buenas prácticas.

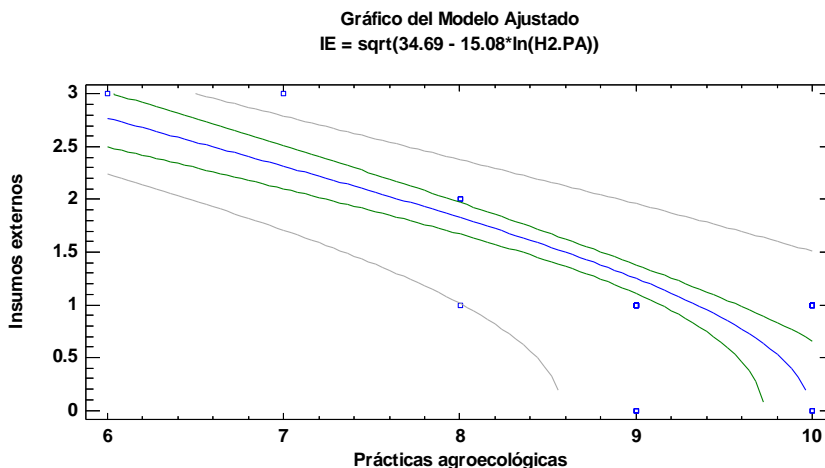


Figura 4. Relación entre el número de prácticas agroecológicas y el número de insumos externos empleados en los huertos familiares de Olintla.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo, 2020.

Otro aspecto importante que es derivado del CET y de las prácticas agroecológicas, es el mínimo empleo de insumos externos para el control de insectos y para mantener la fertilidad de los suelos, entre otros; de acuerdo con los resultados, solo en 6.6% de los liipakan, las familias campesinas e indígenas emplean fertilizantes de síntesis química. Así mismo, en 9.2% de los huertos utilizan plaguicidas químicos, mientras que, del total de semillas que emplean, solo compran el 0.07%. Las semillas que compran ocasionalmente son de cilantro, lechuga, acelga y coliflor. En la mayoría de los huertos contemplados en este trabajo (aproximadamente 90%) los alimentos que se obtienen allí son libres de agrotóxicos porque no se emplean esos productos; el cuidado del suelo se ve favorecido, además de que ayuda a la economía de las familias debido a que la inversión de insumos externos es mínima.

Prácticas culturales en el huerto familiar. En la comunidad de Olintla es común que aún se conservan diversas prácticas culturales que se aplican para el cuidado y mantenimiento de los liipakan. Ejemplo de lo anterior es que, en todos los huertos familiares (n=76) se emplean herramientas manuales como el machete, azadón y la pala para el deshierbe, evitando así el empleo de herbicidas. Además, se consideran las fases lunares para las épocas de siembra, cosecha y labores: en 42 huertos familiares (55%) se toman en cuenta las fases lunares para los cultivos, así como para cortar algunas especies maderables, para la poda y para obtener la savia de algunas plantas medicinales, tal es el caso de *puklhinkiwí* (*Croton draco* Schtdl & Cham). Aunado a esto, en 34 liipakan (45%) se realizan ritos o ceremonias para los cultivos, por ejemplo, dar

machetazos a manera de no dañar, es decir se engaña a los árboles frutales cuando no dan fruta; en el caso particular del maíz, se pone una ofrenda en el altar para pedir a Dios y a la Madre Tierra que la cosecha sea buena. Asimismo, cuando siembran alguna otra planta, lo primero que hacen es pedir permiso al dueño de la tierra (Dios) para poder realizar la siembra.

Conocimiento Ecológico Tradicional (CET) de las familias campesinas e indígenas con respecto al manejo del liipakan. De acuerdo con los datos obtenidos mediante la encuesta y entrevista semiestructurada se encontró que, cinco propietarios son adultos mayores (entre 60 a 87 años) a quienes sus abuelos y/o padres transmitieron el conocimiento respecto al manejo del huerto; además, llevan cultivando plantas desde hace 31 a 61 años, y sus huertos tienen un rango de edad entre 48 y 66 años. Aunado a lo anterior, este grupo de personas mantiene su lengua materna que es la totonaca. Por otro lado, 53 propietarios con edad de 35 a 80 años han aprendido el manejo del huerto por parte de sus abuelos y padres, así como a través de la observación, y la edad de los huertos varía de 12 a 60 años, llevan cultivando plantas desde hace 10 a 50 años y son hablantes de la lengua totonaca.

Ahora bien, la edad de los huertos reportada coincide con lo mencionado por Chablé-Pascual *et al.* (2015), quien encontró huertos con un promedio de edad de 31 años; además, menciona que existen huertos de más de 60 años, dato que coincide con el de algunos huertos de Olintla, lo cual indica una estrecha relación de las costumbres y tradiciones de las familias campesinas e indígenas con este agroecosistema.

En contraste, 18 propietarios reflejaron un rango de edad de 32 a 59 años, y mencionaron que nadie les enseñó el manejo del liipakan; es decir, que aprendieron solos observando huertos y a personas mayores realizando esta actividad. El tiempo que llevan cultivando plantas en ese espacio es de 1 a 30 años, razón por la que tienen un huerto con un rango de edad de 10 a 28 años, cabe señalar que también son hablantes de la lengua totonaca.

Con base en los resultados obtenidos se realizó la escala de CET (Tabla 2) para conocer el grado de conocimiento que poseen los propietarios respecto al manejo de los liipakan, la cual nos indica que 58 personas jóvenes y adultos (de 32 a 59 años) como mayores (60 a 87 años) poseen un grado de conocimiento en el rango de alto a óptimo, a diferencia de 18 personas que mostraron tener un conocimiento medio; sin embargo, esto indica que todos los propietarios (n=76) tienen buen nivel de conocimiento con respecto al manejo del liipakan que se ha transmitido de forma oral y a través de prácticas culturales de manejo, de generación en generación como ellos lo refieren.

