



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

Revista de la Universidad del Valle de Guatemala

Año 2024 ♦ No. 46



Emisiones de metano • Evaluación de la producción de biomasa • Emprendimiento en Guatemala: mapa de intervenciones y análisis de brechas de los proyectos ASPIRE y GEDI • Retos de Gestión Colectiva en el Turismo Comunitario de Guatemala • Kalan and the Twin Stones • Reseña del Ecomuseo de San Andrés Semetabaj • Imprimiendo sueños: La ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa una alternativa para tratar enfermedades • Desempeño de la prueba de diagnóstico rápido (PDR) CareStart™ para la detección de *Plasmodium vivax*, en el departamento de Escuintla • Extracción de la enzima invertasa y el análisis de la influencia de esta para la fermentación de la cerveza • Docentes investigadores en Guatemala: Una experiencia de investigación acción.



REVISTA No. 46
AÑO 2024

EDICIÓN

Vanessa Granados Barnéond

CONSEJO EDITORIAL

Mónica Stein

Vicerrectora de Investigación y Vinculación

Arián Gils

Director General de Estudios

Pamela Pennington

Decana, Facultad de Ciencias y Humanidades

Linda Asturias

Decana, Facultad de Ciencias Sociales

Carolin Roca

Decana, Facultad de Educación

Celia Córdón

Directora, Centro de Estudios en Salud

Xiomara Juárez

Representante Decana de Colegio Universitario y
Asuntos Estudiantiles

Eduardo Álvarez

Director, Departamento de Física

Fernando Paiz

Decano, Facultad de Ingeniería

Carlos Rolz

Miembro exoficio

CORRESPONDENCIA:

Editorial Universitaria

Vanessa Granados Barnéond

Oficina II2-106-B

Universidad del Valle de Guatemala

Ext. 21705

ivgranados@uvg.edu.gt

ISSN 1607-5706 (impreso)

ISSN 2311-7648 (electrónico)

DISEÑO / DIAGRAMACIÓN:

Compudiseño

compudiseño1@gmail.com



MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO

Universidad del Valle de Guatemala

Rector

Roberto Moreno Godoy

Vice-rector

Fernando Paiz Mendoza

Secretaria

Floridalma Correa

Director de Estudios

Adrián Francisco Gil

Secretario Ejecutivo de la FUVG

Fausto Arimany

Vocales Asesores

Yolanda Toledo de Leal

Fernando Paiz Mendoza

Federico Bolaños

Ramiro Castillo

Vocal Asesor

Maricruz Álvarez

Vocal Asesor

Juan Carlos Marroquín

Christian Nolck

Invitados permanentes

Jorge Eskenasy

Cristian Rodríguez

Sofía Papahiu

Mónica Stein

Luis Fernando Andrade

<https://www.uvg.edu.gt/servicios/revista-uvg/>

Contenido

EDITORIAL

Roberto Moreno Godoy
UVG se transforma

6

PERSPECTIVA

Carlos Rolz Asturias, Investigador Emérito Benefactor y Ex-Fiduciario del Grupo Educativo del Valle
Emisiones de metano

8

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Ana Cristina Montúfar Mayorga, Luis Ernesto Núñez González, Gamaliel Zambrano
Evaluación de la producción de biomasa utilizando *Nannochloropsis oculata* en un fotobiorreactor de columna de burbujas ascendente

10

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

José Rodrigo Valdés Cruz
Emprendimiento en Guatemala: mapa de intervenciones y análisis de brechas de los proyectos ASPIRE y GEDI

21

ENSAYO

Doris Eugenia Martínez Melgar
Retos de Gestión Colectiva en el Turismo Comunitario de Guatemala

35

CREACIÓN LITERARIA

Adan Marroquín Tomás
Kalan and the Twin Stones (Kalan y las piedras gemelas)

48

RESUMEN DE CONFERENCIA

Lilian Caná, Ernesto Arredondo Leiva, Tomás Barrientos Quezada.

Reseña del Ecomuseo de San Andrés Semetabaj y la inauguración de las Salas
"Mi Pasado, Mi Historia"

51

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Sussan M. Campos Enriquez, Karen I. Joachin Padilla, Nicole E. Prem Regalado, Mónica Echeverry-Rendón

Imprimiendo sueños: La ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa una
alternativa para tratar enfermedades

60

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Díaz Martínez, C.R. Echeverría Barillas, J.M. Mendizábal de Cabrera, R.

Desempeño de la prueba de diagnóstico rápido (PDR) CareStart™ para la detección de
Plasmodium vivax, en el departamento de Escuintla, Guatemala 2019

71

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

*Santiago Juárez Guerra, Lourdes Paola Mancilla Calvillo, Ana Sofía Corzo Guzmán, José Ignacio Ovalle Ramírez,
Gabriela Sofía Lemus Rivera*

Extracción de la enzima invertasa y el análisis de la influencia de esta para la
fermentación de la cerveza

80

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

*Ana Aidé Cruz Grünebaum, Kevin Renato Rojas Sandoval, Sophia Verónica Maldonado Bode, Amber Gove, & Jennifer
Elizabeth Johnson Oliva*

Docentes Investigadores en Guatemala: Aprendizajes de una experiencia de investigación
acción para abordar brechas educativas en el aula.

85

RESEÑA DEL LIBRO

DERECHO Y BIOÉTICA, Cuestiones jurídicas y éticas de la biomedicina y la biotecnología

103

INFORMACION GENERAL

Procedimiento editorial y guía de instrucciones para los autores

105

AGRADECIMIENTO

Se agradece la labor de las personas que durante el año 2024 revisaron los artículos publicados en el presente número. Los comentarios efectuados y las sugerencias incorporadas contribuyeron para que el material publicado fuese claro en su exposición y estuviese al nivel de las características que una revista científica demanda.

UVG se transforma

En respuesta a las oportunidades que se nos presentan para ofrecer una educación de excelencia, a los cambios acelerados del entorno dinámico que nos rodea, a nuestra esencia y liderazgo en ciencia, tecnología y educación, con gran entusiasmo nos estamos preparando para atender las necesidades vigentes y futuras, con un compromiso firme en desarrollar nuestro máximo potencial para crecer y aumentar el impacto que tenemos en la sociedad, contribuyendo a cerrar las brechas existentes de acceso y calidad de la educación superior en Guatemala.

Nos mueve la certeza de que la Universidad del Valle de Guatemala es la mejor opción de educación superior en el país, brindando una formación relevante y de excelencia que abre puertas a las mejores oportunidades personales y profesionales, a través de una diversidad de modalidades de entrega y programas actualizados, flexibles y respaldados por tecnologías de vanguardia.

Para nuestros estudiantes, docentes y demás colaboradores, pertenecer a la UVG significa ser parte de una comunidad comprometida con los valores del Grupo Educativo Del Valle: ética y excelencia, confianza, pensamiento crítico, respeto, responsabilidad, compromiso, emprendimiento e innovación. Nuestro trabajo nos da la oportunidad de crecer como personas y como profesionales en nuestro campo, así como a contribuir al impacto que tenemos en la sociedad. Para lograrlo contamos con apoyo de las herramientas de las que dispone la Universidad, y con su uso eficiente, logramos alcanzar las metas que nos proponemos. “Ser UVG” representa ser parte de un ecosistema dinámico de innovación y emprendimiento, sustentado en la búsqueda de la excelencia y realizado por el alto reconocimiento y prestigio de que goza nuestra casa de estudios.

El crecimiento que ha tenido UVG en los últimos años, representa una oportunidad para transformar muchos de nuestros procesos, por lo que, con la asesoría de Bain and Company, nos encontramos inmersos en un proceso de análisis, construcción e implementación de transformaciones que nos permitirán lograr la mejora continua. Confiamos en que la implementación de los nuevos sistemas y procesos permitirán una mayor eficiencia y serán para el beneficio de toda nuestra comunidad.

Sustentados en la excelencia académica y en nuestro compromiso con la sociedad, profundizaremos nuestra labor en docencia, investigación, y extensión, forjando un ecosistema dinámico de emprendimiento e innovación.

Nos encontramos fortaleciendo nuestro impacto, potenciando nuestros programas para hacerlos aún más robustos y competitivos, diversificando nuestras modalidades de entrega, ampliando nuestro alcance a otras poblaciones objetivo y expandiendo nuestra capacidad para atender las necesidades del entorno, favoreciendo el acceso a una educación de calidad. La transformación en UVG es la ruta que nos permite alcanzar nuestro máximo potencial.

Roberto Moreno Godoy

Rector / Universidad del Valle de Guatemala

Emisiones de metano

Carlos Rolz Asturias

Investigador Emérito / Benefactor y Ex-Fiduciario del Grupo Educativo del Valle

Las emisiones hacia la atmósfera de metano se han incrementado en los últimos años debido en su mayoría a las actividades humanas. El metano es responsable alrededor de un 30 % del aumento global de la temperatura que ha tomado lugar desde el periodo pre-industrial, siendo el segundo gas de efecto invernadero después del CO₂. El metano tiene una vida corta en la atmósfera, de 7 a 12 años, diferente al dióxido de carbono, el cual persiste por varios cientos de años. Sin embargo, debido a su estructura molecular, posee un potencial de calentamiento 84 a 86 veces la del CO₂. Se considera a la disminución de las emisiones de metano, como la estrategia más efectiva para lograr mantener, a largo plazo, un calentamiento global menor de 2.0 °C, meta que se ha consensuado internacionalmente.

Las emisiones de metano provienen de fuentes naturales y de actividades humanas, estimando que alrededor de un 60 % son el resultado de las actividades antropogénicas. Los humedales existentes en el planeta son la fuente natural más significativa, recientemente confirmada por mediciones satelitales. Por otro lado, dentro de las actividades humanas se encuentran la agricultura (cultivo del arroz, la ganadería y otros rumiantes, y el manejo del estiércol animal), la descomposición de residuos agrícolas desparramados sin uso, y la fracción biodegradable (FB) de la basura municipal en los rellenos sanitarios, la producción y el consumo de combustibles fósiles, y los incendios forestales, entre otras.

La Unión Europea y los Estados Unidos de América han acordado un Compromiso Mundial sobre el metano para reducir las emisiones en un 30 % al año 2030, esperando con ello evitar que la temperatura promedio del planeta sea menor de 2 grados centígrados debido a los efectos del cambio climático. La agencia ambiental de las Naciones Unidas, UNEP, y otros grupos de trabajo, actúan como el

motor logístico para presentar, el Compromiso Mundial sobre el Metano, en la Conferencia Internacional del Cambio Climático, COP 29, a desarrollarse en Bakú la capital de Azerbaiyán a finales del año entrante. A la fecha, se han adherido al compromiso 155 países, los cuales representan un poco más del 50 % de las emisiones antropogénicas. Se han comprometido también en mejorar continuamente la veracidad, transparencia, consistencia y comparabilidad del informe nacional que se presenta regularmente a las autoridades especificadas en el Acuerdo de París. Por el momento estas decisiones no son vinculantes, pero la situación puede cambiar en la próxima COP.

Sirva el anterior preámbulo como introducción al tema y espero que se haya resaltado la importancia que tienen las emisiones globales de metano hacia la atmósfera. A continuación, deseo hacer comentarios y sugerencias válidas para nuestro país, específicamente sobre los rellenos sanitarios.

Los rellenos sanitarios son la opción más común para el tratamiento de la basura orgánica municipal, pero son causantes de aproximadamente el 11 % de las emisiones de CH₄ antropogénicas a nivel mundial. El gas producido en los rellenos sanitarios contiene dos principales componentes, CH₄ (45-60%) y CO₂ (40-60%) En USA los rellenos sanitarios representan un 26% de todas las emisiones antropogénicas. En Europa, se ha legislado para controlar las emisiones un 65% del nivel encontrado en el 2016, esperando lograrlo con una mejor separación en la fuente y el tratamiento de la (FB) en digestores anaerobios para producir electricidad. Existen muchos ejemplos de ciudades que han puesto en marcha proyectos exitosos de esta índole, tal como lo informa la European Biogas Association, institución que cualquiera puede contactar a través de la internet. Como se deduce el problema no solo existe en el país, sino en el mundo entero. El flujo de metano hacia la atmósfera de los rellenos sanitarios

es de aproximadamente 36 kg por metro cuadrado por año; por ejemplo, en un relleno de basura compactada y apisonada con tierra, de 2,500 metros cuadrados serían 90 toneladas de metano por año. Cantidad relativamente pequeña comparada con la cantidad de metano que se puede generar directamente del tratamiento en digestores anaerobios de la (FB) de la basura municipal. Esta cantidad depende de cuanta (FB) posee la basura a tratar, el tipo de digestor y su operación optimizada, en forma general se estima que podría generarse, partiendo de 1,000 toneladas diarias de basura y 20 días de fermentación, entre 2.5 a 5.0 GWh por año.

Las emisiones superficiales por difusión no son uniformes, sino que ocurren en puntos calientes de la misma, en donde se emiten cerca del 73% del total. No es de extrañar, entonces, que en el reciente incendio del relleno operado por AMSA en la carretera hacia el sur, fuera laborioso apagarlo en ciertas zonas. La tecnología de mitigación empleada comúnmente ha sido la de instalar un sistema subterráneo de tubería perforada para atrapar el gas. Sin embargo, comprobado en pruebas de rellenos sanitarios de diferentes tamaños y países, la captación del gas por ese sistema, en rellenos similares a los instalados en el país, oscila entre el 15 al 20% del total, cifras que demuestran que la inversión requerida no se justifica.

Ahora bien, estimo que no debe prevalecer una actitud pasiva y complaciente al respecto, es decir, seguir construyendo y operando rellenos sanitarios. Por el contrario, es necesario una nueva visión, imitemos a países europeos que han reconocido a la (FB) de la basura municipal como una materia prima, con un costo unitario, para generar energía eléctrica. ya sea empleando procesos químicos o biológicos. La capital y las ciudades aledañas producen actualmente una cantidad de basura municipal significativa que hace factible un sistema de generación de electricidad limpia, además con un futuro sostenible pues la basura aumenta con el incremento de la población, y por supuesto, lejos de cualquier influencia negativa por los efectos del cambio climático, tal como sucede con las hidroeléctricas, las eólicas y las solar.

En Guatemala hay investigadores en el aspecto climático, que son estudiosos y con publicaciones internacionales en inglés. Serán ellos los llamados para abordar este tema y organizar un foro de discusión con todos los involucrados. Una de las posibles actividades sería considerar la contratación de una empresa europea de ingeniería que pudiera hacer un estudio de factibilidad para el caso de la capital y su entorno. La electricidad generada podría cubrir una parte de las necesidades que requerirían las líneas programadas del metro riel. El proyecto del metro riel se ha descrito en la prensa, pero en ningún momento se ha dicho de donde se obtendrá la electricidad que requiere para funcionar. Existen trenes eléctricos de cercanías muy eficientes en el mercado

mundial, siendo la empresa francesa Alstom una de las líderes en este campo. Por otro lado, espero que la electricidad no sea generada importando aun mayor cantidad de carbón u otros combustibles derivados del petróleo.

Evaluación de la producción de biomasa utilizando *Nannochloropsis oculata* en un fotobiorreactor de columna de burbuja ascendente

Ana Cristina Montúfar Mayorga, Luis Ernesto Núñez González y Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

Centro de Procesos Industriales y Departamento de Ingeniería en Biotecnología Industrial, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala. 2023

RESUMEN: Las microalgas, incluyendo la especie *Nannochloropsis oculata*, pueden ser una fuente importante de biomasa para diversas aplicaciones. Esto incluye la obtención de proteínas o biomoléculas empleadas en la industria de alimentos; extracción de clorofila y otros metabolitos como componentes de suplementos vitamínicos, o simplemente como fuente de energía térmica. En este estudio se evaluó el crecimiento celular de las microalgas *Nannochloropsis oculata* en un fotobiorreactor de columna de burbuja ascendente, para determinar los parámetros experimentales que generan los mejores rendimientos; así como la propuesta de un modelo cinético para predecir el comportamiento de las especies de la mezcla, bajo los distintos parámetros experimentales. Se obtuvo que la concentración inicial de la fuente de nitrógeno $\times 1.00$ (0.300 g NaNO_3/L) permite obtener la mayor producción de biomasa, siendo esta de $12.5005 \text{ g} \pm 0.0193 \text{ g}$. Sin embargo, la concentración inicial de la fuente de nitrógeno $\times 0.10$ (0.030 g NaNO_3/L) permite obtener el mayor rendimiento de biomasa, el cual es de $72.4731 \text{ g biomasa/g NO}_3$. Asimismo, se desarrolló y parametrizó un modelo cinético, basado en el modelo de Monod, para describir el crecimiento celular de las microalgas *N. oculata* y su respectivo consumo del sustrato limitante, el cual es el nitrato, a distintas concentraciones iniciales de dicha fuente de nitrógeno, cuyos parámetros reflejan valores propios de un crecimiento limitado por la absorción de energía radiante.

PALABRAS CLAVE: microalgas, fotobiorreactor, biomasa, nitrato, modelo cinético, Monod.

Evaluation of biomass production using *Nannochloropsis oculata* in a rising bubble column photobioreactor

ABSTRACT: Microalgae, including the species *Nannochloropsis oculata*, can be an important source of biomass for various applications. This includes obtaining proteins or biomolecules used in the food industry, extracting chlorophyll and other metabolites as components of vitamin supplements, or simply as a source of thermal energy. With such potential in mind, this study evaluated the cellular growth of *Nannochloropsis oculata* microalgae in an upflow bubble column photobioreactor to determine the experimental parameters that yield the best results. Additionally, a kinetic model was proposed to predict the behavior of the species in the mixture under different experimental conditions. It was found that an initial concentration of nitrogen source $\times 1.00$ (0.300 g NaNO_3/L) allows for the highest biomass production, reaching $12.5005 \text{ g} \pm 0.0193 \text{ g}$. However, an initial concentration of nitrogen source $\times 0.10$ (0.030 g NaNO_3/L) leads to the highest biomass yield, which is $72.4731 \text{ g biomass/g NO}_3$. Furthermore, a kinetic model based on the Monod model was developed and parameterized to describe the cellular growth of *N. oculata* microalgae and its corresponding consumption of the limiting substrate: nitrate, at different initial concentrations of this nitrogen source. The parameters reflect values typical of growth limited by the absorption of radiant energy.

KEYWORDS: microalgae, photobioreactor, biomass, nitrate, kinetic model, Monod.

Introducción

Debido a la actual crisis climática y a la sobrepoblación mundial, se han desarrollado investigaciones para encontrar nuevas formas de producir los bienes necesarios para la humanidad, como fuentes de energía y alimento. Las microalgas, como la especie *Nannochloropsis oculata*, pueden llegar a considerarse como una fuente importante de biomasa. Esta biomasa puede aprovecharse para la obtención de proteínas como fuente de alimento; clorofila y otros metabolitos secundarios como fuente de suplementos vitamínicos y de medicinas; pigmentos para la industria textil y alimentaria; así como lípidos como materia prima para la producción de biocombustibles (Ganesan *et al.*, 2020). Por ende, la comunidad científica ha enfocado sus esfuerzos en maximizar la producción de biomasa de microalgas y para lograr escalar el proceso de una forma eficiente y sostenible. Actualmente países como Japón, España y Cuba ya están desarrollando las tecnologías para llevar a una escala industrial el crecimiento de microalgas para la obtención de productos con potencial en agricultura, nutrición, cosmética y la creación de biocombustibles (Moreno *et al.*, 2016). Sin embargo, en Guatemala aún se están desarrollando investigaciones en esta rama, por lo que no se cuenta con tecnologías desarrolladas para la producción industrial de microalgas.

Las microalgas son microorganismos fotosintéticos, es decir que aprovechan la luz solar para producir energía química para su metabolismo y tienen la capacidad de fijar el dióxido de carbono (Chisti, 2007). Una de las especies más utilizadas en la industria, debido a su alto valor nutricional y su tolerancia a los cambios ambientales, es *Nannochloropsis oculata*. Sin embargo, la producción de biomasa depende en gran medida de las condiciones ambientales, así como del tipo de biorreactor en el que está siendo cultivada la microalga. Los factores con más impacto en dicha producción son: la disponibilidad de nutrientes en el medio, en especial la deficiencia de nitrógeno, salinidad, fuente e intensidad de luz, pH, temperatura y niveles de oxígeno disuelto (Bi & He, 2020).

Una de las formas que se utilizan para cultivar a las microalgas *N. oculata* es mediante un fotobiorreactor de columna. Dichos fotobiorreactores están hechos en forma de columna vertical y con materiales como vidrio transparente o acrílico. Cuentan con un sistema de burbujeo de aire en la parte inferior, lo cual crea turbulencia para mezclar adecuadamente el medio de cultivo y lograr la transferencia de masa de dióxido de carbono y oxígeno producido. Asimismo, las fuentes de luz pueden ser instaladas interna o externamente para proveer una mejor distribución de luz. Las principales ventajas de dichos reactores es que permiten una alta transferencia de masa, una baja fotoinhibición y fotooxidación, las condiciones

de cultivo son altamente controlables, se obtienen altos rendimientos de biomasa, las columnas son compactas, fáciles de mantener y de bajo costo energético. Por ende, este tipo de reactores cuentan con una alta escalabilidad para la industria (Eriksen, 2008; Alami *et al.*, 2020).

También es importante conocer y analizar la cinética del crecimiento celular de las microalgas en las condiciones experimentales dentro de los fotobiorreactores de columna ascendente. La cinética puede obtenerse al medir con el paso del tiempo la concentración celular, la concentración del sustrato limitante y, de ser posible, la concentración del producto de interés. El análisis permitirá obtener la tasa de crecimiento celular, entre otros parámetros cinéticos importantes, como la velocidad específica de crecimiento (μ) y el espacio-tiempo (τ). Con ayuda de los parámetros se puede predecir el crecimiento celular de las microalgas bajo distintas condiciones experimentales. Todo esto resulta útil para el escalamiento de los fotobiorreactores, puesto que el tiempo de reacción debe permanecer constante en la nueva escala y se puede producir microalgas bajo las condiciones que generen los mejores rendimientos.

Específicamente, el modelo de Monod se utiliza ampliamente para expresar el efecto que tiene la concentración del sustrato limitante sobre la velocidad de crecimiento específica (μ). Se caracteriza por expresar cómo la velocidad de crecimiento específico aumenta con la concentración del sustrato limitante. Su expresión empírica está basada en la forma de ecuación que normalmente se asocia a la cinética enzimática (Lee, 2009). El modelo de Monod se expresa como la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\mu_{\max} C_s}{K_s + C_s}$$

(Ecuación 1)

En donde μ_{\max} es la velocidad máxima específica de crecimiento, C_s es la concentración del sustrato limitante en el medio de cultivo y K_s es un parámetro constante que expresa la afinidad al sustrato limitante. El valor de K_s es igual a la concentración del sustrato limitante cuando la velocidad específica de crecimiento cuenta con un valor igual a la mitad de su máximo valor (Lee, 2009). Cabe resaltar que el modelo de Monod es una simplificación del complicado mecanismo del crecimiento celular como resultado de todas las reacciones bioquímicas que conforman el metabolismo celular. Por ende, describe adecuadamente la cinética de las fermentaciones microbianas cuando las concentraciones de los inhibidores en el medio son bajas y se asume que las variables del sistema se mantienen constantes en el tiempo. Además, de acuerdo con la expresión del modelo, un

incremento en la concentración del sustrato una vez que μ alcanza el valor de μ_{max} no afectará la velocidad de crecimiento específica, por lo que el valor de esta variable tenderá a ser constante (Lee, 2009).