Tabla 2. Escala de conocimiento ecológico tradicional

ESCALA DE CET	HF
0 = Conocimiento muy bajo	0
1-2 = Conocimiento bajo	0
3-4 = Conocimiento medio	18
5-6 = Conocimiento alto	30
>7 = Conocimiento muy alto	28

Fuente: Elaboración propia con datos de campo, 2020.

HF= Número de huertos familiares.

Por otra parte, de acuerdo con las tradiciones y costumbres de las familias campesinas e indígenas de Olintla, han asignado diferentes usos a las especies vegetales que poseen en sus liipakan, como se menciona antes. De esta manera, cabe resaltar que el CET que poseen las familias campesinas de Olintla, aplicado a las prácticas agroecológicas como: el empleo de abonos orgánicos, rotación de cultivos, labranza mínima, promoción de la actividad biológica del suelo, diversidad vegetal, así como el mínimo o nulo empleo de insumos externos, son características propias de la agricultura tradicional campesina (Cruz *et al.*, 2015; Altieri *et al.*, 2012; Martínez, 2008), siendo esta una actividad que no deteriora el ambiente natural, ya que los sujetos involucrados son parte de ella y se rigen de acuerdo a patrones culturales (Boege, 2008).

Se realizaron correlaciones para conocer si existe correspondencia entre el CET y los años que han trabajado sus huertos, lo que resultó en una correlación positiva fuerte con valor de $r= 0.843$, $P= 0.000$, se puede interpretar que, entre más años tengan los propietarios de poseer el huerto, mayor conocimiento tendrán. Sin embargo, esto no sucede con el número de especies cultivadas en el huerto (NUM SPP) en donde se presenta un valor de (r NUM SPP, CET= 0.012 , $P= 0.910$) (Figura 5). No existe una relación entre el CET que poseen los propietarios con el número de especies allí cultivadas, lo cual puede deberse al tamaño del huerto y a la talla de árboles frutales que, al paso del tiempo son más grandes, ocupan mayor área y propician que haya menos espacio para cultivar mayor diversidad de plantas.

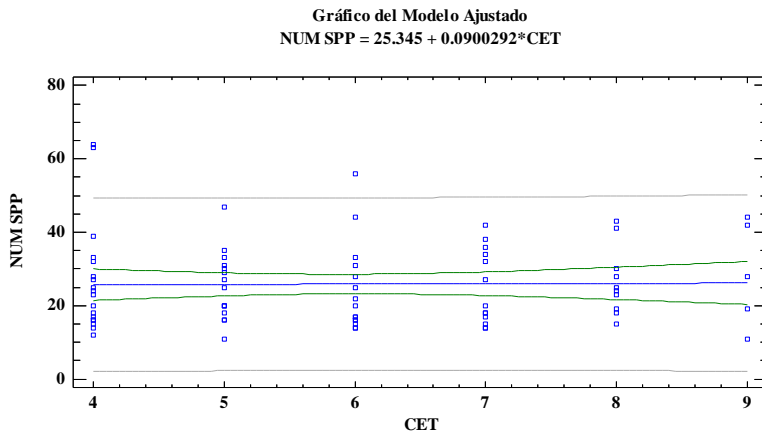


Figura 5. Relación entre el valor del CET de cada propietario del huerto y el número de especies vegetales registradas en cada liipakan.

Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos en campo, 2020.

De acuerdo con lo anterior, es oportuno mencionar que el CET que poseen las familias de Olintla está intrínsecamente ligado a creencias, costumbres y tradiciones que han adquirido a lo largo del tiempo de generación en generación. Además, se trasmite precisamente en su lengua totonaca y a través de la práctica y la cultura, en donde el único fin es el cuidado, mantenimiento y aprovechamiento de su patrimonio biocultural, aspecto que sustentan Cano *et al.* (2016) y Calvet-Mir *et al.* (2015).

CONCLUSIONES

El liipakan que poseen las familias campesinas e indígenas de la localidad de Olintla, Puebla, es manejado de acuerdo con su bioculturalidad; es decir, de acuerdo con su contexto cultural y su conocimiento ecológico tradicional. Las familias realizan varias prácticas agroecológicas, y este agroecosistema es manejado a través de la agricultura tradicional campesina e indígena donde las familias totonacas salvaguardan las semillas que emplean en sus huertos, por lo que, se pueden considerar custodias de sus semillas, las cuales contribuyen a su sistema alimentario.

Derivado de lo anterior, son los resultados de la escala de conocimiento ecológico tradicional propuesta en este trabajo donde se evidencia que, 76% de campesinos e indígenas de Olintla que poseen liipakan tienen CET alto o muy

alto, y solo 24% tienen CET medio, esto debido a la experiencia a través de los años en el cuidado y manejo de sus huertos, lo que se respalda con la correlación positiva fuerte que existe entre la edad de los productores y su nivel de CET.

La agrobiodiversidad hallada de 239 especies, refleja el bagaje biocultural de las familias con respecto al manejo de sus liipakan, así como una gran importancia desde una perspectiva de agrobiodiversidad, que está íntimamente ligada a los diversos usos que les dan a las especies vegetales de acuerdo con sus costumbres y tradiciones. Aunado a esto, se muestra una larga trayectoria a través de los años que implica saberes y haceres que se transmiten de manera oral, práctica y visual de generación en generación.

Finalmente, los liipakan de Olintla son agroecosistemas forestales manejados por una comunidad totonaca, que forman pequeñas unidades de paisaje de valor para la conservación. Se destinan principalmente para producir alimentos para autoabasto (49.8% de especies cultivadas) de manera que tienen un aporte importante a la soberanía alimentaria de las familias de Olintla; además, allí se cultivan plantas medicinales (24.7%) y especies ornamentales (23.4%).

LITERATURA CITADA

- Albarracín-Zaidiza, J.A., Fonseca-Carreño, N.E. y López-Vargas, L.H. (2019). Las prácticas agroecológicas como contribución a la sustentabilidad de los agroecosistemas. Caso provincia del Sumapaz. *Ciencia y agricultura*, 16(2):39-55. Doi: <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n2.2019.9139>.
- Altieri, M.A., Funes-Monzote, F.R. y Petersen, P. (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, 32:1-3. DOI 10.1007/s13593-011-0065-6.
- Altieri, M. (2009). Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones. Colombia: SOCLA.
- Boege, S.E. (2018). Hacia una antropología ambiental para la apropiación social del patrimonio biocultural de los pueblos indígenas. En: Tópicos bioculturales. Reflexiones sobre el concepto de bioculturalidad y la defensa del patrimonio biocultural de México. P 34-66.
- Boege, S.E. (2008). El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación *in situ* de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. 344 pp.

- Calvet-Mir, L., Garnatje, T., Parada, M., Valles, J. y Reyes-García, V. (2014). Más allá de la producción de alimentos: los huertos familiares como reservorios de diversidad biocultural. En: Agricultura familiar y huertos urbanos. *Ambienta*, 107:40-53.
- Calvet-Mir, L., Rui-Bosoms, C., González-Puente, M., Ruiz-Mallén, I., Reyes-García, V. y Molina, J.L. (2015). The transmission of home garden knowledge: safeguarding biocultural diversity and enhancing social-ecological resilience. *Society and Natural Resources*, 29:556-571. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/08941920.2015.1094711>
- Cano, M., Tejera, B., Casas, A., Salazar, L. y García-Barrios, R. (2016). Conocimientos tradicionales y prácticas de manejo del huerto familiar en dos comunidades tlahuicas del estado de México, México. *Iberoamericana de Economía Ecológica*, 25:81-94.
- Castañeda-Guerrero, I., Aliphat-Fernández, M.M., Caso-Barrera, L., Lira-Saade, R. y Martínez-Carrera, D.C. (2020). Conocimiento tradicional y composición de los huertos familiares totonacas de Caxhuacán, Puebla, México. *Polibotánica*. 49:185-217. DOI: 10.18387/polibotanica.49.13.
- Chablé-Pascual, R., Palma-López, D.J., Vázquez-Navarrete, C., Ruiz-Rosado, O., Mariaca-Méndez, R. y Ascencio-Rivera, J.M. (2015). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(4):23-39.
- Colín, H., Hernández, A. y Monroy, R. (2012). El manejo tradicional y agroecológico en un huerto familiar de México, como ejemplo de sostenibilidad. *Etnobiología*, 10(2):12-28.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad). SF. Enciclovida. (<http://www.enciclovida.mx>).
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad). (2012). Malezas de México (<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/0claves/0claves-inicio.htm>).
- Cruz, L.A., Cervantes, H.J., Damián, H.M.A., Ramírez, V.B. y Chávez, S.G. (2015). Etnoagronomía, tecnología agrícola tradicional y desarrollo rural. *Revista de Geografía Agrícola* 55:75-89.
- Del Ángel-Pérez, A.L. y Mendoza, B.M.A. (2004). Totonac homegardens and natural resources in Veracruz, Mexico. *Agriculture and Human Values*. 21: 329–346.
- García, F.J.C., Gutiérrez, C.J.G., Balderas, P.M.A. y Juan, P.J.I. (2019a). Análisis del conocimiento ecológico tradicional y factores socioculturales sobre