Un ejemplo de la aplicación del modelo de Monod se refleja en el estudio de Gharagozloo y colaboradores, 2014, donde se analizó y modeló el crecimiento de *Nannochloropsis salina* en laboratorio, invernadero y en reactores tipo raceway. Para el modelo del crecimiento celular se consideró la influencia de la disponibilidad de nutrientes en el medio, por lo que se utilizó el modelo de Monod, el cual se expresó como la siguiente ecuación:

$$f(\nu) = \frac{\nu}{K_X^h + \nu}$$

(Ecuación 2)

En donde $f(\nu)$ es la velocidad específica de crecimiento, ν es la concentración de nutrientes y K_X^h es la constante de afinidad al sustrato. En dicho estudio se expone que el crecimiento de las microalgas analizadas se modeló bajo una concentración limitada de los siguiente nutrientes: amonio disuelto (NH_4), nitrato (NO_3), fosfato (PO_4) y dióxido de carbono (CO_2). Por lo que la velocidad específica de crecimiento se modeló con la siguiente ecuación:

$$f(\nu) = \min\left(\frac{\text{NH}_4 + \text{NO}_3}{K_N^h + \text{NH}_4 + \text{NO}_3}, \frac{\text{PO}_4}{K_P^h + \text{PO}_4}, \frac{\text{CO}_2}{K_C^h + \text{CO}_2}\right)$$

(Ecuación 3)

En donde K_N^h , K_P^h y K_C^h son las constantes de afinidad al NH_4 y NO_3 , PO_4 y CO_2 , respectivamente. Cabe agregar que los resultados de dicho estudio revelan que el modelo predice

el crecimiento de las microalgas analizadas en sistemas con una escala variable e identifica las causas que provocan una reducción en la productividad de biomasa.

A pesar de todo este conocimiento, en Guatemala aún no se cuentan con estudios para entender qué condiciones generan la mayor producción de biomasa de microalgas, para hacer que la producción industrial de biomasa sea eficiente y puede aprovecharse en su totalidad. De acuerdo a lo mencionado, en el presente trabajo se presenta la evaluación del crecimiento celular de las microalgas *Nannochloropsis oculata* en un fotobiorreactor de columna de burbuja ascendente, para determinar los parámetros experimentales que generan los mejores rendimientos; así como la propuesta de un modelo cinético para predecir su comportamiento bajo los distintos parámetros experimentales.

Metodología

Preparación del medio de cultivo Guillard f/2 modificado

Se prepararon 5 litros del medio Guillard f/2, enriquecido con los nutrientes esenciales y a las concentraciones necesarias para preparar un total de 45 litros del medio de cultivo de microalgas. Este proceso incluyó la adición de 43.35 mL de la solución de fosfato dipotásico, 45 mL de la solución de trazas de metal y 4888.2 mL de agua destilada. El medio resultante fue esterilizado en autoclave y luego se incorporaron 22.5 mL de la solución vitamínica a través de un filtro de 2 μm . La composición del medio sigue la formulación establecida por Guillard en 1975, la cual se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resumen de los nutrientes utilizados para el medio f/2 Guillard desde tres miradas diferentes.

| Nutriente | Solución Stock recomendada (g/L) | Concentración molar en el medio final (M) | Peso molecular (g/mol) | Solución |
|---|----------------------------------|---|------------------------|-----------------|
| KH_2PO_4 | 5.0 | 3.62×10^{-5} | 136.09 | N/A |
| FeCl_3 | N/A | 1.17×10^{-5} | 162.22 | Trazas de metal |
| Na_2EDTA | N/A | 1.17×10^{-5} | 336.21 | Trazas de metal |
| CuSO_4 | 9.8 | 3.93×10^{-8} | 159.61 | Trazas de metal |
| $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 22.0 | 7.65×10^{-8} | 287.54 | Trazas de metal |
| $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 10.0 | 4.20×10^{-8} | 237.93 | Trazas de metal |
| $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 180.0 | 9.10×10^{-7} | 197.91 | Trazas de metal |
| Tiamina HCl | N/A | 2.96×10^{-7} | 337.30 | Vitaminas |
| Biotina | 1.0 | 2.05×10^{-9} | 244.31 | Vitaminas |

(Guillard, 1975).

Fermentaciones a distintas concentraciones iniciales de la fuente de nitrógeno

Se evaluaron 4 fermentaciones a distintas concentraciones iniciales de la fuente de nitrógeno: 0.300 g de NaNO₃/L (x1.00), 0.150 g de NaNO₃/L (x0.50), 0.075 g de NaNO₃/L (x0.25) y 0.03 g de NaNO₃/L (x0.10). Todas se realizaron en duplicado, a excepción de la fermentación a 0.300 g de NaNO₃/L que se realizó en triplicado. Para cada fermentación se utilizaron fotobiorreactores de columna de 8 L marca BioVantage. El medio de cultivo fue preparado a un volumen final de 5 L a 2% de salinidad, aireación a 1.18x10⁻⁴ m³/h (15 ft³/h), la cual se definió como la fuente de carbono para el cultivo debido al flujo constante de dióxido de carbono, pH entre 8.0 y 8.5, temperatura de 22 °C, 8 horas de iluminación a una onda de luz roja e intensidad de 1500 lúmenes, presión a 0.9971 atm y 500 mL de inóculo de microalgas cultivadas previamente a las mismas condiciones en dichos fotobiorreactores. Cabe resaltar que las microalgas del inóculo se tomaron del reactor abierto tipo laguna de la Universidad Del Valle de Guatemala. Estas se analizaron previamente en microscopio para garantizar que solo hubiese microalgas *N. oculata*. Las fermentaciones se analizaron diariamente por 21 días. Se determinó la concentración celular con el equipo Muse® y la concentración de nitratos con el equipo HACH DR 890, para lo cual se tomaron muestras de 1.5 mL de cada reactor y se diluyó la muestra en 1:10 para el análisis de nitratos. Además, se monitoreo la salinidad, pH y temperatura del medio diariamente.

Cosecha y secado de biomasa

Después de cada fermentación, el medio de cultivo fue centrifugado en la centrífuga SORVALL RT7 a 20 °C y 3000 rpm por 10 minutos. El sobrenadante fue centrifugado nuevamente a 20 °C y 4000 rpm por 10 minutos. El sobrenadante final se descartó en el reactor de laguna abierta de la Universidad Del Valle de Guatemala para aprovechar los nutrientes restantes del medio de cultivo. El medio con la biomasa concentrada se distribuyó sobre recipientes de metal y de porcelana y sobre las cajas Petri de vidrio. Estas se trasladaron a un horno secador Symphony VWR, donde se dejaron por 24 horas a 60 °C. Al término del secado, se recuperó la biomasa y se trasladó a una caja Petri previamente tarada. Por último, se pesó la biomasa recuperada en una balanza analítica.

Cálculo de la productividad y rendimiento de células de las microalgas *N. oculata* y su biomasa

Para determinar la productividad de células de las microalgas *N. oculata* por litro de cultivo que se obtuvo al día se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta \text{Concentración celular}}{\Delta \text{Tiempo}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = \text{Productividad}$$

(Ecuación 2)

En donde los cambios en la concentración celular y en el cambio en el tiempo se determinaron desde el día 0 de fermentación hasta el punto más alto en la curva de crecimiento celular, donde se formase una recta tangente a dicha curva con la pendiente más grande.

Para determinar el rendimiento total de células de las microalgas *N. oculata* por gramo de nitrato consumido en la fermentación se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta \text{Concentración celular}}{-\Delta \text{Concentración de nitrato}} = \text{Rendimiento total}$$

(Ecuación 3)

En donde los cambios en la concentración celular y en la concentración de nitrato se obtuvo con los datos del día 0 y último día de fermentación.

Para determinar el rendimiento de la biomasa respecto a los gramos de nitrato consumidos en la fermentación se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Producción de biomasa}}{[-\Delta \text{Concentración de nitrato}] \times (V_{fbr} - V_r)} = \text{Rendimiento de biomasa}$$

(Ecuación 4)

En donde los valores de la producción de biomasa se obtuvieron del pesaje de la biomasa obtenida de cada fermentación, después de recuperarla mediante centrifugación y secarla. Asimismo, los cambios de la concentración de nitrato se obtuvo con los datos del día 0 y último día de fermentación. Por último, V_{fbr} es el volumen al que se llenó el fotobiorreactor para la fermentación y V_r el volumen retirado del medio debido al muestreo.

Ajuste del modelo cinético que describe el crecimiento celular y el consumo de nitratos a distintas concentraciones con el software Berkeley Madonna

Con ayuda de Excel se ordenaron los datos recabados de cada fermentación de la concentración celular de microalgas y la concentración de nitratos en el tiempo. Los datos primero fueron suavizados para disminuir el ruido provocado por la metodología empleada para realizar las mediciones. Luego, fueron analizados en el software Berkeley Madonna para analizar su ajuste al modelo cinético de Monod (ver Ecuación 1). Debido a que el modelo cinético presentaba más del 5% de error al ajustarse a los datos experimentales, se modificó el modelo de Monod para considerar la concentración final de nitratos en cada fermentación, de modo que el valor del crecimiento celular específico en cada tiempo se viera afectado

por el cambio en la concentración del sustrato limitante, ya que corresponde a la concentración de sustrato realmente utilizada por las microalgas *N. oculata*, por lo que se utilizó la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \times (S - S_f)}{K_s + (S - S_f)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde μ es la velocidad específica de crecimiento celular, μ_{\max} es la velocidad específica máxima de crecimiento celular, S la concentración de sustrato, S_f la concentración final de sustrato y K_s la constante de afinidad al sustrato.

Asimismo, para describir la velocidad del crecimiento celular de las microalgas, se empleó la siguiente ecuación:

$$RX = \mu X \quad (\text{Ecuación 6})$$

En donde RX es la cantidad de células por volumen al día y X es la concentración de células por volumen.

Para describir la velocidad del consumo del sustrato limitante para el crecimiento celular de las microalgas se empleó la siguiente ecuación:

$$RS = \frac{RX}{Y_x} \quad (\text{Ecuación 7})$$

En donde RS es la concentración del sustrato limitante por volumen por día y Y_x el rendimiento de células por gramo del sustrato limitante.

Para describir el cambio de la concentración celular en el tiempo para el cultivo de microalgas se empleó la siguiente ecuación:

$$\frac{d}{dt}(X) = RX \quad (\text{Ecuación 8})$$

Por último, para describir el cambio de la concentración del sustrato limitante en el tiempo para el cultivo de microalgas, se empleó la siguiente ecuación:

$$\frac{d}{dt}(S) = -RS \quad (\text{Ecuación 9})$$

Además, se realizó un modelo discontinuo para que las variables de este lograsen explicar el fenómeno que afecta el crecimiento celular durante la fermentación cuando esta se da en los fines de semana. Por último, se realizó un ajuste manual de las curvas a los datos experimentales con las herramientas del software, con el fin de que el modelo se ajuste a los datos experimentales con un error menor al 5%.

Cabe mencionar que el código utilizado para realizar dichos ajustes se presenta en anexos.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se puede comparar el crecimiento celular de las microalgas *N. oculata* bajo las distintas concentraciones iniciales de la fuente de nitrógeno. Cabe resaltar que en cada fermentación se aplicó un flujo constante de aireación, la cual contenía dióxido de carbono y el cual se definió como la fuente de carbono para el correcto crecimiento de las microalgas. Se definió variar solo la fuente de nitrógeno en el medio de cultivo ya que en la literatura se reporta que este nutriente está estrechamente relacionado con la síntesis de proteínas estructurales y, por ende, con la producción de biomasa (Hu, 2004). Además, se aplicó la variabilidad obtenida de la fermentación realizada en triplicado a cada una de las demás fermentaciones evaluadas en duplicado, con el fin de realizar un mejor análisis estadístico entre las condiciones experimentadas. La variabilidad se obtuvo calculando el valor de 3 desviaciones estándar para contar con un 99.7% de confianza en el análisis estadístico. Aplicar la variabilidad obtenida de la fermentación en triplicado a otras fermentaciones evaluadas en duplicado mantiene la consistencia en el diseño experimental. Esto es importante para garantizar que las condiciones experimentales sean comparables y que las diferencias observadas sean atribuibles a las distintas concentraciones iniciales de la fuente de nitrógeno a las que fueron analizadas las fermentaciones (Anderson, Sweeney & Williams, 2015).

Se obtuvo que a mayor concentración inicial de la fuente de nitrógeno en el medio de cultivo, mayor densidad celular se alcanza al final de la fermentación. Se puede explicar que, gracias a que a la concentración inicial $\times 1.00$ hay más disponibilidad de nitrógeno, las microalgas pueden seguir sintetizando proteínas estructurales, entre otras moléculas importantes para el metabolismo, por lo que se pueden seguir reproduciendo (Hu, 2004; Aléman et al., 2017), alcanzando así al final de la fermentación de 21 días, una mayor concentración celular $[(4.15 \pm 0.26) \times 10^6 \text{ células viables/mL}]$ comparado con las microalgas que crecen bajo una concentración inicial $\times 0.50$ $[(3.36 \pm 0.21) \times 10^6 \text{ células viables/mL}]$ e incluso que las concentraciones $\times 0.25$ $[(3.53 \pm 0.22) \times 10^6 \text{ células viables/mL}]$ y $\times 0.10$ $[(2.23 \pm 0.14) \times 10^6 \text{ células viables/mL}]$ (Hu, 2004; Aléman et al., 2017).

Cabe resaltar que, las razones por las cuales no se logró alcanzar una mayor densidad celular al final de las fermentaciones, pueden ser que otro nutriente, como el fósforo, pudo actuar como sustrato limitante e influir en el crecimiento celular de las microalgas. También se pudo haber generado más productos de desecho celular que se acumularon en el medio e inhibieron el crecimiento celular.

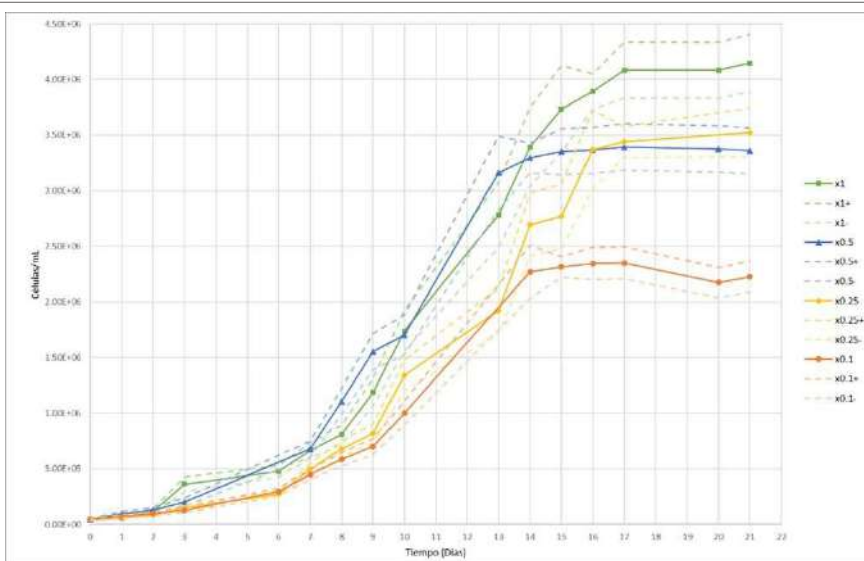


Figura 1. Comparación del crecimiento celular promedio de las microalgas *N. oculata* bajo distintas concentraciones iniciales de la fuente de nitrógeno.

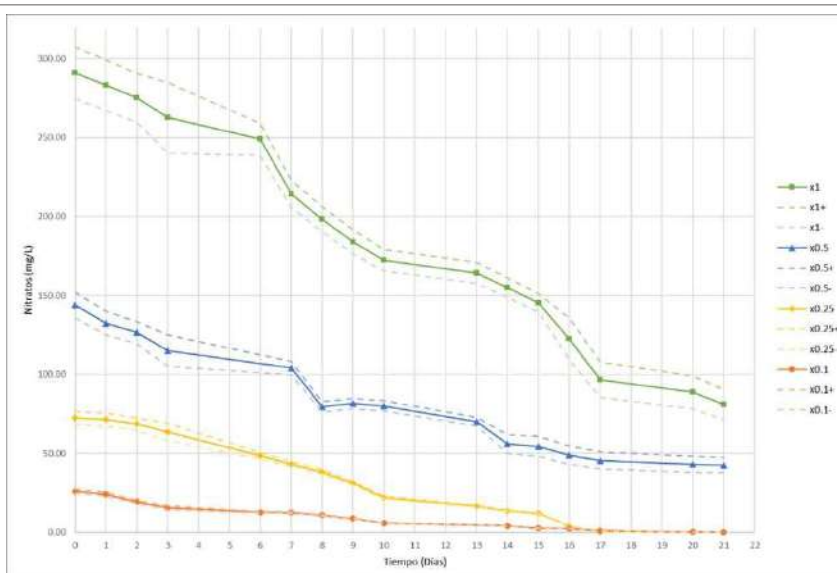


Figura 2. Comparación del consumo de nitrato promedio de las microalgas *N. oculata* bajo distintas concentraciones iniciales de la fuente de nitrógeno

Por otro lado, la densidad celular en el medio pudo ser muy grande que no permitía que la luz llegara a todo el medio de forma homogénea, ya que las lámparas se encontraban en el exterior de los reactores e iluminaban de forma directa solo un lado de los reactores, provocando así una menor tasa de fotosíntesis y, por ende, menor crecimiento celular (Tortora, Funke y Case, 2007; Lee, 2009; Audesirk et al., 2012).

En la Figura 2 se puede observar el decaimiento en el tiempo de la concentración de nitrato de cada fermentación con una concentración inicial de la fuente de nitrógeno distinta, con

su respectiva variabilidad obtenida de la misma manera que la variabilidad de la concentración celular. Se obtuvo que a una menor concentración inicial de la fuente de nitrógeno el decaimiento de la concentración de nitratos es más pronunciado y rápido. Por ende, al final de las fermentaciones a las concentraciones x0.25 y x0.10 se logró el consumo completo de los nitratos. Se infiere que a las concentraciones iniciales x1.00 y x0.50, el nitrógeno en forma de nitrato, no se encuentra a concentraciones limitantes, pero a las concentraciones iniciales x0.25 y x0.10 si estaría a concentraciones limitantes.

En los resultados del Cuadro 2 se puede observar que se obtuvo una mayor productividad de células mientras más grande sea la concentración inicial de la fuente de nitrógeno en la fermentación. Se ha reportado en la literatura que, mientras mayor sea la concentración inicial de la fuente de nitrógeno, mayor disponibilidad de nitrógeno en forma de nitrato habrá para que las células lo aprovechen en su metabolismo y reproducción (Hu, 2004; Aléman *et al.*, 2017). Por el otro lado, se obtuvo un mayor rendimiento de células respecto al sustrato conforme disminuye la concentración inicial de la fuente de nitrógeno. Se ha demostrado previamente que cuando hay una privación de la fuente de nitrógeno, las microalgas lo aprovechan lo mejor posible para reproducirse y sobrevivir. Incluso para sintetizar lípidos como reserva de energía, pero la generación de células se verá limitada por la escasez de nutrientes (Hu, 2004; Aléman *et al.*, 2017).

Como se puede observar en el Cuadro 3, se obtuvo que a mayor concentración inicial de la fuente de nitrógeno, se logra una mayor producción de biomasa de microalgas *N. oculata*. En la literatura se reporta que a una mayor concentración de la fuente de nitrógeno, las microalgas tendrán disponible en el medio de cultivo mayor concentración de nitrógeno en forma de nitrato, el cual aprovechan para sintetizar proteínas estructurales y aminoácidos, importantes para el metabolismo y reproducción (Hu, 2004; Aléman *et al.*, 2017). Por el otro lado, se obtuvo que el rendimiento de biomasa respecto al nitrato, es mayor conforme disminuye la concentración inicial de la fuente de nitrógeno. Dicho fenómeno se explica porque a menor concentración de la fuente de nitrógeno, las células aprovechan de mejor manera el sustrato para su metabolismo y reproducirse, con el fin de asegurar su sobrevivencia, produciendo así una buena concentración celular, que se traduce en mayor producción de biomasa por gramo de sustrato limitante (Hu, 2004; Aléman *et al.*, 2017). En cambio, a altas concentraciones de la fuente de nitrógeno, las células emplean más sustrato para su metabolismo y su producción, resultando en un uso ineficiente del sustrato limitante en relación con la producción de biomasa (Hu, 2004; Aléman *et al.*, 2017).

Para generar un modelo cinético de la operación del fotobiorreactor que predijese el crecimiento celular de las microalgas *N. oculata* bajo la concentración inicial de la fuente de nitrógeno x1.00, la cual permite obtener la mayor producción de biomasa, se utilizó el modelo de Monod modificado (ver Ecuación 2), ya que simplifica lo complejo que es el crecimiento celular de las microalgas, debido a las reacciones bioquímicas que conforman el metabolismo celular (Lee, 2009). Además, al analizar las gráficas generadas en Berkeley Madonna se encontró que en todas las fermentaciones el crecimiento celular presentaba comportamientos casi estacionarios durante la fase de aceleración y la fase exponencial, formando así una especie de escalones en las gráficas, lo cual no era esperado del crecimiento celular para

Cuadro 2. Número de parcelas experimentales por tratamiento.

| Concentración de la fuente de nitrógeno | Productividad (Células/L día) | Rendimiento total (Células/g NO ₃ ⁻) |
|---|---------------------------------|---|
| x 1.00 | (2.46 ± 0.26) x 10 ⁸ | (1.95 ± 0.21) x 10 ¹⁰ |
| x 0.50 | (2.40 ± 0.25) x 10 ⁸ | (3.27 ± 0.37) x 10 ¹⁰ |
| x 0.25 | (2.08 ± 0.22) x 10 ⁸ | (4.80 ± 0.40) x 10 ¹⁰ |
| x 0.10 | (1.59 ± 0.17) x 10 ⁸ | (8.38 ± 0.71) x 10 ¹⁰ |

Cuadro 3. Comparación de la biomasa recuperada y su rendimiento de la producción de las microalgas *N. oculata* bajo distintas concentraciones iniciales de la fuente de nitrógeno.

| Concentración de la fuente de nitrógeno | Recuperación de biomasa (± 0.0193 g) | Rendimiento de biomasa (g biomasa/g NO ₃ ⁻) |
|---|--------------------------------------|--|
| x 1.00 | 12.5005 | 11.9627 ± 1.0822 |
| x 0.50 | 11.2350 | 22.2380 ± 2.0916 |
| x 0.25 | 10.3586 | 28.7046 ± 1.6232 |
| x 0.10 | 9.1464 | 72.4731 ± 4.0988 |

dichas fases. De la misma forma, se encontró que el consumo de nitratos presentaba dichas fases estacionarias.

Estas fases coinciden con los 3 intervalos de tiempo en los no se muestreo el sistema por ser días de fin de semana. Por lo tanto, los “escalones estacionarios” se produjeron por factores externos de la fermentación. Específicamente, por la metodología empleada en los días hábiles de la semana, donde se aplicaba una homogenización extra de la biomasa del sistema para el muestreo. Sin embargo, del viernes al lunes, pasaban 72 horas sin el procedimiento extra de homogenización del medio de cultivo y sin muestreo.

Por lo tanto, se infiere que esta falta de homogenización dio lugar a un cierto grado de heterogeneidad en el reactor. En consecuencia, el crecimiento celular se pudo haber visto afectado debido a una falta de acceso a nutrientes y a una iluminación limitada de la cepa. Por ende, el consumo de nitratos presenta la tendencia complementaria al crecimiento celular durante esos días de la fermentación, provocando el comportamiento reflejado en las gráficas. En cambio, al observar el comportamiento de las gráficas durante los días de fermentación que coinciden con los días hábiles, se obtiene que es continuo y acorde a la fase de crecimiento celular.