- huertos familiares en el Altiplano Central Mexicano. *Cuadernos Geográficos*, 58(3):260-281. Doi: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i3.7867>.
- García, F.J.C., Gutiérrez, C.J.G., Balderas, P.M.A. y Juan, P.J.I. (2019b). Los huertos familiares como mecanismos para la conservación del conocimiento ecológico tradicional y diversidad biocultural. En: Transformaciones territoriales en México y Polonia: Vulnerabilidad, Resiliencia y Ordenación Territorial. México. P. 311-338.
- García-Flores, J.C., Gutiérrez-Cedillo, J.G., Balderas-Plata, M A. y Araújo-Santana, M.R. (2016). Estrategia de vida en el medio rural del Altiplano Central Mexicano: el huerto familiar. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 13(4):621-641.
- Guarneros, Z.N., Morales, J.J., Cruz, H.J., Huerta, P.A. y Ávalos, C.D.A. (2014). Economía familiar e índice de biodiversidad de especies en los traspatios comunitario de Santa María Nepopualco, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9:1701-1712.
- Gutiérrez-Cedillo, J.G., White, O.L., Juan, P.J.I. y Chávez, M.M.C. (2015). Agroecosistemas de huertos familiares en el Subtrópico del Altiplano Mexicano. Una visión sistémica. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18:237-250.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, M.P. (2011). Metodología de la investigación. Quinta edición. McGrawHill/ Interamericana Editores, S.A. de C.V. México D.F. 613 pp.
- Ibarra, J.T., Caviedes, J., Barreau, A., y Pessa, N. (2019). Huertas familiares y comunitarias: cultivando soberanía alimentaria. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 228 pp.
- INAFED (Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). (2010). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Puebla. Consultado el 10/01/2020. <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21107a.html>
- INALI (Instituto Nacional de Lenguas Indígenas). (2008). Catálogo de las Lenguas Indígenas Nacionales: Variantes Lingüísticas de México con sus autodenominaciones y referencias geoestadísticas. Publicado en Diario Oficial. 256 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Olintla, Puebla.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010). Banco de indicadores. Etnicidad. Consultado el 10/02/2020. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?ind=1002000014&?ag=21107#divFV6207019034#D1002000014>.
- Kantún, B.J., Salvador, F.J., Tun, G.J., Navarro, A.J., Arias, R.L. y Martínez, C.J. (2013). Diversidad y origen geográfico del recurso vegetal en los huertos familiares de Quintana Roo México. *Polibotánica*, 36:163-196.
- Lope-Alzina, D.G. (2017). Cuatro décadas de estudio en huertos familiares mayayucatecos: hacia la comprensión de su variación y complejidad. *Gaia Scientia* 11(3):160-184. Doi: <http://dx.doi.org/10.21707/gaia.v11.n03a013>.
- López, S.A.A., López, S.M.A., Cunill, F.J.M. y Medina, C.S.E. (2019). Valor socioeconómico de las plantas para una comunidad indígena totonaca. *Interciencia*, 44(2):94-100.
- Luque, D., Martínez, Y.A., Búrquez, A., López, G. y Murphy, A. (2018). Los complejos bioculturales en: Tópicos bioculturales: reflexiones sobre el concepto de bioculturalidad y la defensa del patrimonio biocultural en México. 122 pp.
- Mariaca, M.R. (2012). La complejidad del huerto familiar maya del sureste de México. En: El huerto familiar del sureste de México. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del estado de Tabasco. El Colegio de la Frontera Sur. México. 551 pp.
- Martínez, C.P.C. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento y Gestión*, 20:165-193.
- Martínez, C.R. (2008). Agricultura tradicional campesina: características ecológicas. *Tecnología en marcha*, 21(3):3-13.
- Martínez, M.A., Evangelista, V., Basurto, F., Mendoza, M. y Cruz-Rivas, A. (2007). Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78:15-40.
- Martínez-Alfaro, M.A., Evangelista, O.V., Mendoza, C.M., Morales, G.G., Toledo, O.G. y Wong, L.A. (1995). Catálogo de plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla, México. Cuadernos del Instituto de Biología 27. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Monroy, M.R., Ponce, D.A., Colín, B.H., Monroy, O.C. y García, F.A. (2016). Los huertos familiares tradicionales soporte de seguridad alimentaria en comunidades campesinas del estado de Morelos, México. *Ambiente y Sostenibilidad*, 6:33-43.

- Montesano, J. R. (1999). Manual del protocolo de investigación México, D.F. Editorial Auroch. 108 pp.
- Nair, P.K.R. (2000). Homegardens. The Overstory, 64. Disponible en: <https://www.agroforestry.org/the-overstory/199-overstory-64-homegardens>
- NANA (Números Aleatorios y Números al Azar). (2020). Generador de números enteros sin repetición. (<http://www.alazar.info/generador-de-numeros-aleatorios-sin-repeticion>).
- Nicholls, C.I., Henao, A., y Altieri, M.A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Revista Agroecología*, 10(1):7-31.
- Pulido-Salas, M.T.P., Ordoñez-Díaz, M.J. y Calix, D. H. (2017). Flora, usos y algunas causales de cambio en quince huertos familiares en el Municipio de José María Morelos, Quintana Roo, México. *Península*, 12(1):119-145.
- Reyes-Betanzos, A. y Álvarez-Ávila, M.C. (2017). Agrobiodiversidad, manejo del huerto familiar y contribución a la seguridad alimentaria. *Agroproductividad*, 7(10):58-63.
- Toledo, V. (2012). Citado en Red de Etnología y Patrimonio Biocultural, Conacyt, México.
- Toledo, V.M. (2015). El kuojtakiloyan: patrimonio biocultural náhuatl de la sierra norte de Puebla, México. CONACyT. 302 pp.
- Van der Wal, H., Huerta, L.E. y Torres, D.A. (2011). Huertos familiares en Tabasco. Elementos para una política integral en materia de ambiente, biodiversidad, alimentación, salud, producción y economía, S. R. N. P. A. Gobierno del estado de Tabasco y el Colegio de la Frontera Sur. Villahermosa, Tabasco, México. 149 pp.
- Vázquez-Dávila, M. A., y Lope-Alzina, D. (2012). Manejo y conservación de la agrodiversidad y biodiversidad en huertos familiares indígenas de Oaxaca, México: un enfoque biocultural. En: Los huertos familiares en Mesoamérica. UADY. P 280-308.
- White-Olascoaga, L. y Chávez-Mejía, C. (2016). Conocimiento tradicional sobre plantas medicinales en San Nicolás Estado de México. En: Ambiente y patrimonio cultural. Universidad Autónoma del Estado de México. 170 pp.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Ciencias (ICUAP), al Centro de Agroecología de la BUAP, al programa de Posgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas de la BUAP y al CONACYT por todo el apoyo y facilidades para la realización del presente trabajo.

SÍNTESIS CURRICULAR

Patricia Tino Antonio

Es maestra en ciencias en manejo sostenible de agroecosistemas por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Teléfono 2224452432. Correo electrónico: bio_sigloxx1@hotmail.com

Primo Sánchez Morales

Doctor en estrategias para el desarrollo agrícola regional por el Colegio de Posgraduados Campus Puebla. Profesor investigador titular tiempo completo en el programa de maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Su línea de investigación actual es Desarrollo Rural Sustentable. Teléfono: (222) 2295500, ext. 1315. Correo electrónico: primosamo@yahoo.com

Dionicio Juárez Ramón

Doctor en estrategias para el desarrollo agrícola regional por el Colegio de Posgraduados Campus Puebla. Profesor investigador titular tiempo completo en el programa de maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Su línea de investigación actual es Fertilidad de Suelos. Teléfono: (222) 2295500, ext. 1316. Correo electrónico: dionicio.juarez@correo.buap.mx

Eckart Boege Schmidt

Maestro en Antropología Social por la Escuela Nacional de Antropología e Historia y Doctor en Etnología por la Universidad de Zúrich, Suiza. Actualmente es profesor investigador adscrito a la delegación del INAH en Veracruz; ha sido coordinador del Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología

Social del Golfo y coordinador de la División de Estudios Superiores de la ENAH, instituciones en las que ha impartido clases, lo mismo que en el Instituto de Ecología A.C., en Xalapa, Veracruz. En 2012 fue reconocido como investigador emérito del INAH. Correo electrónico: eckart.boege@gmail.com

Julio Sánchez Escudero

Doctor en Agroecología por la Universidad de Córdoba España. Profesor investigador asociado del Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillos. Coordinador del curso de Agroecología y asesor técnico de Sanidad Vegetal. Su línea de investigación: procesos que sustentan la biodiversidad, su funcionamiento en ecosistemas naturales y en agroecosistemas bajo diferentes manejos. Se vincula con productores de frutales, hortalizas y cultivos tradicionales, en la contribución al diseño de agroecosistemas estables bajo el enfoque holístico del sistema. Teléfono: 9520200 ext. 75073. Correo electrónico: sanchezej@colpos.mx

APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL “AGRILLO” (*RHUS AROMATICA*) COMO UNA ALTERNATIVA DE SUSTENTABILIDAD REGIONAL

INTEGRAL USE OF THE “AGRILLO” (*RHUS AROMATICA*) AS AN ALTERNATIVE OF REGIONAL SUSTAINABILITY

Fabiola Guadalupe **Arriaga-López**¹; Norberto **Santiago-Olivares**²;
Edgardo **Martínez-Orozco**²; Samuel **Iñiguez-Gómez**² y Yolanda
Rizo-García³

Resumen

El siguiente documento es el resultado de la investigación realizada en la ciudad de Arandas, Jalisco, con la finalidad de determinar el potencial del fruto de la planta del “agrillo” (*Rhus aromática*) en la elaboración de diferentes productos alimenticios y su distribución; conocer las características físicas y alimentarias que permitan una mejor valoración del fruto en la industria alimenticia; identificar su ciclo de vida, así como oportunidades de

aprovechamiento del mismo en la Región de los Altos y el mercado potencial.

El “agrillo” es una fruta que puede consumirse en una diversidad de productos alimenticios, tiene potencial en la herbolaria y medicina, e incluso como bebidas refrescantes y licores, siempre y cuando se tengan los cuidados correspondientes para el procesamiento del fruto. La propuesta de nuevos productos agrícolas es un aspecto relevante desde el punto de vista económico, político y social; por tal motivo se debe de examinar todas las alternativas existentes para ayudar a la

¹ Autor principal. Profesor en el Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Arandas, Avenida José Guadalupe Tejada 557, Arandas, Jalisco, México. Correo electrónico: fabiola.arriaga@arandas.tecmm.edu.mx

² Profesor en el Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Arandas, Avenida José Guadalupe Tejada 557, Arandas, Jalisco, México. Correos electrónicos: edgardo.martinez@arandas.tecmm.edu.mx, norberto.santiago@arandas.tecmm.edu.mx, samuel.iniguez@arandas.tecmm.edu.mx

³ Alumna del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Arandas, de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial, Avenida José Guadalupe Tejada 557, Arandas, Jalisco, México. Correo electrónico: yolizr@live.com

economía del estado y a la sustentabilidad regional.

El método implementado en la investigación fue de carácter cualitativo, en el que se estudiaron las características del "agrillo", la interrelación entre las mismas y otros aspectos secundarios que incluyen los usos y aceptación. Los resultados arrojaron que es una especie silvestre y su fruto se colecta en los cerros de la región a inicios de primavera o inicios de otoño, cada planta sólo tiene una producción anual y es lento el proceso productivo; los usos de la planta son diversos, destacando las áreas de alimentos, herbolaria, medicinal y pastoreo; entre las propiedades organolépticas se distingue el sabor de ácido, acre y áspero en el sentido del olfato y del gusto.

El "agrillo" es un fruto que tiene potencial de comercialización por las características y propiedades que contiene, sumado a las expectativas del mercado, esto es gracias a la diferenciación del producto, su originalidad causa aceptación tanto a los clientes potenciales como a los no potenciales, confiando que en futuro podrán comprar esta fruta en los lugares de preferencia. En el aspecto económico, el kilogramo de "agrillo" alcanza los \$250.00 a \$300.00 pesos mexicanos (12.50-15.00 USD), lo que se puede considerar como una alternativa sustentable de producción en la región, la planta del *Rhus* es un apoyo en el mantenimiento del suelo, sus hojas sirven de abono y se convierten en abono orgánico para la misma planta.

Palabras clave: alimenticia; explotación; potencial; producción; uso.

Abstract

This paper is the result of the research carried out in the city of Arandas, Jalisco, in order to determine the potential of the "agrillo" plant fruit (*Rhus aromatica*) in the elaboration of different food products and their distribution; to know the physical and food characteristics that allow a better valuation of the fruit in the

food industry; to identify its life cycle, as well as exploitation opportunities in the Jalisco Highlands Region and its potential market.