Debido a esto, se desarrolló un modelo cinético con parámetros que explican la fermentación en los días hábiles, donde el muestreo fue continuo, y con parámetro cinéticos

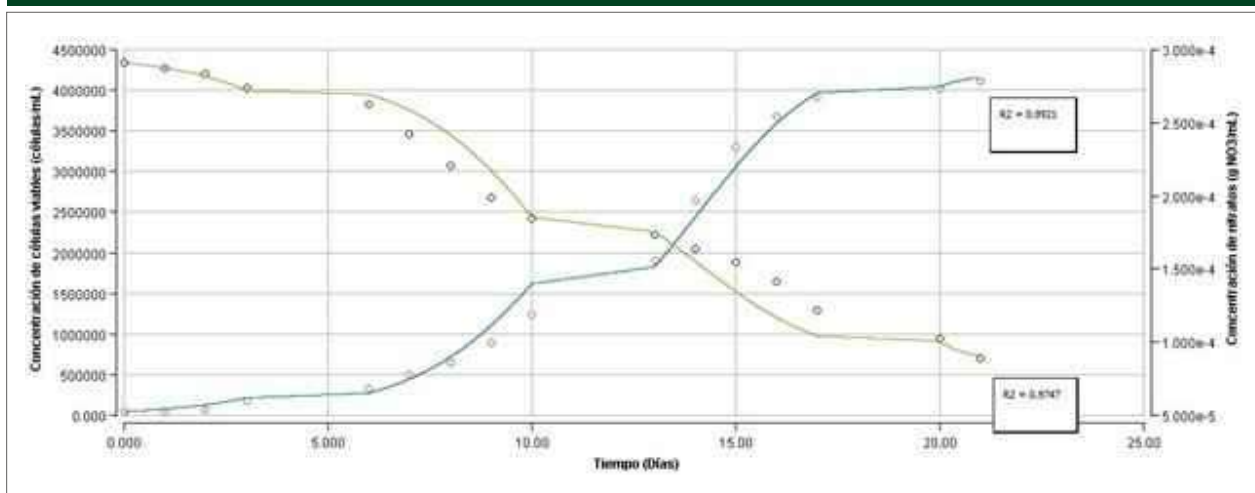


Figura 3. Ajuste del modelo de Monod modificado utilizando datos experimentales del crecimiento celular de la microalga *N. oculata* y el consumo de nitratos a una concentración inicial de la fuente de nitratos de $\times 1.00$ en el fotobiorreactor de columna de burbuja ascendente de 8 L.

Código de colores: curva azul - ajuste matemático de la concentración celular obtenido con el Software Berkley Madonna® con R^2 de 0.9921, curva verde - ajuste matemático de la concentración de nitratos obtenido con el Software Berkley Madonna® con R^2 de 0.9747, puntos naranjas - datos experimentales de la concentración celular obtenidos a partir del MUSE®, puntos negros - datos experimentales de la concentración de nitratos obtenidos a partir del HACH DR 890.

que explican el fenómeno ocurrido durante los días de fin de semana, donde no se realizó el muestreo. Cabe resaltar que, para el parámetro de rendimiento de células respecto a sustrato, también se definió un valor distinto dependiendo de la fase del crecimiento celular. En la literatura se justifica porque, al estar las microalgas en privación de nitrógeno, comienzan a acumular lípidos, por lo que su composición celular, e incluso tamaño, varía con el tiempo (Hu, 2004; Aléman et al., 2017).

Como se puede observar en las Figuras 3 y en el Cuadro 4, en el ajuste del modelo cinético a los datos experimentales de la fermentación a una concentración inicial $\times 1.00$, al emplear el modelo cinético de Monod modificado y ajustar los parámetros cinéticos dependiendo si la fermentación se encuentra en días de fin de semana o en días hábiles, se logra que el modelo se ajuste a los datos experimentales con un valor de R^2 para ambas curvas mayor al 0.97, es decir, el modelo se ajusta con un 97% de confianza. Se infiere que el modelo cinético empleado y los ajustes de los parámetros cinéticos describen con buena exactitud el crecimiento celular de las microalgas y su consumo de sustrato. Sin embargo, la alta densidad celular alcanzada en el sistema puede impactar en los parámetros del modelo cinético. Esto se debe a que la luz no llega de manera homogénea a todo el cultivo y este fenómeno provoca que el sustrato limitante deje de ser el nitrato como la fuente de nitrógeno y pase a ser la iluminación del sistema. Cabe resaltar que esta variable impacta directamente a la μ_{\max} del modelo. Sin embargo, en el Modelo de Monod presentado no se incluye una variable extra que represente la iluminación, ya que, al establecer el

sistema fermentativo bajo una iluminación constante, el μ_{\max} ya consideraría los efectos de esta variable sobre el crecimiento celular. Es importante aclarar que se expone únicamente la gráfica del ajuste del modelo cinético a los datos experimentales de la fermentación a una concentración inicial $\times 1.00$, ya que es el modelo que permite predecir el crecimiento celular de las microalgas bajo la concentración inicial de la fuente de nitrógeno que favorece a la mayor producción de células y, por ende, de biomasa.

Al analizar los parámetros cinéticos que describen el fenómeno que ocurre en los días de fermentación que coinciden con los días de fin de semana (Cuadro 4), se obtiene que los valores de μ_{\max} , K_s y Y_{x_f} , son iguales para todas las fermentaciones, independientemente de la concentración inicial de la fuente de nitrógeno a la que se llevaron a cabo. Se definió de esta manera puesto que es el mismo fenómeno el que afecta a todas las fermentaciones en los días de fin de semana. Sin embargo, al comparar estos parámetros con los que describen la fermentación en los días hábiles, se obtiene que el valor de μ_{\max} y K_s son muchísimo mayores que los valores de μ_{\max} y K_s de cada fermentación.

Los resultados indicarían que las microalgas alcanzan una mayor velocidad de crecimiento específica en los días de fin de semana, pero a la vez cuentan con una afinidad al sustrato muchísimo menor que en los días hábiles de la semana, respectivamente. De esta forma se respaldaría el fenómeno discutido anteriormente, en el que se resalta que al sedimentarse las microalgas y el medio de cultivo, no se cuenta con la misma homogeneidad del sustrato y las

Cuadro 4. Parámetros cinéticos del modelo matemático que describe el crecimiento celular de las microalgas *N. oculata* a la concentración inicial de la fuente de nitrógeno x1.00 en el fotobiorreactor de columna de burbuja ascendente de 8 L obtenidos con el Software Berkley Madonna®

| Parámetro | μ_{max} | K_s | Y_{x_1} | Y_{x_2} | Y_{x_3} | Y_{x_4} | μ_{maxf} | K_{sf} | Y_{x_f} |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Período | t < 3, 10, 17 y t > 20 | t < 3, 10, 17 y t > 20 | t < 3 | t > 6 y t < 10 | t > 13 y t < 17 | t > 20 | t < 6, 13, 20 | t < 6, 13, 20 | t < 6, 13, 20 |
| Valor | | | | | | | | | |
| fermentación x1.00 | 1.0842 | 2.1015×10^{-4} | 9.0016×10^9 | 1.6035×10^{10} | 3.0066×10^{10} | 1.1302×10^{10} | 7.8401×10^{12} | 1.8002×10^{10} | 2.1046×10^{10} |

*Donde μ_{max} es la velocidad específica máxima de crecimiento celular (días⁻¹), K_s la constante de afinidad al sustrato (g NO₃/mL), Y_{x_1} el rendimiento máximo de biomasa en función al consumo de sustrato para la fase lag (células/g NO₃), Y_{x_2} el rendimiento máximo de biomasa en función al consumo de sustrato para la parte 1 de la fase exponencial (células/g NO₃), Y_{x_3} el rendimiento máximo de biomasa en función al consumo de sustrato para la parte 2 de la fase exponencial (células/g NO₃), Y_{x_4} el rendimiento máximo de biomasa en función al consumo de sustrato para la fase estacionaria (células/g NO₃), μ_{maxf} la velocidad específica máxima de crecimiento celular para los días en fin de semana (días⁻¹), K_{sf} la constante de afinidad al sustrato para los días en fin de semana (g NO₃/mL) y Y_{x_f} el rendimiento máximo de biomasa en función al consumo de sustrato para los días en fin de semana (células/g NO₃).

microalgas no lo pueden aprovechar de la misma manera, viéndose afectado así su crecimiento celular (Hu, 2004; Lee, 2009). Por último, se observa que el valor de Y_{x_i} en general es menor que los valores de los rendimientos de células respecto a sustrato de cada fermentación en los días hábiles. Nuevamente, los resultados sustentan que las microalgas en los fines de semana no fueron capaces de aprovechar correctamente el sustrato limitante para reproducirse a la misma tasa que en los días hábiles de fermentación.

Conclusiones

La concentración inicial de la fuente de nitrógeno x1.00 (0.300 g NaNO₃/L) permite obtener la mayor producción de biomasa de las microalgas *N. oculata*, siendo esta de 12.5005 g ± 0.0193 g. Sin embargo, la concentración inicial de la fuente de nitrógeno x0.10 (0.030 g NaNO₃/L) permite obtener el mayor rendimiento de biomasa, el cual es de 72.4731 g biomasa/g NO₃⁻. Se desarrolló un modelo cinético discontinuo, basado en el modelo de Monod, para describir el crecimiento celular de las microalgas *N. oculata* y su respectivo consumo de nitrato como sustrato limitante, a distintas concentraciones iniciales de la fuente de nitrógeno, en un fotobiorreactor de columna de burbuja ascendente de 8 L. Los parámetros cinéticos de la fermentación a una concentración inicial de la fuente de nitrógeno x1.00, la cual generó la mayor producción de biomasa, son: μ_{max} = 1.0842 días⁻¹ y K_s = 2.1015×10^{-4} g NO₃⁻/mL para una operación homogénea. Asimismo, la parametrización permitió obtener distintos rendimientos de células respecto al consumo de sustrato en función de la fase del crecimiento celular.

En síntesis, con el modelo cinético presentado se pueden analizar las variaciones cíclicas de un sistema homogéneo-heterogéneo que tiende a la sedimentación de biomasa. Estos sistemas cíclicos podrán ser analizados bajo condiciones constantes de aireación, pH y temperatura. Cabe resaltar que el modelo integra los efectos del nutriente limitante, así como el impacto que tiene la iluminación en el crecimiento de las microalgas.

Recomendaciones

Se recomienda estudiar la implementación de iluminación roja dentro del reactor, mediante lámparas tubulares y manteniendo la intensidad a 1500 lúmens, para que el cultivo de microalgas reciba de forma homogénea la iluminación. Asimismo, se propone cambiar los difusores de aire tubulares por unos de placa porosa, de modo que se le pueda brindar al cultivo una microaireación desde toda la base del fotobiorreactor. De esta forma se espera lograr un cultivo de microalgas con mayor grado de homogeneidad, al evitar la sedimentación de la biomasa y maximizar su producción en este equipo. Ambas recomendaciones pueden ser enfoque de futuros estudios.

Bibliografía

Alami, A. H., Alasad, S., Ali, M., & Alshamsi, M. (2020). Investigating algae for CO2 capture and accumulation and simultaneous production of biomass for biodiesel production. *Science of The Total Environment*, 143-529.

Aléman-Nava, G. S., Muylaert, K., Cuellar Bermudez, S. P., Depraetere, O., Rittmann, B., Parra-Saldívar, R., & Vandamme, D. (2017). Two-stage cultivation of *Nannochloropsis oculata* for lipid production using reversible alkaline flocculation. *Bioresource Technology*, 226(1). 18-23

- Anderson, D., Sweeney, D. & Williams, T. (2015). *Estadística para Negocios y Economía*. 12ª ed. Cengage Learning, México
- Audesirk, T. et al. (2012). *BIOLOGÍA. La Vida en la Tierra con Fisiología*. 9ª ed. México: Pearson.
- Bi, Z., & He, B. (2020). Biodiesel from microalgae. *Handbook of Microalgae-Based Processes and Products*, 329-371. doi:10.1016/b978-0-12-818536-0.00013-0
- Chisti, Yusuf. (2007). «Biodiesel from microalgae». *Biotechnology Advances*. 5 (25): 294-306.
- Eriksen, N. (2008). The technology of microalgal culturing. *Biotechnology Letters*, 30(9), 1525-1536.
- Ganesan, R. et al. (2020). A review on prospective production of biofuel from microalgae. *J. of Biotechnology Reports*, 27(1). 1-13.
- Gharagozloo, Patricia & Drewry, Jessica & Collins, Aaron & Dempster, Thomas & Choi, Christopher & James, Scott. (2014). Analysis and modeling of *Nannochloropsis* growth in lab, greenhouse, and raceway experiments. *Journal of Applied Phycology*. 26.
- Guillard, R. (1975). Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. pp 26-60. In Smith W.L. and Chanley M.H (Eds.) *Culture of Marine Invertebrate Animals*. Plenum Press, New York, USA.
- Hu, Q. (2004). Environmental Effects on Cell Composition. In Richmond, A., *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology* (pp. 83-93). Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
- Lee, J. (2009). *Biochemical Engineering*. Estados Unidos: Washington State University. 945 págs.
- Moreno, J, et al. (2016). *De Residuo a Recurso. El Camino hacia la Sostenibilidad*. España: Ediciones Mundi-Prensa. 329 págs.
- Tortora, G., Funke, B. y Case, C. (2007). *Introducción a la microbiología*. Panamá: Médica Panamericana.

Emprendimiento en Guatemala: Mapa de intervenciones y análisis de brechas ASPIRE-GEDI

MA. José Rodrigo Valdés Cruz / jrvaldes@uvg.edu.gt

Proyecto ASPIRE, Centro de Procesos Industriales, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, 2023.

RESUMEN: El presente análisis de brechas consiste de un mapeo de las intervenciones relacionadas al emprendimiento de los programas que desarrollan los proyectos Alianzas Sostenibles para la Innovación, Investigación y Emprendimiento (ASPIRE) y la Iniciativa del Desarrollo del Emprendimiento en Guatemala (GEDI). El objetivo del mapa es poder tener un mejor panorama de las acciones que se están realizando dentro del proceso emprendedor (pipeline) de Guatemala.

Este reporte parte de la premisa que el lector está familiarizado con el entorno de competitividad, crecimiento económico y emprendimiento de Guatemala, y busca ser un punto de partida para la discusión de iniciativas y futuras actividades de los proyectos mencionados. Este análisis y mapeo de brechas supone una nueva integración de marcos relacionados al emprendimiento para poder evaluar las intervenciones de proyectos de innovación y emprendimiento.

PALABRAS CLAVE: Emprendimiento, Proceso emprendedor, análisis de brechas, mapeo de intervenciones, innovación, USAID.

Entrepreneurship in Guatemala: Interventions map and gap analysis ASPIRE-GEDI

ABSTRACT: This gap analysis consists of a mapping of the interventions related to entrepreneurship of the programs developed by the Achieving Sustainable Partnerships for Innovation, Research, and Entrepreneurship (ASPIRE) and the Guatemala Entrepreneurship Development Initiative (GEDI) projects. The goal of the analysis is to provide a better overview of the actions that are being carried out within the entrepreneurial process (pipeline) in Guatemala.

This report is based on the premise that the reader is familiar with the environment of competitiveness, economic growth, and entrepreneurship in Guatemala, and it seeks to be a starting point for the discussion of initiatives and future activities of the mentioned projects. This gap analysis and mapping supposes a new integration of frameworks related to entrepreneurship to be able to evaluate the interventions of innovation projects and entrepreneurship.

KEYWORDS: Entrepreneurship, gap analysis, entrepreneurial pipeline, intervention map, innovation, USAID.

Introducción

Sobre el estado del emprendimiento de Guatemala

Guatemala es un país reconocido por su buena estabilidad macroeconómica y por ser un país de *ingreso medio superior* en la región centroamericana. Además de esto, varios reportes como el Monitor Global de Emprendimiento (GEM) a lo largo de los años, han concluido que Guatemala es un país emprendedor. La asociación de Guatemala y el concepto de emprendimiento es tan alta que una reciente publicación de *Remitly*, empresa internacional de envío de remesas, que integró la data de búsquedas de los “trabajos más deseados [buscados]” entre 2021 y 2022, resaltó que el trabajo más deseado para Guatemala es el de ser emprendedor.

Entre las consideraciones más importantes, asociada a la frase que “Guatemala es un país emprendedor”, está en que la población general de guatemaltecos considera que el emprendimiento es una buena oportunidad de desarrollo económico (GEM, 2022). Los guatemaltecos son tan emprendedores que el país posee la cuarta Tasa de Emprendimiento Temprano (TEA) más alta del mundo (28.3%) (GEM, 2022).

La fotografía inicial para Guatemala es prometedora: a pesar de que a simple vista se concluye que la mayoría personas caracterizadas como emprendedores en Guatemala son hombres, al ver el detalle se aprecia que las mujeres representan más del 40% del total de emprendedores del país. Esto es relevante si se considera que más del 60% de las mujeres se dedican a las tareas del hogar. Es importante destacar que las características del emprendedor también son positivas. El deseo de emprender en los jóvenes es latente, más del 50% de los emprendedores tienen menos de 34 años de edad. El potencial es aún mayor al comprender que a mayor grado de escolaridad hay más y mejores emprendedores. Finalmente, es esperanzador ver que muchos de los emprendedores guatemaltecos tienen la ambición de crear negocios que generen empleo (GEM, 2022).

A pesar de todo esto, las características del emprendedor no lo son todo. La realidad de los emprendimientos también es importante. Se reporta que muchos de los negocios solo sirven a sus comunidades o municipios; 6 de cada 10 operan desde la informalidad, debido a la falta de acompañamiento y complejidad del proceso, y 7 de cada 10 están orientados al servicio de consumo (tiendas de barrio, ventas de ropa, ventas de fruta, panaderías, librerías) evidencia de la falta de propuestas innovadoras. Lo más sorprendente es que la mayoría (48%) de los emprendimientos no generan ningún empleo (GEM, 2022), un dato que plantea dudas sobre la premisa que Guatemala es un país emprendedor.

El entorno en el que se desarrollan los emprendimientos tampoco es favorable: hay poca disponibilidad de financiamiento y en especial de capital semilla (ISKRA, 2021). La primera barrera se da al momento de evaluar las opciones de productos financieros, pocos se adaptan a las necesidades reales del

emprendedor. La segunda barrera se da cuando a pesar de las limitaciones del producto, los emprendedores no logran acceder a estos servicios dado que no cumplen con los requisitos de crédito. Existen algunas excepciones, como productos financieros específicos y desarrollo de programas para brindar capital semilla. Lamentablemente, muchas de estas iniciativas carecen de una difusión masiva y los usuarios potenciales desconocen de la existencia de los mismos (ISKRA, 2021).

Existen programas de acompañamiento como incubadoras y aceleradoras que proponen aportar al crecimiento y escalabilidad por medio de asesorías y programas de desarrollo de capacidades. El factor determinante es que el alcance de estos programas es limitado, no hay una masa crítica de emprendimientos con cuales trabajar. La razón principal es que hay una evidente falta de trabajo previo a la incubación que resulta en pocos emprendimientos atractivos, pues carecen de propuestas de valor interesantes para estas organizaciones.

Es importante reconocer que sí existen políticas públicas de apoyo al emprendedor como: la Ley de Promoción del Desarrollo Científico y Desarrollo Nacional, el Plan Nacional de Innovación y Desarrollo y la Ley del Fortalecimiento del Emprendimiento. Sin embargo, alineado a los resultados de las entrevistas del Monitor Global de Emprendimiento (2022), el verdadero reto de estas iniciativas está en que se hagan operativas, tengan continuidad y logren un impacto positivo real. El mayor vacío en este tema está relacionado al acceso a capital semilla bajo esquemas comprobados como los matching funds y fondo de fondos (ISKRA, 2021). Un ejemplo de una mala implementación es el caso del apoyo al sector emprendedor para mitigar el impacto negativo de la COVID-19, a pesar de que existían fondos estos se entregaron por medio del sistema bancario comercial, reduciendo el alcance dado las dos barreras ya mencionadas.

El desarrollo de capacidades es algo bien mapeado y que ha recibido suficiente atención en Guatemala. La mayoría de programas y esfuerzos tienden a dividirse en dos grupos: el desarrollo de habilidades de manejo de negocios y el desarrollo de habilidades técnicas. Existen casos de éxito en cada área como Bantrab, Alterna y las universidades del país para el primer grupo; y el INTECAP para el segundo grupo (ISKRA, 2021).

A pesar de ello, existe una gran falta de conocimiento de los emprendedores sobre temas como: estudios de mercado, innovación, productos financieros, temas legales y planificación. Esta deficiencia empieza a explicar el por qué los negocios se quedan en la informalidad y no crecen. Desde la perspectiva del acompañamiento, hace falta un incremento en tres etapas del desarrollo de las empresas: más dirección, acompañamiento y orientación en la fase inicial (Emergente) de la empresa; más conocimiento de finanzas, productividad, comercialización y transferencia tecnológica en la etapa de consolidación (Temprana y Crecimiento); y un mayor acompañamiento en procesos de exportación, producción, innovación productiva y mercados en las etapas de aceleración (Crecimiento y Madurez) (ISKRA, 2021).

Aseverando esto, es necesario detenerse en el tema de la innovación y transferencia de conocimientos y tecnología. La falta de apoyo al desarrollo y comercialización de innovaciones es una clara debilidad del ecosistema emprendedor de Guatemala (GEM, 2022). A pesar de contar con una política y un ente dedicado (SENACYT) para velar por esto, son pocos los emprendimientos de alto valor agregado que se desarrollan en Guatemala. Resulta más sorprendente cuando recordamos la alta tasa de TEA que tiene Guatemala. La alta tasa de emprendimiento puede ser un reflejo de la falta de alternativas de generar ingresos por mercados laborales (como trabajador asalariado).

Desde una perspectiva de innovación y generación de nuevos negocios, la fotografía presenta claras brechas y oportunidades de mejora. En especial, cuando se evalúan los tipos de emprendimientos que desarrollan los guatemaltecos. La urgencia de generar ingresos ya mencionada obliga a los emprendedores a idear muy poco y copiar modelos “exitosos”. Desde esta perspectiva no resulta sorprendente que los negocios en Guatemala sean poco sofisticados y poco innovadores (ISKRA, 2021).

El hallazgo más importante de esta síntesis es que Guatemala es un país emprendedor pero poco competitivo. La realidad es que la mayoría de guatemaltecos se ven en una posición de emprender sin acompañamiento, asesoría y apoyo financiero mientras continúan siendo afectados por los altos niveles de desigualdad y un entorno poco habilitador para los negocios y movilidad social.

Materiales y Métodos

Marco conceptual

Con la intención que el mapeo y análisis tenga mayor validez y familiaridad con el resto de reportes y productos relacionados al ecosistema de innovación y emprendimiento de Guatemala, se optó por tomar como base dos marcos teóricos: uno para el proceso emprendedor (pipeline) y el otro para definir las etapas de emprendimiento.

Monitor Global de Emprendimiento (GEM)

El Monitor de Emprendimiento Global (GEM) es un reporte mundial para Guatemala, permite conocer las características propias del emprendedor, de su negocio y de sus actitudes y percepciones de cara al entorno en donde desarrolla sus actividades. Esta información ha sido plasmada en la entrega de doce reportes nacionales de emprendimiento y varias

investigaciones académicas, que se han convertido en referencia permanente para diagnosticar la situación del emprendimiento en el país. A través del GEM ha sido posible ubicar a Guatemala en el mapa de emprendimiento a nivel mundial, al contar con estadísticas comparables con otros países y regiones.

El GEM mide la actividad emprendedora en cada país, identifica los principales factores que la explican, caracteriza el contexto institucional y cultural dentro del cual ocurre y compara estos resultados entre los países que participan del estudio.

Sobre el proceso emprendedor

En este reporte se utilizará el proceso emprendedor que plantea el Monitor Global de Emprendimiento (GEM). El GEM considera que el emprendimiento es un proceso compuesto por un emprendedor, una idea de negocio y cinco fases:

- **Emprendimiento potencial:** cuando el negocio está en la mente del emprendedor.
- **Concepción:** proceso de convertir una idea en un negocio tangible.
- **Negocio naciente:** cuando el emprendedor ya ha comprometido recursos por iniciar el negocio pero este no ha generado ingresos.
- **Negocio nuevo:** cuando el negocio naciente ha generado ingresos por un periodo inferior a 3.5 años.
- **Fase de persistencia:** la curva conocida como valle de la muerte.
- **Negocio establecido:** cuando un negocio ha generado ingresos por un periodo superior a 3.5 años.
- **Negocio discontinuado:** cuando un negocio se ha vendido o se ha interrumpido.
- **Tasa de Actividad Emprendedora Temprana (TEA):** suma de negocios nacientes y negocios nuevos.