The "agrillo" is a fruit that can be consumed in a variety of food products, has potential in herbalism and medicine, and even as refreshing drinks and liquors, if the corresponding care is taken for the processing of the fruit. The proposal for new agricultural products is a relevant aspect from the economic, political, and social point of view; for this reason, all existing alternatives must be examined to help the state's economy and regional sustainability.

The method implemented in this research was of a qualitative nature, in which the characteristics of the "agrillo", the interrelation between them and other secondary aspects that include the uses and acceptance were studied. The results showed that it is a wild species, and its fruit is collected in the hills of the region in during early spring or early autumn, each plant has an annual harvest and the production process is slow; the uses of the plant are diverse, highlighting the areas of food, herbalism, medicinal and grazing; among the organoleptic properties is distinguished the taste of acid, pungent and harsh acidity in the sense of smell and taste.

The "agrillo" is a fruit that has marketing potential for the characteristics and properties it contains, added to the expectations of the market, due to the product differentiation, its originality causes acceptance to both potential and non-potential customers, trusting that in the future they will be able to buy this fruit in the places of preference. In the economic aspect, the kilogram of "agrillo" reaches \$250.00 to \$300.00 Mexican pesos (12.50-15.00 USD), which can be considered as a sustainable alternative of production in the region, the *Rhus* plant is a support in the maintenance of the soil, its leaves serve as fertilizer and become organic fertilizer for the same plant.

Key words: food; exploitation; potential; production; use.

INTRODUCCIÓN

Importancia

En el municipio de Arandas, Jalisco, México y sus alrededores se conoce como “agrillo” a la planta *Rhus aromática* o *Rhus trilobata* y especialmente al fruto de dicha planta -bayas cubiertas con una capa aterciopelada de color rojo del tamaño de una lenteja, Figura 1; esta planta está considerada por los lugareños como endémica ya que en gran parte del centro del país se desconoce.



Figura 1. Rama de “agrillo” con frutos.

Fuente: Elaboración propia.

El “agrillo”, aunque existe desde hace varios años en el estado de Jalisco y Michoacán, no ha logrado expandir su explotación debido a la ignorancia de cómo cultivarlo y desarrollar el fruto, se ha comercializado históricamente como un producto silvestre de temporada. Es importante mencionar, que no solamente funciona como alimento, incluso tiene otros beneficios, como en la herbolaria. Crece en los campos de la región Altos Sur del estado de Jalisco, principalmente en la zona que forman los municipios de Arandas, Jesús María y algunos otros municipios del estado colindante de Michoacán y Guanajuato; el fruto comienza a brotar en los inicios de primavera y otoño y es muy común ver su comercialización en diferentes presentaciones a partir de los meses de abril o noviembre, sin embargo, la producción solo dura un par de meses, algunas personas lo conservan en congelación.

El fruto es utilizado en diferentes productos, sus principales usos son gastronómicos y representan una fuerte identidad para los arandenses, y se puede adquirir en los puestos de frutas de la ciudad.

Lo anterior deja la problemática de conocer a grandes rasgos las características de la fruta, referentes al aspecto organoléptico, de producción, ciclo de vida y capacidad de comercialización, y por, sobre todo, la iniciativa que existe en la generación actual de innovar en los sectores olvidados y poco aprovechados.

Derivado de la problemática expuesta, se desarrollaron las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son las características físicas y alimentarias del “agrillo”?
- ¿Se puede identificar el ciclo de vida del “agrillo”?
- ¿El “agrillo” se puede procesar de diferentes formas para generar un impacto positivo en el ámbito?

Generalidades y clasificación

El “agrillo” es una planta silvestre cuyas hojas destilan un zumo agrio (RAE, 1996), es una especie de planta fanerógama perteneciente a la familia Anacardiaceae, nativa de Norteamérica (Wheeler, 2018) en el sudoeste de los Estados Unidos y centro y norte de México (Velazco-Macias, 2013).

El nombre común hace referencia al sabor, un adjetivo diminutivo de agrio, el que tiene sabor de ácido, acre y áspero, el que tiene una sensación de acidez en el sentido del olfato y del gusto, de un jugo que tiene las cualidades y características de ácido y refiriendo a las frutas cítricas como la naranja y el limón; esta palabra en su etimología viene de «agrio», del latín «ācer» o «ācris» que quiere decir agrio y del sufijo «illo» que indica diminutivo o afectivo (Definiciona, 2018).

La planta del “agrillo” fue identificada inicialmente como pertenece a la familia de la especie *Rhus microphylla*, que fue descrita por George Engelmann y publicado en Smithsonian Contributions to Knowledge, etimológicamente *Rhus* es nombre genérico que deriva de la palabra griega para "rojo", una alusión a los llamativos colores de otoño de algunas especies, y *microphylla*: epíteto latino que significa "con hojas pequeñas" (Naturalista, 2011); sin embargo, existen diversas clasificaciones para la planta del “agrillo”, todas se derivan de la especie de *Rhus* (que llega a tener una variedad aproximada de 250 especies) (RAE, 1996) ; la Real Academia Española lo subclasifica como *Microphylla*, epíteto latino que significa "con hojas pequeñas"; otros autores la identifican como *Rhus trilobata* Nutt (Varela-Rodríguez, y otros, 2019), zumaque skunkbush (Anderson, 2004) o *Rhus microphylla* (Agritos, “agrillo”, Correosa; especie de planta fanerógama

perteneciente a la familia Anacardiaceae, nativa de Norteamérica, en el sudoeste de los Estados Unidos y centro y norte de México) (Naturalista, 2011).