La Red Aspen de Emprendedores para el Desarrollo (ANDE)

“La Red Aspen de Emprendedores para el Desarrollo (ANDE) es una red global de organizaciones que impulsan el emprendimiento en economías emergentes. Los miembros de ANDE proveen servicios fundamentales de soporte financiero, educativo y de desarrollo de negocio a Pequeñas Empresas en Crecimiento (PEC), basados en la convicción de que estas últimas generan empleos, estimulan el crecimiento económico a largo plazo, y producen beneficios sociales y ambientales.

¹ Extracto tomado de “Acorda de ANDE” y “Acorda de este reporte”, consultado el 4 de marzo de 2023 en: https://ecosystems.andeglobal.org/assets/document/Snapshot_Guatemala_ES.pdf

Figura 2: El proceso emprendedor y sus definiciones en el GEM

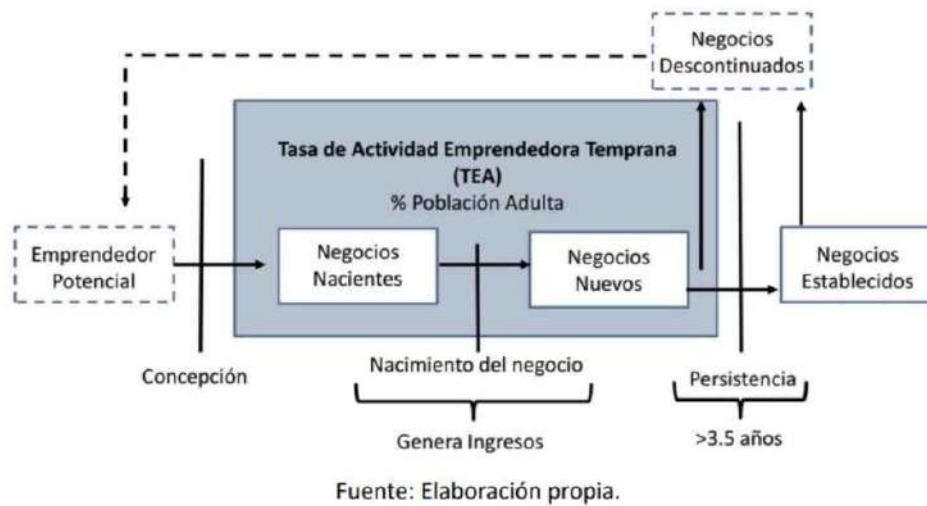


Figura 1. El proceso emprendedor (GEM, 2022).

El capítulo de Centroamérica y México de ANDE, con oficinas en la Ciudad de México y en la Ciudad de Guatemala, fue lanzado en 2010 con el objetivo de crear una plataforma que apoya a todos los actores relevantes del ecosistema de PEC local, a través de capacitación, diseminación del conocimiento, facilitación de presentaciones entre personas y fomento a la colaboración.” (ANDE, 2022)

Sobre las etapas de apoyo al emprendedor

“Los Mapeos del Ecosistema de ANDE están diseñados para recoger información básica sobre el apoyo disponible para las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPyMEs) en una ciudad, región, o país en específico. Esta información funge como un censo de los actores locales y refleja un momento específico en el tiempo. La metodología del Mapeo del Ecosistema Emprendedor tiene un enfoque en las organizaciones activas del ecosistema. La investigación es realizada principalmente por equipos locales que involucran a estas organizaciones a lo largo del proceso.” (ANDE, 2021)

Cada Mapeo consiste de un análisis compuesto de dos reportes y un directorio de organizaciones. Los reportes son el Mapeo del Ecosistema Emprendedor de Guatemala Rural y el Mapeo del Ecosistema Emprendedor de Guatemala: Informe de género. El directorio para Guatemala cuenta con el mapeo de 118 organizaciones y con una descripción de variables como sector de enfoque, servicios, población y etapas en las que apoya.

Las etapas de apoyo a las que hace referencia mapeo son las siguientes:

- **Idea:** Los empresarios tienen un poco más que una idea no desarrollada, por lo que el enfoque está en probar la idea e identificar un producto que se ajuste al mercado.
- **Emergente:** La empresa está en proceso de establecerse.
- **Temprana:** La empresa empieza a funcionar, sin embargo, el volumen de gastos comúnmente supera a los ingresos, por lo que se necesita inversión para potenciar la demanda, ya que es posible que no genere utilidades de manera inmediata.
- **Crecimiento:** Se demuestra crecimiento estable o escalable y es probable que sea rentable.
- **Madurez:** Empresa que probablemente haya alcanzado ganancias estables y cuyo crecimiento se puede haber ralentizado.

Comparativo de etapas GEM-ANDE

Con el objetivo de comprar marcos, dado que el proceso emprendedor utiliza 7 fases y la metodología de ANDE define 5 etapas de apoyo al emprendedor, la siguiente tabla compara las fases con las etapas de apoyo, proveyendo una guía para establecer la equivalencia entre los dos marcos conceptuales.

Cuadro 1. Comparativo Fases del GEM con Etapas de Apoyo de ANDE.

| <i>Fases, GEM</i> | <i>Etapas de apoyo, ANDE</i> |
|--|--|
| Emprendimiento potencial: cuando el negocio está en la mente del emprendedor. | Idea: Los empresarios tienen un poco más que una idea no desarrollada, por lo que el enfoque está en probar la idea e identificar un producto que se ajuste al mercado. |
| Concepción: proceso de convertir una idea en un negocio tangible. | Idea: Los empresarios tienen un poco más que una idea no desarrollada, por lo que el enfoque está en probar la idea e identificar un producto que se ajuste al mercado. |
| Negocio naciente: cuando el emprendedor ya ha comprometido recursos por iniciar el negocio pero este no ha generado ingresos. | Emergente: La empresa está en proceso de establecerse. |
| Negocio nuevo: cuando el negocio naciente ha generado ingresos por un periodo inferior a 3.5 años. | Temprana: La empresa empieza a funcionar, sin embargo, el volumen de gastos normalmente supera a los ingresos, por lo que se necesita inversión para potenciar la demanda, ya que es posible que no genere utilidades de inmediato. |
| Fase de persistencia: la curva conocida como valle de la muerte. | Crecimiento: Se demuestra crecimiento estable o escalable y es probable que sea rentable. |
| Negocio establecido: cuando un negocio ha generado ingresos por un periodo superior a 3.5 años. | Madurez: Empresa que probablemente haya alcanzado ganancias estables y cuyo crecimiento se puede haber ralentizado. |
| Negocio discontinuado: cuando un negocio se ha vendido o se ha interrumpido | No se considerará esta fase. |

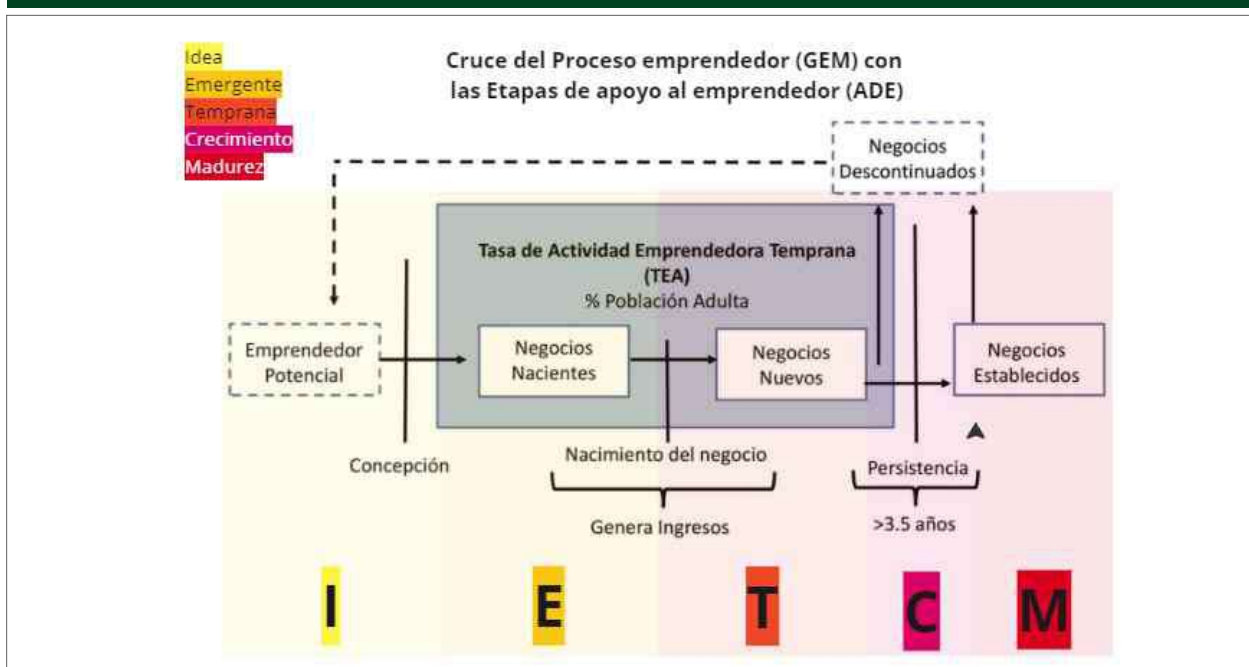


Figura 2. Cruce del Proceso Emprendedor con las Etapas de Apoyo al emprendedor.

Proyectos

Este reporte está elaborado como una herramienta de apoyo y un punto de partida para el desarrollo de sinergias entre proyectos. En esta primera iteración se enfoca en el mapeo de las iniciativas de los proyectos ASPIRE y GEDI, ambos financiados por USAID. Estos proyectos están enfocados en fortalecer el ecosistema de emprendimiento de Guatemala a partir del desarrollo de iniciativas y trabajo conjunto con otros actores del ecosistema.

El mapeo también considera dos proyectos que abordan la temática de apoyo al ecosistema emprendedor de Guatemala y que tienen relación con la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y USAID. El primero es el proyecto Creando Oportunidades Económicas (CEO) financiado por USAID y el proyecto Red Emprende, ejecutado por UVG y financiado por Unión Europea. La intención de mapear estos proyectos es tener una vista más completa.

Alianzas Sostenibles para la Innovación, investigación y Emprendimiento (ASPIRE)

El proyecto *Alianzas Sostenibles para la Innovación, Investigación y Emprendimiento* (ASPIRE) tiene el objetivo de crear un modelo replicable de clase mundial sobre cómo las universidades latinoamericanas y sus colaboraciones con el sector privado, gobierno y comunidades locales, pueden responder a las necesidades locales y regionales de desarrollo. El proyecto pone en práctica un enfoque de colaboración para la investigación, la enseñanza, la innovación, el espíritu empresarial y la transferencia de tecnología, basado en la combinación de activos y conocimientos locales con la experiencia de MIT en el ecosistema de la innovación.

Desarrollo del Emprendimiento en Guatemala (GEDI)

La *Iniciativa para el Desarrollo del Emprendimiento en Guatemala* (GEDI) es una iniciativa de tres años implementada por La Red Aspen de Emprendedores para el Desarrollo (ANDE) y financiada por USAID y socios del sector privado para fortalecer el ecosistema empresarial para pequeñas empresas en crecimiento en comunidades afectadas por la migración. GEDI fomenta un ecosistema de emprendimiento más robusto al ayudar a las empresas a superar los desafíos para acceder a los servicios de asesoramiento empresarial, los programas de incubación o aceleración y el acceso a la financiación y a los mercados, GEDI construye un sistema de apoyo al emprendedor para que las empresas puedan incrementar sus ingresos, empleo y desarrollar nuevos bienes y servicios que satisfagan estas necesidades de la comunidad.

GEDI cuenta con 9 iniciativas en desarrollo actualmente por las siguientes 8 organizaciones:

1. Pomona Impact
2. Alterna
3. Fundes
4. Earth University
5. INCAE Business School

6. Red Global de Empresarios Indígenas
7. Mercy Corps
8. Multiverse

Otros proyectos

Además del proyecto ASPIRE y GEDI, es importante tener conocimiento sobre otras iniciativas financiadas por USAID en Guatemala y con las que cuenta la Universidad del Valle de Guatemala relacionadas a emprendimiento y desarrollo económico:

Creando Oportunidades Económicas (CEO)

El Proyecto Creando Oportunidades Económicas, financiado por USAID, apoya las condiciones y estimula directamente el crecimiento económico en Guatemala para crear empleos y reducir la migración irregular. A través de un enfoque impulsado por el mercado, el proyecto coordina los esfuerzos del sector privado con actores claves nacionales y locales para promover el comercio y la inversión, movilizar el financiamiento del sector privado, actualizar la infraestructura productiva y fortalecer la competitividad del sector privado.

Red Emprende

El proyecto RED EMPRENDE, Ecosistema de emprendimiento y empleo digno para 1500 jóvenes y mujeres del departamento de Sololá, Sacatepéquez y Chiquimula, es una iniciativa conjunta de Fundación CODESPA, PRODETUR ONG y la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). Por otro lado, el Centro Universitario de Oriente (CUNORI) es una iniciativa de la Universidad de San Carlos de Guatemala, financiada por la Unión Europea.

El objetivo de RED EMPRENDE, es mejorar los niveles de acceso a empleo digno de jóvenes y mujeres rurales en situación de alta vulnerabilidad contribuyendo a la mejora en la calidad de vida de sus comunidades y el pleno respeto a sus derechos.

Recopilación de información

Para el presente análisis se desarrolló una autoevaluación en formato de encuesta que completaron los siguientes actores:

- Pomona Impact
- Alterna
- Fundes*
- Earth University
- INCAE Business School*
- Red Global de Empresarios Indígenas
- Mercy Corps*
- Multiverse

Es importante notar que estas organizaciones trabajan en otros programas propios o de otros donantes, que a su vez pueden tener impacto en el proceso emprendedor de Guatemala. En ese marco, la autoevaluación consultó a cada organización las

Etapas de apoyo y área de acción de cada proyecto (ASPIRE, GEDI y Red Emprende)

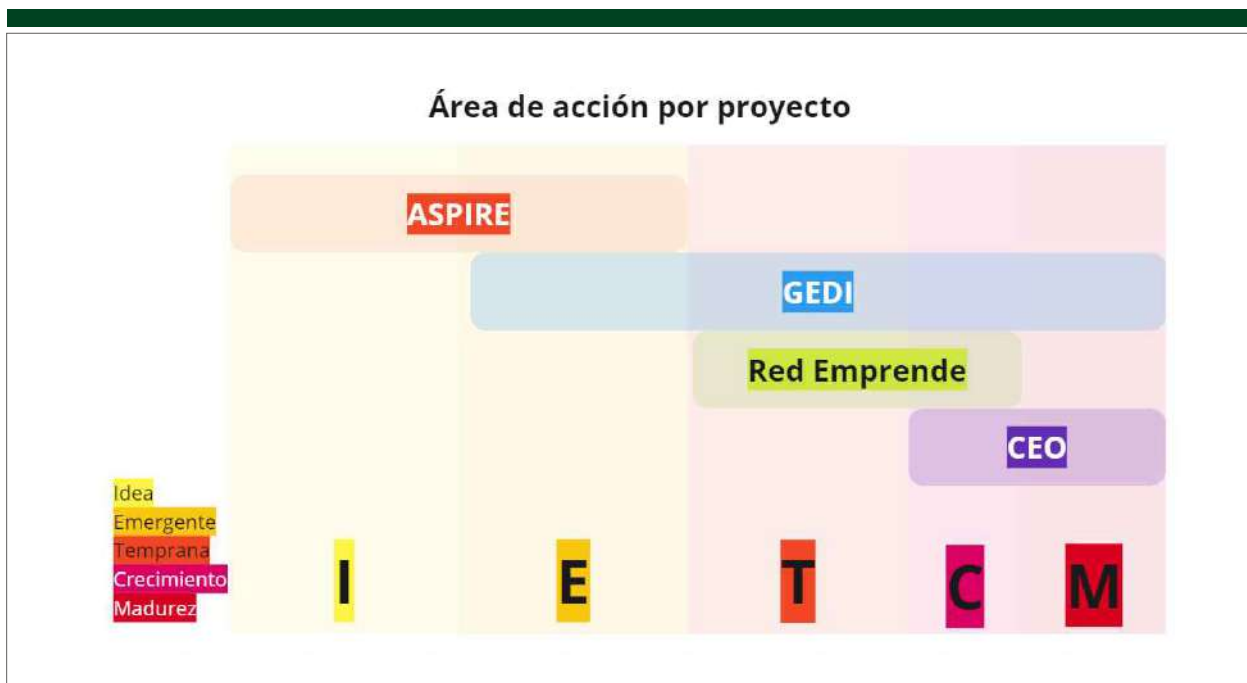


Figura 3. Área de acción por proyecto.

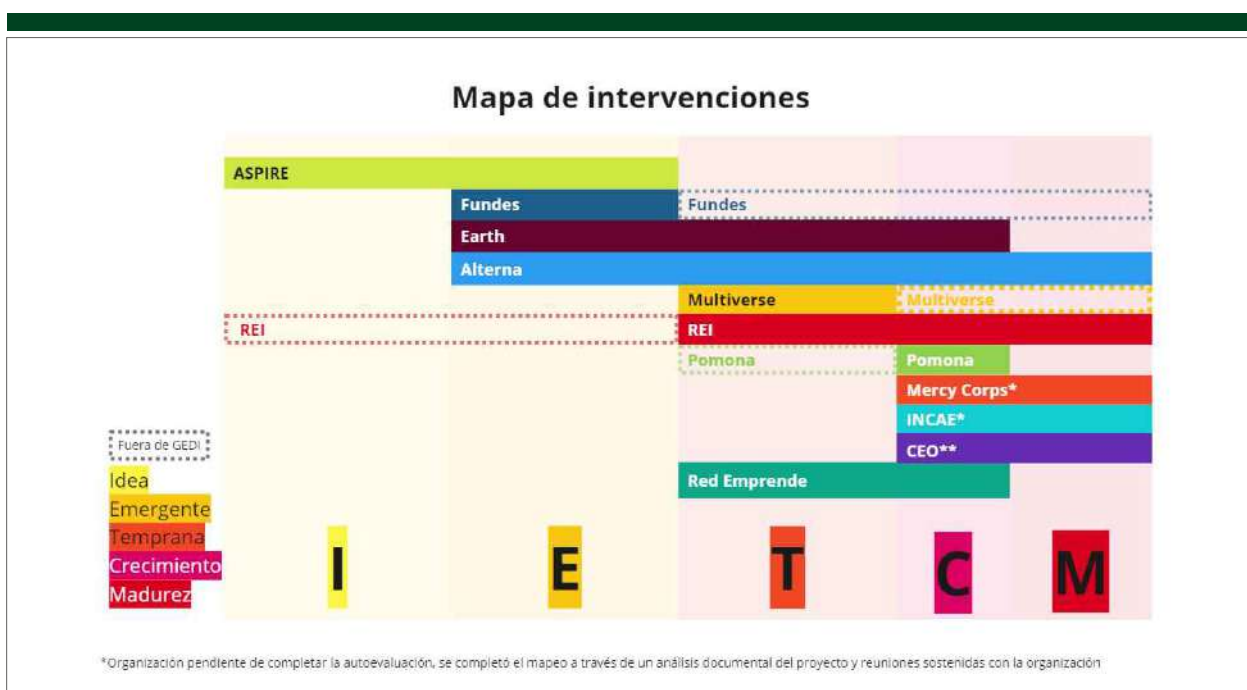


Figura 4. Mapa de intervenciones.

etapas que trabaja la organización y la etapa que está trabajando desde el proyecto GEDI.

Mapeo de iniciativas (pipeline)

El mapeo de iniciativas se desglosa de la siguiente manera:

- El proceso emprendedor y etapas de apoyo del emprendedor

- Área de acción de cada proyecto (ASPIRE, GEDI y Red Emprende).
- Mapa de intervenciones por proyecto
- Desglose de área de apoyo de cada proyecto y organización

Desglose de área de apoyo de cada proyecto y organización

Cuadro 2. Etapas de apoyo por proyecto.

| <i>Proyecto</i> | <i>Etapas de apoyo del proyecto</i> | <i>Organización</i> | <i>Etapas de apoyo</i> |
|-----------------|---|-------------------------------------|---|
| ASPIRE | Idea, Emergente y Temprana | Centro de Emprendimiento | Idea, Emergente |
| Red Emprende | Temprana, Crecimiento | Programa único | Temprana, Crecimiento |
| GEDI | Emergente, Temprana, Crecimiento, Madurez | Pomona | Temprana ^{*2} , Crecimiento |
| | | Alternia | Emergente, Temprana, Crecimiento, Madurez |
| | | Fundes | Emergente, <i>Temprana*</i> , <i>Crecimiento*</i> , <i>Madurez*</i> |
| | | Earth University | Emergente, Temprana, Crecimiento, Madurez |
| | | INCAE | Crecimiento, Madurez |
| | | Reg Global de Empresarios Indígenas | <i>Idea*</i> , <i>Emergente*</i> , Temprana, Crecimiento, Madurez |
| | | Mercy Corps | Crecimiento, Madurez |
| | | Multiverse | Temprana, Crecimiento [*] , <i>Madurez*</i> |

Área de acción por proyecto

A partir del mapeo de Área de acción por proyecto, es posible apreciar que entre los proyectos dan cobertura a las cinco fases de apoyo al emprendedor. Es importante hacer mención de que los proyectos mapeados no atienden a las mismas poblaciones, todos tienen objetivos y están enfocados en grupos de trabajo distintos. ASPIRE está enfocado en atender necesidades de emprendedores de la Comunidad UVG y emprendedores miembros de Agexport en las fases de Idea y Emergente. Mientras que GEDI por medio de los 8 programas mencionados atiende poblaciones que desarrollan negocios en áreas rurales y urbanas algunas en etapa Emergente y Temprana, y la mayoría de programas en las etapas de Crecimiento y Madurez.

Con respecto al Proyecto ASPIRE, se ve una clara alineación con sus objetivos de trabajo en el área de Emprendimiento e Innovación. ASPIRE está enfocado en trabajar con los emprendedores potenciales de la Universidad del Valle de Guatemala y el proceso de concepción de negocios a partir de fomentar una cultura de emprendimiento en la universidad y el desarrollo de emprendimientos en ciencia y tecnología.

En el caso de GEDI y sus 8 programas responden de manera coherente a los retos del Mapeo del Ecosistema Emprendedor de Guatemala elaborado por ANDE en 2020. A partir de este documento se evidencia que GEDI está fortaleciendo cuatro de los principales retos mapeados: falta de acceso a financiamiento

² Etapa de apoyo que trabaja la organización fuera del proyecto GEDI.



Figura 5. Principales retos que enfrentan los emprendedores en Guatemala Rural.

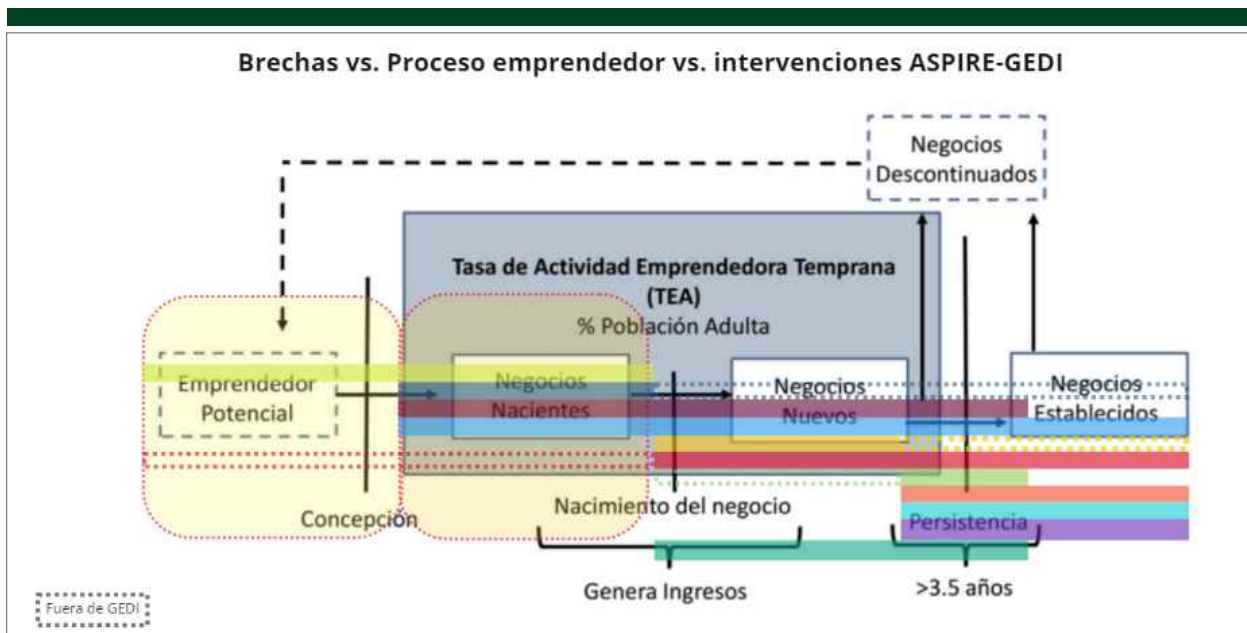


Figura 6. Brechas vs. Proceso Emprendedor vs. Intervenciones ASPIRE-GEDI.

o capital de crecimiento, falta de habilidades o educación, falta de acceso o acceso limitado a mercados y falta de valor agregado de productos.