Con relación a la planta identificada en Arandas, Jalisco investigadores del Centro Nacional de Recursos Genéticos la identifica como *Rhus trilobata* (Quintana-Camargo, Guzmán-Rodríguez, Pichardo-González, & Reyes-Guerra, 2016), mientras que el Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara en el estado de Jalisco, México, realizó un estudio solicitado por docentes del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Arandas, en el cual se le dio la clasificación de *Rhus aromática* variedad *schmideloides* *schltdl* perteneciente a la familia *anacardiaceae*; los resultados fueron corroborados a través de consultas de las bases de datos electrónicas disponibles, como la International Plants Names, la Word checklist or select plants families and the plants list (Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara, 2017).

Descripción

El “agrillo” es un arbusto ramificado que alcanza un tamaño de 1 a 2 m de altura, raramente un arbolito; las ramas tienden a terminar en espinas, las hojas son compuestas, alternas y caducifolias con 5 a 9 folíolos sésiles, florece antes de que aparezcan las hojas en una inflorescencia de 5 cm con muchas florecillas, su fruto torna a rojo cuando madura (Naturalista, 2011).

La planta es un arbusto con ramas extendidas, a veces formando matorrales, de hasta 3 m de altura; corteza gris, lenticular; ramitas marrones, puberulentas a glabras; sus hojas tienen forma trifolioladas o palmeadas a simples y sin lóbulos; pecíolos de 8-15 mm de largo; folíolos sésiles, ovados a rómbicos, crenados a profundamente lobulados, glabros a puberulentos; bases cuneadas, a veces estrechamente; folíolo terminal de 15-35 mm de largo, 7-25 mm de ancho; follaje delgado, caducifolio y de color rojo oscuro en el otoño. La inflorescencia es una panoja corta y densa de espigas compuestas, que surge de las ramas laterales y aparece temprano antes de las hojas en la primavera, de 10-15 mm de largo; brácteas triangulares, rojizas, pubescentes. Las flores crecen hasta 3 mm de largo; sépalos ovados, rosados, glabros; pétalos obovados, amarillo pálido, glabros. La fruta del “agrillo” es lenticular-orbicular, 6-8 mm de diámetro, naranja opaco a rojizo oscuro, veloso y/o pubescente glandular corto, viscoso (SEINet, 2006).

La planta del “agrillo” crece en los campos de la región Altos Sur del estado de Jalisco, principalmente en la zona que forman los municipios de Arandas, Jesús María y algunos otros municipios del estado colindante de Michoacán y Guanajuato. Su fruto comienza a brotar en el mes de febrero y es muy común ver

su comercialización en diferentes presentaciones a partir del mes de abril (López & Aguas, 2016).

La *Rhus aromática* variación *Trilobata*, tiene frutos escasamente pubescentes, se puede encontrar en una amplia gama tanto ecológica como geográficamente desde rocas de borde, salientes rocosos y laderas hasta fondos de cañones en los desiertos, pastizales, chaparral, bosques de Madrean, bosques de pino ponderosa y zonas ribereñas. No hay patrones geográficos consistentes para la variación en los caracteres, *Rhus aromática* se trata mejor como una especie polimórfica (SEINet, 2006).



Figura 2. Rama de “agrillo” (*Rhus aromática*) con flores.

Fuente: Elaboración propia.

Crece desde praderas hasta matorrales y bosques de robles a elevaciones de aproximadamente 1000-3000 metros y en una variedad de sitios que incluyen laderas rocosas secas, riberas de arroyos, drenajes estacionales y fondos de cañones, dunas de arena y colinas de arena, pastos, bordes de caminos y lugares baldíos, al sol o sombra parcial y en una amplia gama de suelos, desde roca casi desnuda hasta arena y arcilla pesada. Es intolerante a las inundaciones y niveles freáticos altos (Hamilton & Hamilton, 2008).

Propiedades

La Academia Nacional de Ciencias informa la siguiente información nutricional para el *Rhus trilobata*, zumaque o “agrillo” (% de materia seca) (Anderson, 2004).

Tabla 1. Información nutricional

Fibra cruda	13.70
Extracto de éter	4.4
Extracto libre de N	68.4
Calcio	1.93
Magnesio	.28
Fósforo	.11
Potasio	1.69
Proteína	8.0

Fuente: (Anderson, 2004).

Usos

Conocido popularmente como “agrillo”, el cual es originario del estado de Jalisco y es usado en la cocina tradicional de dicho estado, principalmente en la elaboración de salsas y como condimento (López & Aguas, 2016).

En la región Altos de Jalisco, el fruto del “agrillo” es muy apreciado, ya que con él se elaboran dulces, agua fresca, helado, paletas de hielo, además, en otras regiones se ha documentado su uso en la herbolaria tradicional y su utilidad dentro de los ecosistemas y aún en la regeneración de zonas degradadas; en otros países, se reporta su uso alimenticio y por sus propiedades medicinales, en la herbolaria tradicional de algunas comunidades (López & Aguas, 2016). A pesar de la importancia local, es una especie poco estudiada.

Los nativos americanos usaban las frutas en alimento, bebidas y medicinas. Los tallos jóvenes flexibles se tejieron con tallos de hierba en canastas duraderas que retendrían el agua. Se dice que los comanches fumaban las hojas (Hamilton & Hamilton, 2008). En el estado de Chihuahua se ha usado para el tratamiento de la leucemia (Naturalista, 2011).