Mapa de intervenciones

El mapa de intervenciones permite observar a mayor detalle lo qué está haciendo cada organización. Al igual que en el apartado anterior, es importante notar que el mapa no especifica la población o audiencia objetivo de cada organización. Esta información se puede consultar en el análisis de stakeholders trabajado anteriormente.

Del mapa de intervenciones destaca Alterna como la organización con mayor claridad, a partir de la respuesta *autoevaluación*, sobre la necesidad de acompañar desde una etapa Emergente a los emprendedores. Earth University y REI al trabajar con áreas agrícolas reconocen que en el espectro de emprendedores con que trabajan es amplio, por lo que sus iniciativas no discriminan sobre la etapa sino en la función y objetivo del negocio. En el

caso de Fundes, Pomona, Multiverse, Mercy Corps, INCAE y Red Empeñe, es claro que tienen claro el objetivo de su intervención y lo que desean potenciar.

De esta vista es posible identificar que la mayoría de iniciativas de GEDI están enfocadas en emprendimientos en etapa Temprana, buscan fortalecerlos durante su Crecimiento hasta llevarlos a una etapa de Madurez. Desde la perspectiva de ASPIRE-GEDI, los proyectos coinciden en que brindan apoyo durante la etapa Emergente. El vacío más grande está en la etapa de Idea y etapa Emergente de los emprendimientos.

Brechas

Como en todo proceso, la funcionalidad del mismo depende directamente del *input* y el completar satisfactoriamente cada fase. Visto de esta manera, hay un evidente vacío en las primeras dos etapas de apoyo al emprendedor. En especial cuando se considera que el proyecto ASPIRE está enfocado en trabajar con la Comunidad UVG.



Figura 7. PPorcentaje de Organizaciones por etapa de enfoque (ANDE).

Esta vista no excluye que hayan grandes desafíos en otras etapas de apoyo al emprendedor. De hecho, el Mapeo del Ecosistema Emprendedor de Guatemala elaborado por ANDE (2021) establece que las etapas de mayor enfoque son: la etapa Temprana, seguida por la Emergente y la etapa de Crecimiento. Siendo la etapa de Ideación y etapa Madura las más rezagadas

Sin embargo, el análisis regional de Cenpromype-ISKRA Innovation (2021) enfatiza que el primer paso es dirigirse a fortalecer la cultura de emprendimiento. Abordando la discriminación, falta de cooperación, desconfianza y miedo, por medio de intervenciones de acompañamiento para crear habilidades y competencias de innovación más allá de lo técnico. La falta de innovación requiere un cambio de mentalidad y eso comienza con el emprendedor.

Los reportes de ANDE e ISKRA concluyen que la falta de financiamiento en etapas tempranas es un elemento crítico para el área rural y urbana, y que requiere investigación y propuestas. La falta de recursos en etapas tempranas es necesario para evolucionar de la idea al prototipo y reducir la probabilidad del fracaso en cuanto estos decidan consolidarse.

Se ha encontrado que esto no aplica solo para Guatemala, toda la región tiene una tendencia similar, en donde el capital para etapas tempranas es escaso e inadecuado. Los beneficios de enfocarse en esta etapa, especialmente en prototipar y producir productos mínimo viables, son comprobar que es posible crear algo funcional, que exista un mercado para ello y en especial el de crear una cultura en donde se aprenden a tomar riesgos calculados. El riesgo de invertir en crear valor y poco a poco evolucionar de una comercialización de productos de baja sofisticación y competitividad, a una cultura en donde se incrementen las habilidades del negocio y la competitividad de todo el ecosistema (ISKRA, 2021). En este sentido, hay evidencia que el trabajo en las etapas tempranas con acompañamiento y capital semilla es necesario, en especial para abordar el tema del miedo y el riesgo, que no es un tema

solo para los emprendedores, es específico para los inversionistas. Pues estos tienden a ser reacios a invertir por el alto riesgo que conlleva.

Finalmente, el mapeo evidencia que es necesario continuar prestando atención a la fase de desarrollo de capital humano y desarrollo de capacidades. Tanto zonas urbanas como rurales requieren de un sistema educativo que permita completar los ciclos, pero también que se empiecen a abordar los temas de emprendimiento e innovación desde edades más tempranas, no solo a nivel técnico y superior.

Conclusiones

A pesar de las limitaciones y retos a nivel país, Guatemala tiene el potencial de desarrollar más emprendimientos que sobrevivan los 3.5 años de operación y que generen empleo, desarrollo y prosperidad. Los distintos reportes, mapeos y diagnósticos han establecido una correcta ruta de trabajo, pero esta requiere un enorme esfuerzo de articulación entre actores y esfuerzos conjuntos. Los problemas sistémicos de políticas públicas, desarrollo de capacidades y financiamiento se pueden operativizar desarrollando programas integrales, colaborativos e inclusivos.

El área de acción de los proyectos ASPIRE y GEDI está muy enfocada dentro del proceso emprendedor de Guatemala. ASPIRE está apuntando al trabajo articulado entre varios actores del ecosistema y en fortalecer una comunidad específica, permitiendo validar las acciones para replicarlos en otras comunidades en el futuro. Por su parte, los programas de GEDI responden a cuatro necesidades específicas que están identificadas como prioritarias: falta de acceso a financiamiento o capital de crecimiento, falta de habilidades o educación, falta de acceso o acceso limitado a mercados y falta de valor agregado de productos. GEDI está dedicado a fortalecer la ruta del proceso de la etapa de apoyo al emprendedor más descuidada: la etapa de Madurez (negocio establecido).

A pesar que los proyectos ASPIRE y GEDI no representan el total de los esfuerzos, proyectos y organizaciones con programas que trabajan en desarrollar el ecosistema, es posible identificar que el mayor vacío existe en la etapa de Idea (emprendedor potencial) y Madurez (negocio establecido). Con respecto a la etapa de Idea, a pesar de contar con varios actores que se dedican a desarrollar capacidades, muy pocos están enfocados en dar acompañamiento a los emprendedores potenciales y que están consolidándose.

Lo que más destaca de la etapa de Idea es la gran necesidad de programas que brinden capital semilla a los emprendedores, así como fondos que sirvan para la creación de prototipos, productos mínimo viables y validación de productos.

En adición a la necesidad de capital semilla, es necesario que los fondos de inversión, aceleradoras, inversionistas ángeles y el sistema financiero del país comprendan que la competitividad de los emprendimientos mejorará hasta que se empiece a crear y apoyar a los emprendedores desde las etapas iniciales. Subsidiar las etapas tempranas para generar eficiencia de factibilidad técnica y atractivo comercial es vital para atraer más recursos y así poder mover con mayor tasa de éxito los emprendimientos hacia las siguientes etapas. Dentro de este marco, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Priorizar la mejora de la competitividad de los emprendimientos apoyando a las fases iniciales del emprendimiento (Idea y Emergente), enfatizando en el desarrollo de una cultura de emprendimiento tecnológico y de innovación.
- Establecer estrategias conjuntas para velar por la operativización de las iniciativas de políticas públicas enfocadas en el desarrollo científico y de innovación como: Ley de Promoción del Desarrollo Científico y Desarrollo Nacional, el Plan Nacional de Innovación y Desarrollo y la Ley del Fortalecimiento del Emprendimiento.
- Desarrollar mayor y mejor investigación sobre las necesidades de los emprendedores en etapas tempranas, enfocadas en los retos y requerimientos de financiamiento y consolidación del negocio.
- Establecer alianzas público-privadas que trabajen por desarrollar soluciones, servicios y productos financieros centrados en las necesidades de los emprendedores para etapas tempranas (Idea y Emergente), tales como: premios, becas, matching funds y fondos de fondos.
- Establecer programas de desarrollo de capacidades en temas, que se asumen están cubiertos, pero que son desconocidos para muchos emprendedores como: estudios de mercado, productos financieros, temas legales, exportación y producción.
- Desarrollar y apoyar actividades, eventos, programas e iniciativas dirigidas a los emprendedores y emprendimientos en las fases de Idea y Emergente. Algunos ejemplos de estas iniciativas incluyen el Volcano Summit, Fondo Latinoamericano de Inversión de Impacto (FLII) y otros similares.

Agradecimientos

Reporte elaborado por: MA. Rodrigo Valdés, Coordinador de Emprendimiento e Innovación, Proyecto Alianzas Sostenibles para la Innovación, Investigación y Emprendimiento (ASPIRE).

ASPIRE extiende un especial agradecimiento por su apoyo y asesoría a:

- Álvaro Figueredo, Director de la Oficina de Transferencia Tecnológica, Universidad del Valle de Guatemala.
- Alissa Moen, Project Manager, Iniciativa para el Desarrollo del Emprendimiento en Guatemala (GEDI), ANDE.
- Evelyn Hernández, Coordinadora Senior de Programas, ANDE Program Associate Central America and Mexico.

Bibliografía

CENPROMYPE-ISKRA Innovation (2021) *Reporte final del Diagnóstico Regional como Base para la Formulación de Estrategia de Desarrollo Empresarial con Enfoque en Innovación para la MIPYME*. Manuscrito no publicado.

Global Entrepreneurship Monitor (GEM) (2022) *Monitor Global de Emprendimiento (GEM) Guatemala reporte nacional: 2021-2022*. Universidad Francisco Marroquín, Guatemala. Consultado el 26 de febrero de 2023 en: <https://gem.ufm.edu/wp-content/uploads/2022/06/GEM-Guatemala-2021-2022.pdf>

Red Aspen de Emprendedores para el Desarrollo (2021) *Mapa del Ecosistema Emprendedor: Guatemala Rural*. Consultado el 26 de febrero de 2023 en: https://ecosystems.andeglobal.org/assets/document/Snapshot_Guatemala_EN.pdf

Anexos

Resultados de encuesta

Encuesta para GEDI: Enfoque de programas para Emprendedores

Anwar SuárezJavier FrescoJorge GarcíaMiguel CurruchichePablo ChacónPedro AlvaradoSabrina Vega0121(12.5%)1(12.5%)2(25%)1(12.5%)1(12.5%)1(12.5%)1(12.5%)

| Value | Count | |
|--------------------|-------|--|
| Anwar Suárez | 1 | <p>Nombre de la organización8 responses</p> <p>Alterna</p> <p>Pomona Impact Foundation</p> <p>UVG - Red Emrende</p> <p>UVG ASPIRE</p> <p>Universidad EARTH</p> <p>Red Global de Empresarios Indígenas: Capítulo Guatemala</p> <p>Multiverse</p> <p>FUNDES</p> <p>Posición que ocupa dentro de la organización8 responses</p> <p>Gerente de Proyectos</p> <p>Director</p> <p>Investigador principal</p> <p>Director de Emprendimiento e Innovación</p> <p>Coordinador de proyectos para Guatemala</p> <p>Director General</p> <p>Director del Hub Regional</p> <p>Gerente LATAM</p> |
| Javier Fresco | 1 | |
| Jorge García | 2 | |
| Miguel Curruchiche | 1 | |
| Pablo Chacón | 1 | |
| Pedro Alvarado | 1 | |
| Sabrina Vega | 1 | |
| | | |

1. ¿En qué etapa(s) están los emprendimientos que su organización apoya? Por favor seleccione todas aquellas opciones que apliquen.
8 responses

Copy

02468Idea: Los emprendedores tienen una idea por desarrollar, por lo que el enfoque está en probar la idea e identificar un producto que se ajuste al mercado. 3 (37.5%)3 (37.5%)5 (62.5%)5 (62.5%)7 (87.5%)7 (87.5%)7 (87.5%)7 (87.5%)3 (37.5%)3 (37.5%).

| Value | Count |
|--|-------|
| Idea: Los emprendedores tienen una idea por desarrollar, por lo que el enfoque está en probar la idea e identificar un producto que se ajuste al mercado. | 3 |
| Emergente: El emprendimiento está en proceso de establecerse. | 5 |
| Temprana: El emprendimiento empieza a funcionar sin embargo el volumen de gastos normalmente supera a los ingresos, por lo que se necesita inversión para potenciar la demanda ya que es posible que no genere utilidades de inmediato. | 7 |
| Crecimiento: El emprendimiento demuestra un crecimiento estable o escalable y es probable que sea rentable. | 7 |
| Madurez: El emprendimiento probablemente ha alcanzado ganancias estables y su crecimiento se puede haber ralentizado. | 3 |

1.1. Si marcó más de una opción en la pregunta anterior (1), ¿podría nombrar si tiene programas específicos para cada etapa?8 responses

Tenemos distintos proyectos y programas sectoriales con o sin aliados directos, que aplican las metodologías de Alterna para perfiles que llamamos "básico", "inicial", "avanzado" y para perfiles que por su nivel de trayectoria requieren una metodología "profunda" que normalmente pueden acceder o estar cerca de acceder a fondos/préstamos/inversión. Estos programas y proyectos pueden ser realizados puntualmente o algunos han tenido/tienen distintas ediciones.

Ejemplos:

- Proyecto en el marco de GEDI por ejemplo, contempla metodologías para perfiles entre "emergente y temprana" y para perfiles entre "crecimiento y madurez": <https://gedi.alterna.pro/>
- Proyecto junto a Cenpromype: para perfiles entre "crecimiento y madurez" <https://empresarias.alterna.pro/>
- Si. Incubación y Aceleración
- No tenemos programas específicos, es un solo programa que abarca dos etapas, la etapa temprana en donde hay un emprendimiento ya existente y está en etapa informal con ventas relativamente bajas en donde formamos capacidades y estrategias y una segunda etapa pensada en crecer para generar trabajo. El programa se denomina "La ruta de Emprendimiento UVG Sololá"
- Tres programas en proceso de creación: CREA Formación - Etapas de ideación; UVG VMS - Etapa idea, emergente y temprana; CREA mi negocio. Todas están en etapas de formación y estarán disponibles en los siguientes meses.
- No tenemos programas específicos para cada etapa, porque nuestro programa fue diseñado para emprendimientos de etapa temprana-avanzada, sin embargo en campo hemos tenido que adaptarnos a las condiciones en las que se encuentran las organizaciones de agricultores.
- En el proceso de formación que implementamos se han definido 3 niveles de manera cronológica que apunta a las etapas de idea, emergente y temprana. En otro eje de trabajo nos enfocamos al crecimiento de las empresas en actividades comerciales.
- Sigue siendo el mismo programa pero intentamos agrupar a los emprendedores con otros que están en la misma etapa. Además tenemos un programa específico para las Ideas, que es un curso digital. Y tenemos consultorías individuales para los más maduros
- Sí, FUNDES hace intervenciones a la medida, lo que permite atender necesidades apremiantes de los y las beneficiarios con enfoques transversales de género, digitalización, inclusión financiera. Creemos en el desarrollo de diagnósticos que nos ayudan a identificar el mejor plan de acción acorde al momento de la empresa.

2. ¿En qué etapa(s) están los emprendimientos que su organización apoya bajo el programa GEDI? Por favor seleccione todas aquellas opciones que apliquen. 8 responses

Copy

01234Idea: Los emprendedores tienen una idea por desarrollar...Emergente: El emprendimiento está en proceso de establecerse...Temprana: El emprendimiento empieza a funcionar...Crecimiento: El emprendimiento demuestra un crecimiento estable o escalable y es probable que sea rentable...Madurez: El emprendimiento probablemente ha alcanzado ganancias estables y su crecimiento se puede haber ralentizado.

| Value | Count |
|--|-------|
| Idea: Los emprendedores tienen una idea por desarrollar, por lo que el enfoque está en probar la idea e identificar un producto que se ajuste al mercado | 2 |
| Emergente: El emprendimiento está en proceso de establecerse | 2 |
| Temprana: El emprendimiento empieza a funcionar sin embargo el volumen de gastos normalmente supera a los ingresos, por lo que se necesita inversión para potenciar la demanda ya que es posible que no genere utilidades de inmediato | 4 |
| Crecimiento: El emprendimiento demuestra un crecimiento estable o escalable y es probable que sea rentable. | 3 |
| Madurez: El emprendimiento probablemente ha alcanzado ganancias estables y su crecimiento se puede haber ralentizado. | 2 |

2.2. Si marcó más de una opción en la pregunta anterior (2), ¿podría detallar el nombre del programa y la etapa específica que apoya cada programa? 8 responses

JMG

Ya contestado anteriormente

n/a

Solo marqué una

Por medio del eje estratégico de Formación y desarrollo de negocios y el eje de desarrollo comercial, en el que trabajamos en el fortalecimiento de la gestión empresarial y el encadenamiento de valor para la comercialización los productos y servicios.

NA

Desarrollamos cursos virtuales y manuales de negocio con conocimientos transversales (ventas, tecnología, etc) y específicos acorde al momento de la empresa.

¿Hay algo más que quisiera compartir sobre sus programas o el enfoque de ellos? 5 responses

n/a

JMG

Los programas mencionados están en etapa de diseño. Buscan ofrecer servicios en la etapa temprana del emprendimiento para luego conectar con otros actores.

Nuestro programa está enfocado emprendimientos de organizaciones de productores agrícolas (OPAs), la complejidad que existe en estas empresas asociativas conlleva retos al utilizar herramientas estandar de emprendedurismo. Pero estamos encantos con lo que hacemos y siempre buscando innovar.

NA

Retos de Gestión Colectiva en el Turismo Comunitario de Guatemala

Dra. Doris Eugenia Martínez Melgar

Departamento de Turismo Sostenible, Facultad de Ciencias y Humanidades

Resumen

El turismo comunitario recibe gran impulso en Guatemala alrededor del 2005 cuando el Estado se abre a diálogos permanentes con pueblos indígenas desde la administración pública, incluidos temas de manejo de recursos naturales. En ese contexto, el turismo comunitario surge como una alternativa económica viable para conservar dichos recursos, generando ingresos en comunidades rurales y empobrecidas. Aunque no existen registros ni datos oficiales que ayuden al análisis de impacto de estos emprendimientos, el criterio experto de la autora acompañando este proceso intenta dejar testimonio de las luchas, las dificultades y los aciertos de algunos emprendimientos icónicos del turismo comunitario en el país.

La Teoría del Gobierno de los Comunes de la Premio Nobel 2013, Elinor Ostrom, brinda un marco teórico muy a propósito para este análisis, ya que el turismo comunitario se realiza a través de procesos de gestión colectiva de recursos comunes, como lo son los patrimonios natural y cultural que constituyen los principales atractivos de las comunidades indígenas y campesinas que ha apostado por esta actividad productiva.

Las reflexiones personales basadas en este marco de análisis institucional pretender concluir en acciones puntuales que deben ser implementadas por el Estado de Guatemala y la cooperación internacional acompañante, para que el turismo comunitario sea realmente una herramienta de desarrollo rural integral.

Introducción

A lo largo de 18 años, la autora ha sido testigo de las duras pruebas y los grandes éxitos que con esfuerzo han superado y obtenido las comunidades rurales en torno al turismo

comunitario en Guatemala. Esta experiencia directa enmarcada en el análisis institucional del Gobierno de los Comunes (Ostrom, 1990), pretende brindar recomendaciones para la intervención de los actores externos (Estado y cooperación internacional) que tienen en sus manos apoyar y fortalecer estos procesos. La tesis es que el turismo comunitario es la forma más efectiva de aportar al desarrollo rural sostenible en Guatemala, ya que para ello se requiere llenar las brechas socioeconómicas que aún separan a los pueblos indígenas y comunidades rurales de esta realidad; requiere del respeto y fortalecimiento de las instituciones locales y ancestrales de manejo de recursos comunes (bosques, agua, paisaje, cultura) y permite y facilita la conservación de los recursos comunes, naturales y culturales que se constituyen en los principales atractivos turísticos del país.

El turismo en Guatemala

El turismo comunitario en Guatemala se encuentra muy relacionado a los segmentos de turismo cultural, de naturaleza y aventura, en continuo crecimiento en el país antes del cese de actividades por la Pandemia de COVID-19. Antes del estallido de la pandemia de COVID-19, según el INGUAT (2021), Guatemala recibió US\$ 1,790 millones de dólares del turismo en 2019. Ese número cayó en 2020 durante la pandemia hasta US\$ 637 millones, para recuperarse en 2021 y 2022 con US\$ 101.7 millones y US\$ 255.4 millones respectivamente (Banco de Guatemala, 2023).

A pesar de los buenos números que se leen en las estadísticas del INGUAT sobre la importancia de los ingresos turísticos en el país, llama la atención cómo los principales destinos se encuentran en municipios con porcentajes elevados de pobreza, como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Porcentajes de pobreza general por municipios turísticos en Guatemala para 2018.

| No. | Destino Turístico* | MUNICIPIO DEPARTAMENTO | % Pobreza general municipio 2018** |
|-----|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Zona Arqueológica de Tikal | Flores, Petén | 84% |
| 2 | Parque Arqueológico Quiriguá | Los Amates | 75% |
| 3 | Semuc Champey | San Agustín Lanquín, Alta Verapaz | 89% |
| 4 | Quetzaltenango | Quetzaltenango, Quetzaltenango | 34% |
| 5 | Chichicastenango | El Quiché | 83% |
| 6 | Lago de Atitlán | Panajachel, Sololá | 36% |
| 7 | Ciudad de Guatemala | Guatemala, Guatemala | 25% |
| 8 | Antigua Guatemala | Antigua Guatemala, Sacatepéquez | 33% |
| 9 | Basílica del Cristo Negro, Chiquimula | Esquipulas | 78% |
| 10 | Parque de Atracciones Xetulul | San Martín Zapotitlán, Retalhuleu | 43% |

* INGUAT, 2021 b

** INE, 2013

Esta realidad evidencia la necesidad de una planificación estratégica del turismo en términos territoriales - regionales que permita la participación de sectores sociales tradicionalmente excluidos de los beneficios económicos del turismo, entre ellos, las comunidades anfitrionas. Éstas, más que ser sólo los meseros, camareras, vendedores de artesanías o mendicantes en los principales destinos turísticos del país, merecen ser los beneficiarios directos de la puesta en valor de sus patrimonios natural y cultural que constituyen los principales atractivos del país. El turismo comunitario puede ser la vía para lograrlo.

A pesar de la importancia que pueda tener el turismo comunitario para lograr impactos positivos reales (económicos, sociales y ambientales) en el área rural, únicamente se cuenta con estadísticas parciales para algunos segmentos asociados, como el turismo de aventura o el turismo de naturaleza. Para el turismo de aventura se calcula (INGUAT, 2019b) que genera al rededor de US\$ 370,000 para el 2018, siendo Estados Unidos, El Salvador y México los principales mercados emisores. Para el turismo de naturaleza se cuenta concretamente con datos de aviturismo, y se calcula que para el 2018 este segmento generó US\$ 800 mil millones, siendo el mercado emisor más importante Estados Unidos, seguido de El Salvaro y Canadá (INGUAT, 2019b).

A pesar de estos esfuerzos y datos parciales en segmentos asociados, aún se necesitan datos para visibilizar mejor el turismo comunitario. Tampoco se cuenta con un concepto nacional, oficializado por INGUAT de lo que se entenderá en Guatemala como turismo comunitario, ni se guarda registro ni localización de los emprendimientos de turismo comunitario existentes o cuáles son sus ofertas turísticas específicas (Samayoa, J. Com. Pers. 2023).

De hecho, existe un debate aún en curso en América Latina sobre el concepto de Turismo Comunitario. Enrique Cabanilla (2018), hace una muy buena revisión de los conceptos que se han planteado desde 1980 a la fecha, indicando al final, más que un concepto, una serie de condiciones que debe incluir el turismo sostenible para llamarse comunitario. Éstas son:

1. Modelo económico de base local.
2. Ocurre tanto en comunidades de etnias ancestrales como en comunidades que no lo son.
3. Destaca el territorio comunitario como elemento trascendental de la actividad turística.
4. Estos territorios pueden ubicarse en zonas rurales muy remotas o en ámbitos peri-urbanos.
5. El principal atractivo es la relación entre la cultura y la naturaleza y la relación entre el visitante y la comunidad anfitriona.
6. Enfatiza el grado de control que la comunidad tiene en la planeación, manejo y aceptación de la actividad turística.
7. Asociado a la prestación de múltiples servicios turísticos.
8. No hay restricciones al tipo de inversión que puede ser comunitaria, mixta o privada, siempre que se respete el tema de distribución de beneficios comunitarios.
9. Íntimamente ligado al concepto de turismo sostenible y sus tres ámbitos de acción.
10. No busca lucro sino impactos positivos en la comunidad, tanto económicos, como en términos de conservación ambiental, así como impactos sociales positivos.

A falta de una mejor conceptualización de turismo comunitario, me atrevo a proponer que el turismo comunitario en Guatemala debe ser una forma de turismo sostenible planificada, gestionada, implementada, monitoreada y aceptada por la misma comunidad anfitriona, la cual distribuye las ganancias económicas y los beneficios sociales y ambientales del turismo de forma equitativa entre todos sus miembros. Esta gestión y planificación turística del territorio comunitario es posible gracias a una organización social respaldada por una serie de normas de gestión colectiva a través de la cuales se apropian y mantienen los recursos patrimoniales comunes que constituyen los principales atractivos turísticos.

En la práctica sí existen tour operadores nacionales y extranjeros que ofrecen destinos de turismo comunitario, especialmente en Petén, en la cuenca del Lago de Atitlán y en la región Caribe Verde (Verapaces e Izabal). Aunque algunos de estos empresarios sí respetan la organización local y velan por la distribución de beneficios a las comunidades locales, el mercadeo, la visitación y los dividendos hacia las poblaciones locales es aún incipiente.

Metodología

El Gobierno de los Comunes y el Turismo Comunitario

La política turística explícita del Estado de Guatemala, desde la promulgación de la Ley Orgánica del Institución Guatemalteco de Turismo, Decreto 1701 de 1967, ha sido la misma hasta nuestros días: impulsar el turismo a través de campañas de mercadeo más o menos efectivas, con el fin de atraer grandes inversiones de capital que puedan solventar así las carencias logísticas, de infraestructura, seguridad y capacitación que se constituyen en el contexto general del país para cualquier actividad productiva. Es decir, un turismo hacia afuera, conceptualizado para atraer inversión externa. Poco o nada se tenía en cuenta en aquellos años el fomento de la inversión de la pequeña y mediana empresa local y menos aún, la gestión turística por comunidades locales.

Desde la segunda mitad de los años dos mil, un interesante movimiento ha surgido desde comunidades indígenas y campesinas en el Altiplano Central y Occidental del país, especialmente por parte de aquellas que lograron sobrevivir al conflicto armado interno con sus estructuras ancestrales de organización y con una nueva generación más empoderada y mejor capacitada. Empezaron a ver en el turismo comunitario una forma de diversificar sus siempre exiguos ingresos a la vez que conservaban sus bosques y recursos naturales (agua, bosques, suelo, biodiversidad) y brindaban oportunidades laborales para evitar la migración de sus jóvenes. Con estas motivaciones claramente definidas, sus primeras herramientas

de gestión han sido las formas tradicionales de gestión colectiva que aplican para su organización interna y la gestión de sus recursos y territorios. Generalmente para estas comunidades, el turismo es una más de las actividades productivas basadas en los bosques, como podría ser el manejo forestal o la agroforestería.

El turismo comunitario gestiona recursos comunes, tanto tangibles como intangibles. Desde el patrimonio natural, gestiona la puesta en valor de la biodiversidad, formaciones geológicas o paisaje. Desde el patrimonio cultural gestiona bienes muebles e inmuebles (presentes y pasados), así como patrimonio cultural intangible, como tradiciones, cultura, técnicas y arte, entre otros.

En este ensayo se aplicará el marco de análisis institucional de gestión colectiva de la Dra. Elinor Ostrom (Premio Nobel de Economía 2013) quien, con sus ocho principios de diseño exitoso para la gestión colectiva de recursos comunes, brinda una ruta para la reflexión de aciertos y falencias para cualquier esfuerzo de gestión colectiva. El turismo comunitario en el contexto guatemalteco se adapta, sin duda, a este marco teórico de análisis.

Elinor Ostrom escribe en su libro *El Gobierno de los Comunes* (1990), cómo los recursos comunes no existen en un vacío normativo, en ningún lugar del mundo, a pesar de sus características intrínsecas que los hace vulnerables al rápido deterioro. Por ello, son los recursos comunes, tangibles o intangibles como el agua, los bosques, la biodiversidad o el paisaje, aquellos que más necesitan de instituciones locales que dicten normas de apropiación y de mantenimiento para garantizar su conservación y el beneficio y aprovechamiento que de ellos obtengan los usuarios que estén organizados para este fin. Dentro de este planteamiento es importante comprender el concepto de instituciones como los grandes acuerdos sociales que permiten el surgimiento de normas que rigen la organización social, especialmente en los aspectos de derechos y obligaciones de los usuarios a la apropiación y mantenimiento de los recursos comunes (Ostrom, 1990).

Para Ostrom, la mejor estrategia que pueden aplicar las organizaciones gubernamentales que velan por la conservación de recursos comunes, es conocer, entender, respetar y fortalecer las normas e instituciones que aplican las comunidades locales para el uso y mantenimiento de estos recursos. Sumar esfuerzos, no imponer visiones.

Para que los usuarios organizados por medio de instituciones locales y ancestrales (acuerdos y normas) logren obtener beneficios de los recursos que gestionan y protegen, es indispensable que cumplan en alguna medida con cada uno de los ocho principios que Ostrom (1997) señala para el éxito de la gestión colectiva de recursos comunes. Los principios detallados son:

1. **Límites claramente definidos:** tanto para el recurso en sí mismo, como límites territoriales claros, así como límites en tanto a los derechos de los usuarios sobre el recurso. Por ejemplo, certeza jurídica en cuanto a derechos de propiedad individual, privada o colectiva.
2. **Congruencia:** con respecto a los beneficios obtenidos por el esfuerzo de organización realizado. También se entiende como congruencia entre las normas de apropiación y mantenimiento en relación con el estado y características del recurso.
3. **Acuerdos colectivos:** Existe una vía clara para que los usuarios afectados por las normas de apropiación y mantenimiento del recurso puedan cambiarlas si fuese necesario.
4. **Supervisión:** existe un mecanismo constante y legítimo de supervisión sobre los usuarios que asegura que los acuerdos colectivos para el manejo del recurso son puestos en práctica.
5. **Sanciones proporcionales:** en caso de falta a los acuerdos colectivos, se aplican sanciones efectivas de acuerdo con la gravedad de la falta.
6. **Mecanismo para la solución de conflictos:** la gestión colectiva de recursos comunes trae consigo conflictividad a lo interno y externo del grupo organizado. Deben existir mecanismos efectivos, oportunos, legítimos y de bajo costo que medien la transformación de estos conflictos.
7. **Reconocimiento de derechos mínimos de organización:** Las autoridades externas no cuestionan los derechos que tienen los usuarios a construir y aplicar sus propias instituciones de manejo colectivo de estos recursos.
8. **Empresas anidadas en niveles múltiples de organización:** las instituciones para la gestión colectiva de un recurso local son respetadas, apoyadas, impulsadas por otros niveles de organización social que facilitan su proyección y fortalecimiento. El ámbito legal, político, logístico, reconoce los esfuerzos locales de apropiación y mantenimiento de recursos y los propicia.

Reflexiones metodológicas

No es posible presentar un marco metodológico estricto, ya que el estudio del turismo comunitario en Guatemala presenta de origen varias falencias. Sin embargo, sí es posible plantearse preguntas de reflexión claras:

1. ¿Es posible identificar las principales falencias del turismo comunitario en Guatemala como la falta de aplicación de uno o varios de los principios de Ostrom?

2. Por ende, la corrección en la aplicación de estos principios identificados ¿Podría ser una estrategia recomendable para la intervención para agentes externos (Estado y cooperación internacional)?

Debido a la carencia de datos duros, se reflexionará desde la experiencia de trabajo en dichos emprendimientos. Desde 2006 la autora ha presenciado el surgimiento, organización, planificación e implementación del turismo comunitario en diez comunidades agroforestales indígenas y campesinas, especialmente en el Altiplano Central Occidental del país. Asimismo, la autora ha podido visitar y revisitar los sitios al menos dos veces en los últimos 15 años, a excepción de Carmelita, al cual se le ha dado un seguimiento únicamente documental y por testimonios de terceros a lo largo de los años.

Para cada proyecto, la autora ha revisado documentos legales y técnicos sobre la conformación de las Asociaciones y Cooperativas, le ha dado seguimiento a la organización social o a las inversiones en infraestructura. Ella misma ha facilitado capacitaciones, planificaciones turísticas, planes de negocio, evaluaciones externas de medio término y finales de proyectos de cooperación y estatales, así como otros aportes técnicos.

Limitantes metodológicas

En ninguno de los casos de turismo sostenible existe una línea base levantada que haya identificado indicadores de monitoreo en lo social, ambiental o económico. Algunos casos sí cuentan con listados de biodiversidad, especialmente flora y aves, entre los cuales podrían escogerse indicadores biológicos que sirvan para diseñar monitoreos de impacto turístico. Se carece también de evaluaciones de impacto sistémicas o puntuales sobre el desempeño de la mayoría de los proyectos. No existe un registro oficial de los emprendimientos de turismo comunitario en Guatemala, ni del aporte económico que representa este sector. Tampoco las comunidades llevan este registro. Lo mismo sucede con los montos de ingresos reales de actividades conexas como hospedaje o alimentación en emprendimientos comunitarios.

Presentación de los estudios de caso

A continuación, una breve descripción de los estudios de caso utilizados como ejemplo y objeto de reflexión. Se hace la salvedad que no son los únicos, ni los mejores o peores ejemplos de turismo comunitario en el Altiplano Central y Occidental de Guatemala. Simplemente son los que se han acompañado del 2006 a la fecha. En el Mapa 1 vemos su ubicación geográfica.



Figura 6. Brechas vs. Proceso Emprendedor vs. Intervenciones ASPIRE-GEDI.

1. **Corazón del Bosque:** Aldea El Novillero, Santa Lucía Utatlán (41% de pobreza general municipal, URL 2018), Sololá. Emprendimiento surgido de la Asociación Agropecuaria y Artesanal para el Desarrollo La Guadalupeña, fundada en 1955. Se trata de una de las cooperativas más antiguas del país, habiendo superado la persecución a cooperativas del Conflicto Armado Interno y varios reveses económicos. Cuentan con un bosque de pino-encino de 40 Ha a 2200 msnm. El bosque es propiedad privada colectiva de la Cooperativa y en él se desarrolla el proyecto de turismo comunitario desde 1990, siendo uno de los emprendimientos de turismo comunitario más antiguos del país. El área fue declarada como Reserva Natural

Privada en 2015. Han contado con múltiples apoyos de instituciones nacionales (INTECAP, INGUAT, UVG, Utz Che'), así como de instituciones internacionales (fundación SOROS, BID, entre otras), ganando premios por su excelente gestión. Muy activos en cuanto a redes nacionales de segundo y tercer nivel, así como redes de campesinos forestales a nivel internacional. Su principal producto turístico es la observación de aves endémicas regionales como el chipe de cabeza rosada *Cardellina versicolor* y el turismo religioso, especialmente para grupos evangélicos, católicos y practicantes de la espiritualidad maya. Cuentan con cabañas para alojamiento en el bosque y restaurante (UVG-CEAB, 2006).

2. **Instituto Mesoamericano de Permacultura**, Caserío Pachitutul, San Lucas Tolimán (71% de pobreza general municipal, URL 2018), Sololá. A 1400 msnm se encuentran a la orilla del lago de Atitlán, en un ecosistema de bosque latifoliado húmedo. IMAP fue fundado en el año dos mil con el objetivo de proteger la soberanía alimentaria, conservar la biodiversidad de semillas nativas y promover la educación agroecológica. En 1018 inician el proyecto de turismo comunitario “El Santuario de las Aves”, ofreciendo como producto principal el avistamiento del colibrí endémico regional *Doricha enicura* o Colibrí Tijereta (Slender sheartail). Cuentan con hospedaje y alimentación, así como venta de artesanías locales. Participan en múltiples redes nacionales e internacionales de pueblos indígenas organizados por la soberanía alimentaria y protección de semillas nativas (ENTREMUNDOS, 2023a).
3. **CoAtitlán**, cantón Tzanchaj, Santiago Atitlán (84% de pobreza general municipal, URL 2018) Sololá. Se trata de la Cooperativa Integral Agrícola Atitlán El Paraíso Tzutujil R.L. dedicados al acopio de café en pergamino para pequeños productores locales, socios y no socios. Se encuentran ubicados a 1400 msnm, en bosque húmedo subtropical. Desde 2018 ofrecen un tour de café por las parcelas de los socios, explicando a detalle todo el proceso de beneficiado. El tour termina con una degustación de café en un laboratorio muy bien equipado con baristas locales certificados. Han contado con apoyo de la Asociación Nacional del Café - ANACAFE -y ganando ya varios premios por la calidad del café que producen sus asociados. Actualmente trabajan en la construcción de un coffee shop y restaurante (ENTREMUNDOS, 2023b).
4. **Senderos Naturales Loma Linda**, El Palmar (60% de pobreza general municipal, URL, 2018) Quetzaltenango. Finca privada comunitaria con bosque nuboso de baja altura, a 1400 msnm y bosque muy húmedo tropical, en los que producen agrocultivos bajo sombra. La iniciativa turística surge en 2015 por un comité de turismo adscrito a la Asociación de Desarrollo Integral de Loma Linda (ASODILL). Ofrecen senderos para el avistamiento del Quetzal (*Pharomachrus mocinno*) y otras aves de interés. Se visitan también pozas y cascadas espectaculares en el cauce del río Ocós. Cuentan con un pequeño alojamiento para 12 personas y servicio de alimentación prestado por mujeres de la comunidad. (ENTREMUNDOS, 2023c)
5. **Finca El Vergel**, Federación Comercializadora de Café Especial de Guatemala -FECCEG - en San Rafael Pie de la Cuesta (45% de pobreza general municipal, URL 2018), San Marcos. Finca privada de FECCEG donde tienen parcelas experimentales para la aplicación de fertilizantes orgánicos y diferentes métodos de cultivo de café. La finca presenta una extensión considerable de bosque húmedo tropical, a 1300 msnm. FECCEG se funda en 2006, para la protección de pequeños productores de café, comercializando sus productos orgánicos a nivel nacional e internacional. En 2021 inician con el proyecto de hospedaje en cabañas ecológicas y dos senderos hacia cascadas espectaculares (136 m de caída). Recientemente trabajan en un orquideario, tour de café, juegos extremos y área de camping con vistas a los volcanes Tacaná y Tajumulco y hacia las planicies de la Costa Sur (ENTREMUNDOS, 2023d)
6. **Chajil Siwan**, Parcialidad Chuamazán, Totonicapán (79% de pobreza general municipal, URL, 2018). Se trata de una Parcialidad (familia extensa indígena que controla un territorio forestal), con bosques naturales de pinabete (*Abies guatemalensis*) en un ecosistema húmedo montano a 2600 msnm. La iniciativa turística surge de la experiencia en manejo forestal de la Parcialidad, quien en conjunto con un complejo sistema de pesos y contrapesos locales y ancestrales, ha gestionado y conservado el bosque de Totonicapán en diferentes figuras de tenencia y propiedad. Como parte de este complejo sistema cultural, Chuamazán tiene importantes nexos políticos y técnicos con redes nacionales e internacionales que los han apoyado en la implementación del proyecto turístico. Cuentan con restaurante y un sendero por los bosques naturales de pinabete (Helvetas, 2019).
7. **Aviturismo y turismo rural en Unión Reforma**, Sibinal (75% de pobreza general municipal, URL 2018), San Marcos. Ubicados a 2900 msnm se encuentran rodeados por bosque montano húmedo subtropical. Apoyados por la Asociación de Agrodesarrollo Forestal Sostenible de Sibinal (ADAFIS), impulsa el avistamiento de Pavo de cacho *Oreophasis derbianus* y la visita a los cultivos de flores, apiario y elaboración de miel de la aldea Unión Reforma. Las vistas a los volcanes Tacaná y Tajumulco son espectaculares. Brindan el servicio de avistamiento de aves desde 2015 y se han organizado con otras comunidades alrededor para prolongar la visita del turista en la región. Se encuentran en fase de construcción de un albergue. Los bosques y el territorio en que su ubica la comunidad son de propiedad municipal (ENTREMUNDOS, 2023e)
8. **Ruta Ecoturística Comunitaria Puerta del Cielo**, Aldea Buena Vista, Todos Santos Cuchumatán (73% de pobreza general municipal, URL 2018), Huehuetenango. Ubicados a 3900 msnm se encuentran en un ecosistema de tundra y taiga. Los servicios turísticos se coordinan a través de la Asociación de Campesinos Forestales de Buena Vista - ADECAF. Desde el 2015 se ha impulsado el turismo comunitario a través de diferentes actores externos. En 2016 se logró la declaratoria de Parque Regional

Municipal, sin embargo, su manejo desde siempre ha sido un derecho directo de las comunidades aledañas al Parque y ADECAF ha dado seguimiento al proceso interno. Aunque cuentan ya con varios instrumentos de planificación, aún no se ha iniciado de forma efectiva el proyecto turístico. Recientemente terminaron la construcción de un restaurante y hospedaje con fondos de cooperación internacional (ENTREMUNDOS, 2023f)

9. Cooperativa Carmelita, San José (64% de pobreza general municipal, URL 2018), Petén. No se puede hablar de turismo comunitario en Guatemala sin incluir a la Cooperativa Carmelita, pioneros en el tema. La cooperativa surge en 1990 con el objetivo de administrar la Concesión Forestal Comunitaria entregada por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas en la Reserva de Biósfera Maya. Desde el año 2000 brindan el servicio de guía de la comunidad hasta El Mirador, ciudad maya del período Preclásico. También ofrecen servicio de alimentación y hospedaje. Han sido acreedores a varios premios nacionales e internacionales por la buena gestión de la concesión forestal (Merlet, 2011)

10. Caribe Maya: Livingston (69% de pobreza general municipal, URL 2018), Izabal. Iniciativa que ve la luz en 2013 y que pretende promover el turismo sostenible en el área de Izabal, Guatemala. Aglutina a seis proyectos comunitarios que brindan servicios de hospedaje, alimentación y senderos naturales. La iniciativa es liderada por la Asociación Ak Tenamit, quien cuenta con un mayor grado de organización, capacitación y experiencia en la prestación de servicios turísticos. Surge así una tour-operadora local que vende paquetes al destino, coordinando la llegada de los turistas a los diferentes emprendimientos comunitarios. El proyecto se desarrolla en terrenos con diferentes figuras de tenencia y propiedad (OIT, 2005).

En términos generales, todos los territorios analizados presentan un alto porcentaje de cobertura forestal que sería interesante cuantificar y comparar con el resto del país. Lo mismo aplica para la calidad de agua e indicadores de biodiversidad, como especies de aves endémicas regionales. Así mismo, todos los emprendimientos acá analizados han tenido la capacidad técnica, legal y organizacional de formular, obtener y gerenciar importantes proyectos de apoyo ante la cooperación internacional. Las redes de apoyo nacionales e internacionales han sido factor importante en este logro, evidenciando un alto capital social local, regional e internacional. Muchos de los líderes impulsores de proyectos de turismo han tenido la oportunidad de viajar al extranjero para encuentros de capacitación y fortalecimiento institucional, así como acceder a capacitaciones formales y no formales en diferentes temas técnicos.

Resultados del análisis

Con el fin de ilustrar la situación general de los 10 emprendimientos analizados, se trabajó en el Cuadro 2 una comparación del estado del cumplimiento de cada uno de los principios de Ostrom en dichos emprendimientos, de acuerdo con la evidencia que se expondrá a continuación y al criterio experto.

Se utiliza la metodología del semáforo para indicar en rojo, los principios que no se cumplen, en amarillo los que se cumplen en alguna medida y en verde los principios que sí se cumplen a cabalidad. Los emprendimientos que muestren mayores principios cumplidos (en verde), son aquellos que presentan una buena organización interna, normas y acuerdos colectivos, mecanismos de sanción, supervisión y solución de conflictos a nivel interno y que han sabido ganarse un espacio en el juego político local haciendo respetar sus derechos sociales y económicos.

En ningún momento estas reflexiones pretenden constituirse en juicios de valor sobre las acciones o avances de los emprendimientos. Cada emprendimiento ha recorrido un camino específico marcado por su contexto, su historia y sus posibilidades. Cada uno de ellos merece todo el respeto y admiración por el mero hecho de su existencia y su permanencia. El objetivo de esta comparación no es otro que tratar de responder a las preguntas de investigación arriba indicadas: encontrar algún patrón que nos indique cuáles son los principios cuya aplicación es estratégica para echar a andar el turismo comunitario en Guatemala.

Lo primero que salta a la vista en el Cuadro 2 es que IMAP, Carmelita, Corazón del Bosque y FECCEG cumplen casi a cabalidad con los 8 principios de gestión exitosa de recursos comunes de Ostrom. Esto se debe a tres factores:

- a. Estas organizaciones tienen al menos 20 años de conformación legal, lo que implica experiencia y lecciones aprendidas.
- b. La generación y aplicación de normas locales de gestión colectiva de recursos comunes a través del consenso en asambleas comunitarias y de cumplimiento obligatorio para socios.
- c. Los recursos económicos que han sabido gestionar con socios y aliados locales e internacionales (proyectos, donaciones). Esto ha permitido la generación de ingresos que ya distribuyen entre sus socios.

Los emprendimientos que más retos enfrentan son ADECAF y Caribe Maya, sobre todo por la fragilidad de su organización interna y la forma de distribución de beneficios a los socios, que aún no se hace efectivo, en parte porque aún no se generan los recursos económicos suficientes para hacerlo.

Cuadro 2. Comparación del grado de cumplimiento de los Principios de Ostrom en los emprendimientos analizados.

| PRINCIPIOS | | Corazón del Bosque 2006 | IMAP 2021 | CoAtitlán 2020 | FECCEG 2022 | ASODIL L 2018 | ADAFIS 2019 | ADECAF 2022 | CARME -LITA 2000 | Caribe Maya 2013 | Chajil Siwan 2016 |
|------------|--|-------------------------|-----------|----------------|-------------|---------------|-------------|-------------|------------------|------------------|-------------------|
| 1 | Límites claramente definidos | | | | | | | | | | |
| 2 | Congruencias entre beneficios, normas y recursos | | | | | | | | | | |
| 3 | Acuerdos colectivos | | | | | | | | | | |
| 4 | supervisión | | | | | | | | | | |
| 5 | sanciones proporcionales | | | | | | | | | | |
| 6 | mecanismos de solución de conflictos | | | | | | | | | | |
| 7 | respeto a los derechos mínimos de organización | | | | | | | | | | |
| 8 | empresas anidadas en otros niveles | | | | | | | | | | |

El contexto político-territorial es también adverso en ambos casos y el apoyo estatal inexistente.