El ganado en algunos lugares usa el “agrillo” o “zorrillo”, pero no es una especie preferida, se ha plantado para disuadir a los animales que pastan; proporciona un poco de ramoneo en busca de ciervos, alces y berrendos cuando no se dispone de un forraje preferido. Los frutos de “agrillo”, que persisten durante el otoño y el invierno, proporcionan alimento para aves y pequeños mamíferos cuando otros alimentos escasean o no están disponibles, también puede formar matorrales densos que proporcionan un buen escondite y cobertura de anidación para aves pequeñas y mamíferos (Hamilton & Hamilton, 2008).

Usos medicinales

La planta de *Rhus trilobata* fue empleado medicinalmente por varias tribus nativas de América del Norte, que lo valoraron especialmente por sus cualidades astringentes y lo utilizaron para tratar una serie de malestares. Es poco utilizado en la herbolaria moderna, debido a su naturaleza potencialmente tóxica, debe usarse con cierta precaución y preferiblemente sólo bajo la supervisión de un profesional calificado. El fruto es analgésico, astringente y regulador estomacal, se ingiere como un tratamiento para los problemas estomacales y gripe, el fruto se masticó como un tratamiento para el dolor de muelas y también se usó como enjuague bucal, las bayas secas han sido trituradas y espolvoreadas sobre las pústulas de la viruela, una decocción del fruto se ha utilizado como un lavado para evitar que el cabello se caiga (Torr, 2009).

Las hojas son astringentes, diuréticas, eméticas y hemostáticas, una infusión de las hojas se ha utilizado en el tratamiento de los resfriados, se ha bebido una decocción de las hojas para inducir la impotencia como método anticonceptivo; una cataplasma de hojas se ha usado para tratar picazones, se ha masticado la corteza y se ha tragado el jugo como tratamiento para los resfriados y las encías doloridas, se ha tomado una decocción de la corteza de la raíz para facilitar la administración placentaria; las raíces se han usado como desodorante y los brotes se han usado en el cuerpo como un desodorante y perfume medicinal (Torr, 2009).

Otros usos

Las hojas son ricas en taninos por lo que se pueden recolectar a medida que caen en otoño y se usan como colorante negro a marrón o como mordiente, los frutos también se pueden usar como mordiente, se obtiene un tinte amarillo de las ramitas, y se puede obtener tinte negro mezclando las ramitas con goma de pino, se puede hacer un tinte rojo-marrón con la corteza y las hojas, se puede hacer un

tinte rosa bronceado a partir del fruto, las cenizas de la planta pueden usarse como mordiente para fijar tintes. Se extrae un aceite de las semillas, alcanza una consistencia parecida al sebo y se usa para hacer velas el cual se quema brillantemente, aunque emite un humo picante. Las hojas han sido frotadas sobre el cuerpo como un repelente de insectos y serpientes, se debe tener algo de precaución con esto, ver las notas anteriores sobre toxicidad y las ramas son duras y delgadas, se despojan de su corteza y se dividen en varios mechones que luego se usan en la fabricación de cestas (Torr, 2009).

Objetivo

Determinar el potencial del fruto de la planta del “agrillo” (*Rhus aromática*) en la elaboración de diferentes productos alimenticios y su distribución; conocer las características físicas y alimentarias que permitan una mejor valoración del fruto en la industria alimenticia; identificar su ciclo de vida, así como oportunidades de aprovechamiento del mismo en la Región de los Altos y el mercado potencial.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

El método implementado en la investigación fue de carácter cualitativo, en el que se estudiaron las características del “agrillo”, la interrelación entre las mismas y otros aspectos secundarios que incluyen los usos y aceptación.

La metodología cualitativa se refiere, entonces, a procedimientos que posibilitan una construcción de conocimiento que ocurre sobre la base de conceptos. Son los conceptos los que permiten la reducción de complejidad y es mediante el establecimiento de relaciones entre estos conceptos que se genera la coherencia interna del producto científico (Krause, 1995).

Se consumó una revisión de literatura e investigación previa que proporcionara un contexto del uso, propiedades, producción y comercialización del “agrillo”, con la finalidad de construir una referencia que evidencie y contextualice el estudio en un marco de referencia a nivel regional, nacional o internacional, de acuerdo con las evidencias obtenidas.

Para conocer el uso actual del “agrillo” se efectuó una encuesta como instrumento de recolección de datos, la cual consistió en preguntas cerradas y una extensión breve, con la finalidad de obtener los datos relacionados al objetivo de la misma, de inicio se menciona el nombre del instrumento y el objetivo, y posteriormente se presentaron los ítems relacionados con el “agrillo”, con una participación de 150 participantes.

La zona de estudio se delimito a la cabecera del municipio de Arandas, y sus alrededores:

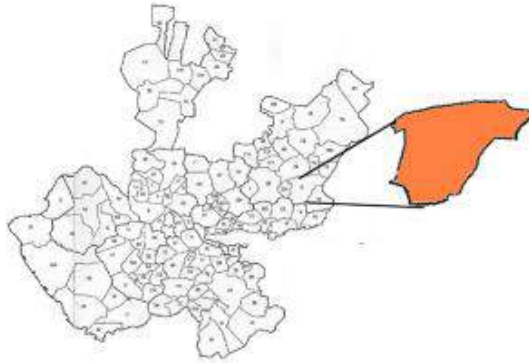


Figura 3. Mapa del Municipio de Arandas, Jalisco.

Fuente: Secretaria de Economía, 2021.



Figura 4. Mapa del Municipio de Arandas, Jalisco.

Fuente: Gobierno del Estado de Jalisco, 2020.

Se determinó el mercado potencial por medio de análisis del uso del “agrillo” y las empresas locales que fabrican o produzcan artículos cuya finalidad sea el mercado de productos de consumo comestible, haciendo referencia al conjunto de individuos que pertenecen al segmento que se ha definido para la