Pasando al análisis de los principios, se hace la división en dos tipos: los principios de cumplimiento interno que dependen exclusivamente de la aplicación de instituciones y normas locales a lo interno de la comunidad. Esto son los principios 2, 3, 4, 5 y 6. Y los principios de cumplimiento externo (1, 7 y 8) que se ven influenciados por los actores externos a la comunidad, como municipalidad, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, por eso los llamaré de cumplimiento externo.

El principio 1, sobre límites claramente definidos es uno de los que muestra menor índice de cumplimiento en todos los casos, debido a la conflictividad de la tenencia de la tierra en el país. Los emprendimientos en verde son aquellos que cuentan con certeza jurídica sobre la propiedad de la tierra comunitaria y los miembros de la comunidad están claros sobre sus derechos en sus parcelas individuales y trabajan en consonancia con los objetivos turísticos y de conservación de la asociación. Chajil Siwan, está en amarillo: aunque los comunitarios tienen certeza sobre sus derechos en sus tierras comunales ancestrales y la municipalidad los respeta, es ésta última quien ostenta los derechos legales sobre esa tierra. Lo mismo pasa con ADAFIS y ADECAF, aunque el involucramiento con la municipalidad es disímil. En Chajil Siwan, la municipalidad respeta las instituciones locales de manejo de territorio y debido a las instituciones ancestrales que son fuertemente respetadas por todos los actores, muy difícilmente la municipalidad de Totonicapán rompería este equilibrio. Por su parte, las municipalidades de ADAFIS y ADECAF no tienen presencia física ni de gestión en Unión

Reforma y Buena Vista. Si bien no interfieren, tampoco apoyan las iniciativas de desarrollo de estas asociaciones, dejándolas con la tarea de la organización del desarrollo local, pero sin ningún apoyo político, legal ni económico, erosionando así la legitimidad de sus esfuerzos frente a algunos vecinos que no comparten los mismos objetivos de turismo y conservación. La falta de apoyo explícito por parte de las municipalidades, deja a estas asociaciones y sus proyectos, vulnerables a los vaivenes políticos del alcalde de turno.

Por su parte, la finca Loma Linda se encuentra en la misma situación que ADAFIS y ADECAF con respecto a su municipalidad, a excepción que el territorio es propiedad privada colectiva de la Iglesia Católica y de la comunidad. Por último, Caribe Maya presenta un mosaico de figuras de propiedad y derechos de uso en un territorio conflictivo políticamente, lo que aumenta la vulnerabilidad de los proyectos de turismo comunitario asociados. Es inexistente el apoyo municipal o de cualquier otra entidad del estado en cuanto al impulso del turismo o desarrollo local, aunque esta es una constante en todos los emprendimientos turísticos comunitarios en Guatemala. Dependen casi exclusivamente de apoyo de cooperación internacional para la inversión en infraestructura, planificación turística y mercadeo.

El segundo principio externo con menor cumplimiento es el de empresas anidadas. El primer círculo que debiera “anidar” a los emprendimientos locales de turismo comunitario debiera ser el apoyo municipal, al menos en cuanto a la prestación de servicios básicos. La mitad de los emprendimientos presenta alguna o varias carencias básicas: electricidad, agua potable, alcantarillas, teléfono, internet, acceso asfaltado o al menos

balastrado, tren de aseo municipal, sin mencionar educación, salud, trabajo, entre otros. Ciertamente estas carencias se constituyen en una barrera importante para desarrollo sostenible del área rural en todo el país y demuestran la incapacidad o falta de interés del Estado en paliar estas carencias. Si lo básico falta, apoyos más puntuales como promoción y mercadeo turístico, capacitación en manejo de empresas turísticas, planificación estratégica y estudios técnicos son inexistentes.

Con respecto al principio 7, sobre reconocimiento de derechos mínimos de organización, el Estado de Guatemala reconoce legalmente esos derechos de organización a todos los ciudadanos a través de la Ley de Consejos de Desarrollo Urbano y Local Decreto 11-2002. Sin embargo, es necesario hacer tres reflexiones prácticas: Primera, la ley reconoce como interlocutores legales frente al Estado a nivel comunitario, únicamente a los Consejos de Desarrollo Local que se instituyen dentro del marco de la Ley. Estos Consejos (COCODES) deben ser aprobados por el alcalde local para su funcionamiento, lo que no siempre ocurre si los integrantes son de un partido político diferente al gobierno municipal o si de alguna forma no están de acuerdo con el alcalde. Segunda, las comunidades indígenas aún conservan instituciones ancestrales de organización social y territorial que no son reconocidas legalmente por el Estado. Una de ellas es el sistema de tenencia y derechos de usufructo sobre la tierra, dejando en todos los casos, la propiedad legal de las tierras comunales a nombre de las Municipalidades locales, quienes no siempre son una representación legítima de los intereses comunitarios indígenas (CONAP-GPTC, 2009). Las autoridades ancestrales, como consejos de ancianos, cabeceras de pueblo, entre otros, también quedan fuera de cualquier diálogo con el Estado al negarles su reconocimiento legal. Tercera, la organización y gestión colectiva local es muy difícil de lograr en condiciones de pobreza y extrema pobreza que obligan a migrar a la mayor parte de la población. Aunque no es una negación activa de derechos, por omisión el Estado no ha cumplido con su obligación legal de velar por el cumplimiento de los derechos humanos socioeconómicos en poblaciones indígenas y rurales. Los indicadores sociales en áreas indígenas son siempre bastante más bajos que en áreas no indígenas, lo que hace ver la realidad de la estructura racista en que se funda el Estado de Guatemala (Wilson y Orantes, 2018). Sin salud, alimentación, trabajo, educación, seguro social, se hace complicado fortalecer derechos de organización social. La respuesta de la mayoría de la población rural ante esta negativa sistemática de derechos humanos básicos ha sido la migración irregular a Estados Unidos. Este caso es especialmente evidente en Unión Reforma, Sibinal, ya que en la comunidad quedan únicamente 18 familias. Más del 90% de la población en ese caserío ha migrado. La migración trae consigo conflictos sociales conexos, como la erosión de

los acuerdos locales de manejo de recursos naturales, oposición a las autoridades ancestrales, pérdida de la vivencia de comunidad, nuevos intereses económicos, nuevos valores sociales, lo que no es intrínsecamente malo, pero su adaptación lleva tiempo, con resultados y consecuencias imprevisibles.

alcantarillas, teléfono, internet, acceso asfaltado o al menos balastrado, tren de aseo municipal, sin mencionar educación, salud, trabajo, entre otros. Ciertamente estas carencias se constituyen en una barrera importante para desarrollo sostenible del área rural en todo el país y demuestran la incapacidad o falta de interés del Estado en paliar estas carencias. Si lo básico falta, apoyos más puntuales como promoción y mercadeo turístico, capacitación en manejo de empresas turísticas, planificación estratégica y estudios técnicos son inexistentes.

Aquellos emprendimientos marcados en verde en el principio 7, son los que cuentan con suficientes recursos económicos y legales para gestionar por sí mismos sus propias condiciones de desarrollo. Luego de un camino no exento de dificultades, han logrado abrirse espacio y darse una voz en diferentes ámbitos políticos y económicos.

La aplicación de los principios 2, 3, 4, 5 y 6 está más relacionada a factores internos, referentes a organización, legitimidad del grupo líder de la gestión colectiva, solidez y congruencia de las normas internas. Entre estos principios el número 2, sobre congruencia de los beneficios con respecto a los esfuerzos de organización se encuentra en su mayoría marcado con amarillo, ya que, al momento han sido más los esfuerzos que han debido realizar los organizadores que los beneficios que han tenido ellos mismos, sin hablar de los pocos o nulos beneficios económicos directos recibidos por la comunidad anfitriona en su totalidad. Las condiciones adversas de pobreza y falta de servicios básicos ralentizan los procesos de organización: además de trabajar en la organización, las personas deben conseguir lo suficiente para sobrevivir, ellas y sus familias. Una vez lograda esta meta, la preocupación por diversificar los ingresos se ha convertido en una motivación suficiente para impulsar los esfuerzos de organización. Sin embargo, la visita de turistas es aún mínima y los ingresos económicos acordes a ello. En varios de los emprendimientos existen personas que permiten el paso por sus parcelas familiares, o enriquecen el hábitat con plantas nativas que atraen aves, ceden el uso de un terreno donde se encuentra algún atractivo especial, o conservan bosque nativo sin recibir ningún tipo de compensación económica por su costo de oportunidad. Es urgente que los emprendimientos de turismo comunitario generen ganancias a corto plazo que puedan ser repartidas equitativamente entre quienes realizan el esfuerzo de organización social y manejo del recurso, entre quienes facilitan los medios para hacerlo y entre toda la comunidad en su conjunto. Aquellos

emprendimientos que se marcan en verde en este principio son los que llevan más tiempo operando (al menos 15 años) y ya han pasado a la etapa de consolidación del negocio.

En el caso de ADAFIS, la poca población de la aldea ha permitido una organización social sólida, en el entendido que los mejores aliados para el desarrollo son ellos mismos.

Así, han logrado gestionar apoyos para diferentes proyectos productivos que integran a todos los miembros de la pequeña comunidad, presentando hasta el momento una sólida organización interna, donde los beneficios son repartidos equitativamente, las normas son congruentes con las características del recurso, los acuerdos colectivos se respetan, los sistemas de monitoreo, supervisión, sanción y solución de conflictos funcionan adecuadamente. Esto es similar a lo que ocurre en Chajil Siwan, pero ellos cohesionados por las fuertes raíces de la cultura Kiche' y el respeto a sus instituciones ancestrales que promueven la vivencia de comunidad y los mecanismos de gestión colectiva de recursos comunes.

La situación de ADECAF marca el extremo opuesto ya que como organización social no cuenta con apoyo político municipal para impulsar los proyectos de desarrollo que propone a sus socios, repartidos en las diferentes comunidades de la cuenca alta de Todos Santos Cuchumatán. Por eso mismo, carecen de representatividad frente a todas las comunidades, pero su presencia y permanencia en la zona les ha dado algún reconocimiento que potencialmente les permitiría liderar de forma legítima procesos locales. De allí la importancia de fortalecer su presencia y su incidencia ampliando su membresía y el impacto positivo de los proyectos que gestiona. Las normas, acuerdos colectivos, mecanismos de supervisión, sanción y solución de conflictos son incipientes, pero con mucho potencial, debido a las raíces de la cultura Mam que los unifica y fortalece.

El caso de ASODILL es también muy similar, pero desde la realidad de una población mestiza marginalizada. Sin ningún apoyo municipal, la asociación no congrega a la mayoría de la población, mucha de la cual es indiferente al proyecto turístico ya que no representa para ellos ningún beneficio económico al momento.

Por su parte, Caribe Maya presenta también una membresía reducida, tanto en comunidades participantes como en número de asociados, lo que resta representatividad local, unido al aún bajo impacto positivo de los emprendimientos en el desarrollo socioeconómico del área. Además, existen diferentes niveles de organización y experiencia entre las asociaciones que lo integran. Esto provoca que algunas de ellas tengan la capacidad de ofrecer más servicios, mientras otras no, originando celos que no han sido ventilados con un sistema efectivo de solución de conflictos. La inestabilidad social en la zona producto de la actividad minera, palma

africana y narcotráfico ha provocado la declaratoria de varios estados de sitio, lo que tampoco ayuda para la promoción del turismo. Mucho debe invertirse aún en capacitación, planificación turística y organización interna de esta iniciativa para ampliar los impactos positivos que se esperan del proyecto, dado su gran potencial.

CoAtitlán también debe invertir en una mejor organización turística local, que permita una participación más activa de los socios, tanto en la prestación de servicios como en la distribución equitativa de beneficios. Esto aumentaría su impacto social, ya que el proyecto es viable en lo ambiental y económico.

Recomendaciones de manejo

El objetivo primario de este ensayo es dar recomendaciones a tomadores de decisión para el fortalecimiento del turismo comunitario en Guatemala, pensando principalmente en cooperación internacional y entidades públicas. A continuación, algunas ideas:

Estado

Se hace urgente e indispensable que el Estado garantice los derechos humanos básicos de las poblaciones del área rural en temas ineludibles como seguridad alimentaria, nutrición materno-infantil, educación de calidad, capacitación profesional, servicios de salud, servicios básicos (electricidad, agua potable, alcantarillas, tren de aseo), carreteras bien diseñadas y en buen estado, acceso a servicios financieros.

Sin contar con estas condiciones es difícil pensar en el cumplimiento de los principios de reconocimiento mínimo de organización y anidamiento institucional, y por consiguiente en el desarrollo del turismo comunitario.

Se deben apoyar y fortalecer las instituciones locales de manejo territorial y desarrollo económico local. Condición ineludible es contar con certeza jurídica sobre el territorio que se aprovechará turísticamente. La figura de Gestión Compartida de la Política de Administración Conjunta y Gestión Compartida del SIGAP (CONAP, 2015) ofrece una salida interesante para que asociaciones cogestoras como ADECAF, ADAFIS, Chajil Siwan, Caribe Maya, puedan tener un respaldo legal y un mayor "anidamiento" de sus acciones frente a la población y otros actores locales.

Se hace importante designar una dependencia interna en el Instituto Guatemalteco de Turismo que conceptualice, localice, registre, genere datos, monitoree y apoye emprendimientos de turismo comunitario y su impacto real en la economía, ambiente y sociedad local. Se podría pensar en una política pública que impulse el turismo comunitario con acciones concretas, respaldadas por una ley, reglamento, o programa de inversión para el desarrollo del producto. A la par, los

datos generados deben divulgarse por canales accesibles a toda la población. Estos datos deben propiciar un análisis estratégico conjunto entre actores académicos, gubernamentales, no gubernamentales y comunidades que permita una planificación territorial turística pertinente, inclusiva y eficaz.

Es ya urgente establecer una metodología científica, efectiva, de bajo costo, práctica y veraz que permita evaluar periódicamente los impactos del crecimiento turístico en Guatemala, especialmente en aquellos sectores de mayor importancia como generadores de divisas. La evaluación debe ser multicriterio, incluyendo indicadores sociales, ambientales y económicos.

El Instituto Guatemalteco de Turismo debiera también facilitar procesos de inscripción y registro de emprendimientos comunitarios, así como de capacitación y certificación de guías comunitarios y generales en estas comunidades. La distancia y el difícil acceso a centros de capacitación eleva los costos y vuelve inaccesible la capacitación. Así mismo, es importante fortalecer las capacidades en administración financiera de empresas turísticas, manejo de inventarios, rotulación y señalética, gestión de proyectos, aprendizaje del idioma Inglés.

Existen pocos, pero buenos precedentes de ferias locales de turismo promovidos por INGUAT, en las cuales se establecen contactos entre comunidades locales y tour operadores nacionales e internacionales. Es importante que se conozca la oferta existente y que las comunidades estén al tanto de los requerimientos de tour operadores para llevar turistas a sus emprendimientos. El Estado debiera fomentar estos encuentros de forma periódica, encontrando mecanismos eficientes para apoyar a las comunidades a llenar las brechas detectadas.

Por último, es muy importante que el Estado conozca las iniciativas de turismo comunitario que trabaja la cooperación internacional, con el ánimo de apoyar desde sus facultades a facilitar procesos, mediar conflictos y cerrar brechas.

Cooperación internacional

Muchas acciones se han impulsado ya en turismo comunitario por la cooperación internacional en el Altiplano Central y Occidental de Guatemala. Sin embargo, no se existe aún una evaluación de impacto estratégica, por región o por destino que evalúe impactos sociales, económicos y ambientales de los tantos emprendimientos de turismo comunitario financiados en un territorio turístico dado. Con estos datos generados es importante evaluar las líneas y enfoques de financiamiento de forma periódica, incluyen siempre en sus acciones el fortalecimiento de la organización local y la coordinación con actores gubernamentales.

Se deben acatar los pasos y requerimientos de las instancias gubernamentales en el tema del turismo sostenible: instrumentos de planificación, líneas de política, normativos y reglamentos, herramientas de gestión (capacidad de carga), registro unificado de visitantes, entre otros. Estos instrumentos generan a su vez información que coadyuva a una buena planificación turística, minimizando impactos y facilitando la distribución de beneficios a las comunidades anfitrionas. Un ejemplo de esto podría ser el impulso del proceso ante el CONAP para la inscripción de los Parques Regionales Municipales con gestión turística comunitaria bajo la figura de Gestión Compartida, dándole a las organizaciones locales el respaldo legal que necesitan para seguir atrayendo inversión al área.

Es también importante la consolidación de estas organizaciones locales a lo interno de la comunidad, para elevar la aceptación de la actividad turística por la mayoría de la población. Esto se puede hacer con visitas guiadas a los senderos, especialmente dirigidas a niños y jóvenes, con el fin de hacer educación ambiental, echar luz sobre la importancia de las normas y tradiciones culturales de la comunidad y resaltar la importancia de que toda la comunidad se involucre en los procesos turísticos. Con esto, la organización encargada podría elevar su nivel de aceptación y legitimidad ante el grueso de la población y mejorar los impactos sociales, económicos y ambientales del proyecto turístico. La misma comunidad u organización podría proponer otras formas efectivas, de acuerdo con sus tiempos y su cultura, de involucrarse en estos procesos.

Una herramienta útil para ampliar los impactos positivos del turismo es una planificación financiera que incluya la forma de distribuir los beneficios económicos, no sólo a los socios de las organizaciones locales, sino también a la mayoría de la población. Esta planificación debiera ser anual, basada en los ingresos percibidos, tomando en cuenta las prioridades de desarrollo de la comunidad, respetando las normas e instituciones locales de organización social y hacerse pública, como un compromiso de la organización hacia la comunidad.

Una vez superada la etapa de apoyos económicos y técnicos a emprendimientos de turismo comunitario puntuales, es necesario escalar el nivel, integrando redes locales y regionales de turismo comunitario, que puedan mercadear juntos sus servicios. El objetivo debe ser disminuir los costos de mercadeo al hacerlo en conjunto, elevar las posibilidades de visita, así como los días de pernoctación al ofrecer paquetes más completos que benefician a más comunidades. Es urgente que los emprendimientos ya en marcha empiecen a recibir turistas o incrementen la visita para así mejorar a corto plazo los ingresos económicos y los beneficios sociales y ambientales a todos los miembros de la comunidad. Si esto no sucede a lo inmediato, se corre el riesgo de perder el interés en los

procesos turísticos y que se haga efectivo el deterioro de los recursos naturales y culturales que motivan la visita.

Se aconseja también apoyar la creación y fortalecimiento de espacios de discusión, análisis e intercambio de experiencia entre los emprendimientos ya existentes, aún si el grado de desarrollo es diferente. Sería interesante lograr financiamiento para que estos intercambios fuesen con emprendimientos en México, Centroamérica o algún otro país latinoamericano.

La conformación de redes constituye un recurso de capital social importante que ayuda en procesos de búsqueda de financiamiento o en asistencia técnica.

Conclusiones

Para responder a la primera pregunta de investigación, se puede concluir que los tres principios de cumplimiento externo son los que más frenan el desarrollo del turismo comunitario en Guatemala: la falta de claridad en la certeza jurídica de la propiedad privada colectiva de las tierras comunales, la falta de reconocimiento mínimo de derechos de organización y la falta de anidación de las empresas comunitarias en niveles más amplios de gestión. Sin embargo, sí es posible encaminar acciones por parte del Estado de Guatemala para mejorar el cumplimiento de estos principios. Existe la figura de Gestión Compartida para anidar en ella los esfuerzos turísticos de comunidades en Parques Regionales Municipales.

Pudiera también existir la voluntad política para que INGUAT asuma una función de coordinación y fomento para el desarrollo del producto turismo comunitario, con las atribuciones ya descritas. Sin duda, existe suficiente personal técnico comprometido y capacitado a lo interno de INGUAT para hacerse cargo de esta tarea. Con respecto al reconocimiento mínimo de los derechos de organización, es una lucha que los pueblos indígenas han asumido con compromiso en su actuar político. Se puede tener esperanza en que se logrará en algún día no muy lejano.

Algunos pasos prioritarios para una estrategia de intervención para el Estado y la Cooperación Internacional que fortalezca la aplicación de los principios 1, 7 y 8 de Ostrom, pudiera ser:

1. Coordinación y diálogo entre instancias públicas y cooperación internacional para sumar y fortalecer procesos de turismo comunitario a mediano y largo plazo.
2. Lograr coordinación en acciones de fortalecimiento de condiciones políticas y legales para los emprendimientos: figura de Gestión Compartida en los casos que apliquen, procesos de inscripción y registro de guías y empresas, capacitaciones y fortalecimiento organizacional.

3. Coordinar y fortalecer procesos de inventario, monitoreo, evaluación, apoyo continuo, análisis y reflexión sobre condiciones, retos y logros del turismo comunitario en Guatemala, para generar insumos para una planificación estratégica efectiva a nivel territorial.
4. Apoyar fuertemente procesos empresariales, de mercadeo y ventas para los emprendimientos de turismo comunitario, con el fin de generar ganancias económicas al corto plazo, así como procesos de reinversión y distribución equitativa de beneficios a toda la comunidad.

Con respecto a los principios de cumplimiento interno (2, 3, 4, 5 y 6) pueden y deben ser reforzados a través de una serie de actividades a lo interno de la comunidad, construyendo vínculos entre las organizaciones locales impulsoras del proceso turístico y el grueso de la población. El mayor número de personas debe beneficiarse económica, social y ambientalmente del proyecto turístico para que éste sea realmente sostenible. Con esto se fortalece la conservación y manejo de los patrimonios natural y cultural que son puestos en valor como atractivo turístico, ya que la comunidad en su conjunto se sentirá orgullosa de estos valores.

El turismo comunitario sí es un camino de desarrollo sostenible para el país, porque antes de implementarlo se hace ineludible cerrar brechas económicas y sociales que mantienen a las comunidades indígenas y rurales excluidas del mismo. En la mayoría de los casos, estas comunidades sí están interesadas en conservar y aprovechar sus patrimonios natural y cultural, habiéndolo conseguido aún sin mayor incentivo económico. De allí lo importante que sus esfuerzos rindan fruto lo antes posible.

Las instituciones ancestrales de manejo indígena de recursos naturales han demostrado funcionar para la conservación y aprovechamiento de estos recursos, pero también funcionan para la conservación de esas formas de participación que han permitido la gestión exitosa de recursos comunes, lo que es una base importante para la gestión del turismo comunitario.

Una comunidad organizada que entiende con claridad la importancia de la organización social para el propio desarrollo y buen vivir, encontrará fácilmente la forma de llegar a él. La ayuda de los agentes externos impulsará este proceso.

Bibliografía

- Banco de Guatemala, 2023. Guatemala en Cifras. Departamento de estadísticas macroeconómicas. 76 pp.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas - Grupo Promotor de Tierras Comunales. 2009. Diagnóstico de la Conservación y Manejo de Recursos Naturales en Tierras Comunales. 122pp.
- Cabanilla, E. 2018. Turismo Comunitario en América Latina, un concepto en construcción. Siembra 5 (1) (2018) 121-131.

Consejo Nacional de áreas protegidas. 2015. Política de Administración Conjunta y Gestión Compartida del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas y de Áreas Naturales de Importancia para la Conservación de la Diversidad Biológica de Guatemala. Documento Técnico 10-2015.

Congreso Nacional de la República de Guatemala. 2002. Ley de Consejos de Desarrollo Urbano y Local Decreto 11-2002.

Congreso de la República de Guatemala. 1969. Ley Orgánica del Instituto Guatemalteco de Turismo. Decreto 33-69

Instituto Guatemalteco de Turismo INGUAT. 2003. Departamento de Investigación y Análisis de Mercado. 2023. Boletín Estadístico de Turismo. Junio 2023. 15pp.

Ostrom, E. 1997. Esquemas Institucionales para el Manejo Exitoso de Recursos Comunes. *Gazeta Ecológica, Nueva Época* No. 45. Pp32-48

Ostrom, E. 1990. El Gobierno de los Comunes. La Evolución de las Instituciones de Gestión Colectiva. Fondo de Cultura Económica, México D.F. 456pp

Universidad Rafael Landívar. 2018. Mapa de pobreza de Guatemala, estimación a través del método de necesidades básicas insatisfechas mapa de pobreza URL

Wilson R. y A.P Orantes. 2018. Estudio sobre racismo, discriminación y brechas de desigualdad en Guatemala. Cepal. 102pp.

Instituto Guatemalteco de Turismo. 2019a. Plan Estratégico para el Segmento de Naturaleza.Un Compromiso de Nación para el Desarrollo Competitivo 2019.2025. 84pp

Instituto Guatemalteco de Turismo. 2019b. Plan Estratégico para el Segmento de Aventura.Un Compromiso de Nación para el Desarrollo Competitivo 2019.2025. 90pp

Instituto Guatemalteco de Turismo. (2021a). Memoria de Labores 2020. Guatemala.

Instituto Guatemalteco de Turismo. (2021b). Rendición de cuentas, primer cuatrimestre de 2021. Guatemala. Obtenido de <https://inguat.gob.gt>

Instituto Nacional de Estadística. 2013. Mapa de Pobreza Rural en Guatemala, 2011.

ENTREMUNDOS. 2023a. Diagnóstico de Potencial Ecoturístico del Instituto Mesoamericano de Permacultura.

ENTREMUNDOS. 2023b. Diagnóstico de Potencial Ecoturístico de la CoAtitlán.

ENTREMUNDOS. 2023c. Diagnóstico de Potencial Ecoturístico de Senderos Loma Linda.

ENTREMUNDOS. 2023d. Diagnóstico de Potencial Ecoturístico de la Finca el Vergel.

ENTREMUNDOS. 2023e. Diagnóstico de Potencial Ecoturístico de la Comunidad Unión Reforma, Sibinal, San Marcos.

ENTREMUNDOS. 2023f. Diagnóstico de Potencial Ecoturístico de la Ruta Puerta del Cielo, de la Asociación de Campesinos Agroforestales de Buena Vista, ADECAF.

Helvetas. 2019. Evaluación externa del proyecto Desarrollo Económico del Altiplano Occidental de Guatemala.

Jorge Samayoa. 2023. Director de Patrimonio Cultural. INGUAT. Comunicación Personal.

Merlet, P. 2011. Estudio del Caso de la Cooperativa Integral de Comercialización Carmelita, Petén, Guatemala. AGTER y ACOFOP.

Organización Internacional del Trabajo. 2005. Turismo Comunitario y Desarrollo de Pequeñas Empresas.

UVG-CEAB. 2006. Estudio de Caso Corazón del Bosque, Metodología participativa para la gestión turística comunitaria.58pp.

ENLACES WEB

Corazón del Bosque 2023.

CooCarmelita 2023

Caribe Maya 2023

IMAP, 2023

FECCEG 2023

Chajil Siwan 2023

ADAFIS 2023

ADECAF 2023

Kalan and the Twin Stones

by Adan Marroquin



Woof! Woof!

Woof! Woof! Woof!

Woof! Woof!

Woof! Woof! Woof!

Woof!

That sound had been going on for so long that freezing morning, even the birds had gotten upset about. An unfamiliar shouting from outside the fence had made the guardian abandon his mat earlier than the usual time. Normally, he would not let unimportant matters alter his rest, so whoever was outside must have been screaming tirelessly that Kut' had bothered barking repeatedly. It was that last part that consequently woke Alan up.

With his vision still a bit blurry, Alan trawled his steps toward the door to find out by himself who had dared to shout his nickname before the rooster's regular chant. Definitely not his favorite moment to start the day.

"Lannnniiix!" he would hear a last time, before he unlocked the old timber door that led to the walkway, on the right side of the house. It took him a bit more effort than he expected. The drizzling from the night before had caused the door to swell; Kut' stood next to him ready to attack. When he finally managed to open the door, Kut' simply wagged his almost unnoticeable tail, and turn back to his kennel. It was Alan's brother at the door.

"So, are you ready?" He exclaimed in a hoarse voice -the low temperatures during that season of the year had transformed his cheerful tone into an indistinguishable one.

David had come from the other side of the hill, where he and his family lived. As the great family-man he was, he would always visit his mom every time he could, specially during the corn-planting season, normally early in the morning.

Alan was totally the opposite, he would stay late in bed every day, thinking about whom he really was. "A silly head, asking silly questions!" his siblings would repeat to him constantly, including David. Their mother would think otherwise, "a pathfinder by birth" she would often insist. When Alan was a child, he wanted to scout all the places he could. Soon when he finished the elementary school, he emptied his only backpack from school supplies, and filled it right after with nothing more than his eagerness to explore the city, further than what he had seen in his textbooks. Yet, not even the city could answer the questions in his head, so not very long after, he started missing home.

Whenever possible, Alan would pick up his old backpack and take a shuttle back to his village, Twi'-wutz. Those were long and tiring rides, seven hours to be more specific. Twi'-wutz was located in the Guatemalan western highlands, a place where you can see the clouds floating to the sky every morning, specially during July. The landmarks from the windows of the bus along the road, resembled an extensive multicolored piece of garment, reminding Alan of the traditional clothing of the inhabitants of his village. Another good reason to take that chicken bus trip every time he could. And here is one of those times.

Two evenings had passed since Alan came back home. During the coffee time, he and David had exchanged words about their younger years. They both agreed that one day they would visit the old riverside -it had been so long since the last time Alan went there, pretty much since he left his village, exactly nine years ago.

That long conversation had taken him back to his childhood memories, when he used to accompany his older sister to wash clothes in the affluent of the river. He had not forgotten how hard it was to carry big lumps of wet clothes to the top of the rocks and leave them there for hours, until the sun-rays had evaporated all the water from them. Those were unforgettable moments for him. Whenever the time allowed, he would lay down on the cold surface, and doodle all sorts of creatures in the sky. There were days when he felt that his imagination had somehow transferred into reality, and someone invisible was calling him at the distance. Only then, he would run down to his sister and wait for her to finish the ubiquitous Saturday chores.

"Isn't it too early?" Alan inquired David surprisingly.

"The earlier we go, the more time we will have for exploration", David replied.

"At least let's have breakfast first" Alan insisted.

"Well, so long you brought something delicious from the city," David joked. He knew Alan was the type of man that would only carry a backpack, and inside of that, there was room for only two things: either an empty sketchbook, or a comic book about heroes and warriors.

Right after breakfast, their adventure began; David was the type of person who enjoyed rushing things up. "At this moment of the day, the sunbeam is still soft", he argued. Alan shook his head up and down, as a sign of approval.

During their journey, Alan did not stop examining the blossoming of the peach trees alongside the trail. The walk way was still wet, and his shoes lost their track a few times. Alan stumbled trying to catch up with his brother's pace, he had spent so much time away from home that forgotten how to walk between mud and stones; he admitted David's predisposition to do this trip took him by surprise. Nevertheless, he was excited to see the long riverside again after a very long time.

Forty-five minutes later, a peculiar chant at the distance took Alan back to reimagine those old days. The chirping of the motmot merged with the sound of the river flow announced that Alan and David were getting close to their destination. In a blink of an eye, Alan was standing where he used to hear someone calling his name. To his disappointment, that place was no longer the same. The river stream was narrower than what he had kept in his heart. The crops had vanished most of the forest, which made the rocks he used to climb look much bigger than he remembered. The remains of the forest resembled

a slaughtered town that was fading slowly at the distance. An anger and sadness invaded Alan's heart, like if it was his home being destroyed.

For David, it was not all bad news, it made it easier for him to put up a tent to rest, as the sun was hitting harder each minute. While he was entertained finding sticks, Alan started walking towards the rocks on the other side of the river. The litter had covered the flow of what was once a growling monster, so after a few jumps, he was already standing on dried ground again. It was then when he perceived a familiar voice calling him by his intended name. "Kalan!" very few people knew the story of his name, so he did not bother responding.

Kalan! He would hear clearer a second time.

This time, he turned around, but only the air moved his hair from one side to the other.

Kalan meant *guardian* in his native language. He had been given that name by his father, who hoped that when Kalan grew, he would guard his lands in his older years. To his misfortune, when the day came to register Kalan at the mayor's office, the notary in charge that day had a hearing impairment, so he only heard Alan,

"With one or two Ls" the old man inquired.

Chalo, Kalan's father replied, "one please".

He assumed that the man was referring to having one or two first names like the rest of the children. Of course, he wanted his last-born son to have only one name. In his opinion, having two names make a man's head confused. He learned it that way from Kalan's grandfather.

"Kalan!" He heard louder a third time - this time he was sure his mind did not make it up. He turned around to find out who it was, but he only heard the wind waiving the canopy of the cypresses, yet he replied, "hello old-forest-friend" It's been a long time eh?

Right then, he distinguished a silhouette of a small boy sneaking through the bushes. A tell from his grandmother came to his memory, "a q'e twi' tx'otx' ja q'ij twi' q' mux'a, me'ja te, te k'wach' abj' te", "we belong where our navels were buried, but you, you belong to the twin stones"

Suddenly, he noticed he had reached the end of the trail. Right in front of him, a pair of humongous rocks reclined on one another, covered in all sort of roots, like if they were tied to each other by some blessing or some curse. The whispers duplicated at this point.

You're back!

Kalan is back!

He was never meant to leave!.

He never left!

Kalan's memories reeled, and everything began coalescing. He blinked for an instant, and when he opened his eyes, the dry leaves had formed a whirlpool at his feet. It was then when the silhouette of the boy emerged from the air whispering,

You belong here! Not north!

Not south!

Here near, not far!

He pointed at Kalan's feet, and said, "you must never hide them again, you must never chop them off again, or else, we both die!" Kalan looked down and cried.

Reseña del Ecomuseo de San Andrés Semetabaj

Lilian Caná¹, Ernesto Arredondo Leiva¹ y
Tomás Barrientos Quezada¹

¹Centro de Investigaciones Arqueológicas y Antropológicas (CIAA).

Los inicios del Ecomuseo de San Andrés Semetabaj

El concepto de ecomuseo puede definirse como una ruta interpretativa donde las comunidades presentan sus principales manifestaciones culturales y su relación con el territorio y su entorno natural. A diferencia de la museología clásica, este concepto se deriva de la “nueva museología” propuesta por de Varine (2007), ya que se relaciona con las dinámicas de desarrollo de las poblaciones. En el ecomuseo, las comunidades generan el diseño de una ruta cultural y natural, beneficiándose desde un entorno turístico. Por lo tanto, el ecomuseo es ahora un término que, junto al museo comunitario, define la diversidad de formas que toma esta nueva museología de desarrollo; ha alcanzado una especie de madurez institucional, aunque asuma formas diferentes según los contextos y los objetivos definidos.

Para inicios del año 2007, se diseñó un proyecto denominado “Destino de bienes culturales y medioambientales”, que evolucionó al proyecto “ECOMUSEO DE ATITLÁN” creado como un Programa de Patrimonio para el Desarrollo (P>D) auspiciado por la Agencia Española de Cooperación

Internacional para el Desarrollo (AECID). El proyecto estaba basado en fomentar la participación de la población en el rescate y preservación de la memoria, identidad cultural, diversidad y los valores medioambientales de las comunidades de la Mankatitlán (AECID 2020). La Mancomunidad Kaqchikel Chicoy Atitlán (Mankatitlán), también conocida como Mancomunidad de municipios de la Subcuenca noreste del Lago Atitlán, fue conformada en 2005 por los municipios de San Andrés Semetabaj, Panajachel, Santa Catarina Palopó y San Antonio Palopó, y sirvió como una herramienta para la promoción de la región como destino turístico nacional e internacional (Figura 1).

El consenso para la creación del Ecomuseo en los cuatro municipios de la Mankatitlán, fue un éxito, pero en términos de sostenibilidad y cumplimiento de las expectativas no lo fue, ya que la mancomunidad fue disuelta en el año 2015. De los cuatro municipios incluidos únicamente San Andrés Semetabaj mantuvo el sentido original del concepto Ecomuseo. El proyecto comprendió tres ejes principales traducidos en



Figura 1. Logotipo de la Mankatitlán (izquierda) y del Ecomuseo del Lago Atitlán (derecha)



Figura 2. Edificio Ecomuseo San Andrés Semetabaj durante su construcción (arriba) y finalización (abajo) en 2011. (Fotos por José Luis Menéndez)



Figura 3. Inauguración Ecomuseo, 27 de julio 2011 (Fotos por Lilian Caná).

una ruta cultural turística que integra la vida cotidiana en: 1) la comunidad, 2) la cultura, y 3) el territorio. En los primeros años los avances fueron pocos, pero significativos, pues el 27 de julio del 2011 se inauguró el Centro de Visitantes y Sede Administrativa del Ecomuseo del Lago de Atitlán (Figuras 2 y 3); a partir de ese momento, se visibilizó un cambio hacia la revitalización de la cultura en el marco de los pueblos Kaqchikeles (de Paz 2011).

Dado que el Centro de Investigaciones Arqueológicas de la Universidad del Valle (CIAA-UVG) ya realizaba investigaciones arqueológicas en San Andrés Semetabaj desde el año 2003, el Arquitecto José Luis Menéndez, director del Ecomuseo, solicitó al CIAA-UVG elaborar un guión museográfico, el cual fue entregado en el mes de mayo de 2010 (Ivic *et al.* 2010) y fue presentado a la comunidad en ese mismo año a través de varios talleres (Figura 4).

Derivado de esta colaboración, en enero de 2011 el CIAA-UVG realizó un proyecto de salvamento arqueológico previo a la construcción del edificio del Ecomuseo en San Andrés Semetabaj, dirigido por Matilde Ivic de Monterroso (Ivic *et*

al. 2011) (Figura 5). Asimismo, en ese año se realizaron varios acuerdos entre la UVG y el Ecomuseo para realizar actividades de interés mutuo, en especial “promover y apoyar el desarrollo de investigaciones regionales o subregionales que permitan sustentar de mejor forma el devenir de estos pueblos en estas latitudes, que permita una mejor valoración sociocultural y que permita de forma más consistente desarrollar los contenidos y la museografía del Ecomuseo de Semetabaj y de los centros de visitantes en Panajachel, San Antonio y Santa Catarina Palopó”. Se definió también la necesidad de la vinculación entre la Mankatitlán, la Municipalidad de San Andrés Semetabaj, el Ecomuseo y la UVG. Entre los proyectos específicos, se definió un montaje museográfico y la realización de actividades de formación y promoción cultural, especialmente conferencias y la conmemoración del 2012.

El proyecto Ecomuseo desde la concepción y los objetivos de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECID) en Guatemala, fortaleció sus iniciativas locales con una visión integral para el municipio, a través de alianzas institucionales

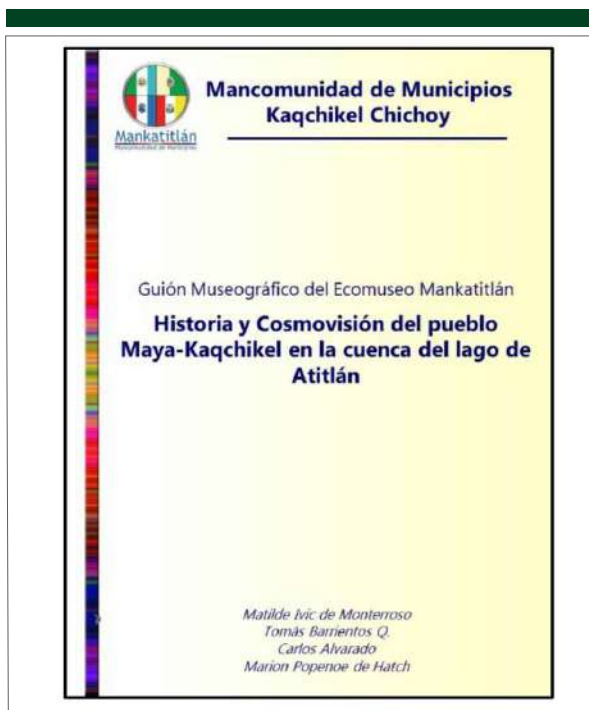


Figura 4. Portada del Guion Museográfico del Ecomuseo



Figura 5. Carlos Fernández y Matilde Ivic durante las excavaciones de salvamento realizadas como parte de los requisitos para la construcción del edificio del Ecomuseo (Foto por Tomás Barrientos).

privadas y públicas, con el objetivo de crear nuevos mecanismos para el reconocimiento del mismo en materia de turismo y arqueología local. A mediados del mes de junio del año 2012, la institucionalidad del proyecto se afirmó con la conformación de una mesa de diálogo y la creación de una agenda de trabajo con la participación de las siguientes instituciones: Gobernación de Sololá, Municipalidad de San Andrés Semetabaj, la Universidad del Valle de Guatemala, Ministerio de Cultura y Deportes y el INGUAT. El resultado fue la elaboración de una agenda de trabajo denominada Oxlajuj Baktun, referente a la finalización de una era y bienvenida de una nueva temporada según los calendarios sagrados de los pueblos originarios. De acuerdo a la agenda planteada en junio del 2012 y bajo la coordinación de Carlos Alvarado, se realizaron jornadas y actividades de formación dirigidas a la comunidad en general, donde destacó una actividad en el sitio arqueológico Semetabaj el 21 de octubre, donde participaron autoridades del Ministerio de Cultura y Deportes, INGUAT, Gobernación de Sololá, Municipalidad de San Andrés Semetabaj y más de 250 miembros de la comunidad (Figura 6). La agenda culminó el día 21 de diciembre de ese mismo año, cuando se llevó a cabo una ceremonia de fuego sagrado, que dio el realce a la celebración del Oxlajuj Baktun (Figura 7).

Después de la construcción de la agenda cultural Oxlajuj Baktun, el Proyecto Ecomuseo del Lago Atitlán y la Universidad del Valle de Guatemala, a través del Proyecto Arqueológico Semetabaj, trabajaron en alianza para el fortalecimiento y la recuperación del patrimonio cultural y natural en San Andrés Semetabaj. Desde el año 2013, la utilización de los espacios del edificio permitió implementar procesos de formación y capacitación, con las siguientes temáticas: 1) etnohistoria y arqueología, dictadas en los salones del segundo nivel, denominados: los Trigales, Saquiché y los Nahuales; 2) temáticas de ecología y vida silvestre, dictadas en los salones del primer nivel. Estos procesos fueron dirigidos a la comunidad educativa, servidores y prestadores del servicio de turismo, organizaciones culturales, autoridades ancestrales y sociedad civil (Alvarado y Bustamante, 2013) (Figura 8). Además, entre los años 2015 y 2017, la administración del edificio del Ecomuseo estuvo a cargo de la Universidad del Valle de Guatemala.

La promoción del sitio arqueológico Semetabaj se incrementó a partir de 2015 mediante jornadas arqueológicas, lo que incluyó el involucramiento de los actores principales de la comunidad para el reconocimiento de dicho sitio arqueológico como un lugar de interés comunitario, así como lugar sagrado. Las actividades incluyeron visitas guiadas al sitio, observación de las excavaciones y el trabajo de campo a cargo del equipo arqueológico de la Universidad del Valle de Guatemala (Figura 9) y una exposición infográfica de los hallazgos de investigación en el corredor del segundo nivel del Ecomuseo.



Figura 6. Apertura de la visitación del sitio arqueológico Semetabaj, en un acto conmemorativo del Oxlajuj Baktun, 21 de octubre 2012 (Fotos por Carlos Alvarado).



Figura 7. Ceremonia Maya realizada en el sitio arqueológico Semetabaj durante el final del Oxlajuj Baktun, 21 de diciembre 2012 (Fotos por Carlos Alvarado).



Figura 8. Charlas impartidas a la población de San Andrés Semetabaj en las instalaciones del Ecomuseo, durante el año 2014. *Arriba:* Dr. Edwin Castellanos del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de UVG, impartiendo una charla sobre cambio climático. *Abajo:* Dr. Daniel Ariano del Departamento de Biología de la UVG impartiendo una charla y demostración de herpetología (Fotos por Carlos Alvarado).

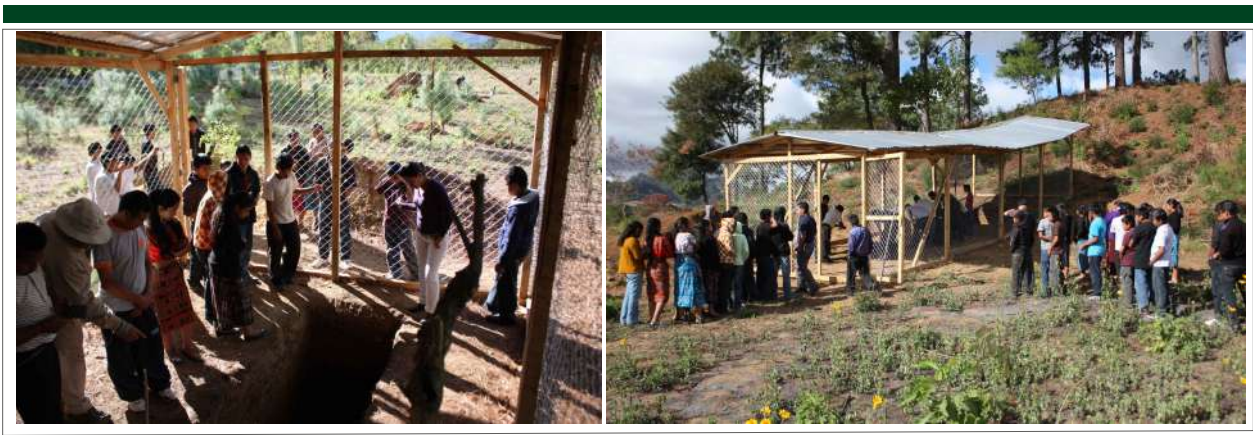


Figura 9. Visitas al sitio arqueológico Semetabaj para miembros de la comunidad, durante el proceso de excavaciones por parte de arqueólogos de la UVG (Fotos por Carlos Alvarado).



Figura 10. Colocación de infografía cronológica sobre San Andrés Semetabaj, en el segundo nivel del Ecomuseo, mes de octubre 2018 (Foto por Jenny Guerra).



Figura 11. CDiscusión sobre astronomía cultural en uno de los salones del segundo nivel del Ecomuseo, 23 de noviembre de 2019 (Foto por Ernesto Arredondo).

Las salas de exposición arqueológica, un nuevo amanecer para el Ecomuseo

Con el tiempo, los resultados de la exposición de hallazgos de investigación en el corredor del segundo nivel del Ecomuseo, generaron una expectativa a futuro. Una idea comenzaba a materializarse en una nueva posibilidad para resguardar la historia de Semetabaj, a través de una línea de tiempo que permitió señalar las fechas más importantes del Sitio Arqueológico Semetabaj, la cual se colocó en 2019 a cargo de la Magíster Jenny Guerra (Figura 10). Un evento significativo fue el Primer Congreso Mesoamericano de Astronomía Cultural, con sede principal en el Sitio Arqueológico Semetabaj y celebrado el 22 de noviembre del año 2019 (Barrientos y Arredondo 2021). Durante el Congreso se compartieron experiencias y vivencias sobre el cosmos y su efecto en el comportamiento de la humanidad (Figura 11). La opinión de los profesionales de la astronomía de varios países, contadores del tiempo, guías espirituales y Consejo de Ancianos, crearon una sinergia en diálogo, sobre movimiento de los planetas a través de la observación de los mismos con telescopios y planisferios. Esta experiencia permitió, posicionar al Municipio de San Andrés Semetabaj en aspectos astronómicos desde la mirada de los pueblos originarios.

Las alianzas de trabajo en el marco de la institucionalidad, han sido una estrategia importante para la construcción de ideales, mismas que permitieron crear la primera exposición museográfica denominada “Mi Pasado mi Historia” (Pinzón et al. 2023). Esta exposición contó con un guión realizado por Mariana Sánchez y Adriana De León, y su museografía fue diseñada y montada por la Magíster Flory Pinzón, la cual se dividió en dos salas (Figura 12). La sala 1 cuenta con una exposición de aspectos relevantes de la posición geográfica del sitio, inventario de especies de animales silvestres y conceptos básicos sobre la arqueología (Figura 13). La sala 2 incluye una línea de tiempo desde la primera mención de Semetabaj hasta la exposición más reciente de evidencias



Figura 12. Proceso de montaje de la Exhibición Ecomuseo, en el año 2022 (Fotos por Flory Pinzón).

arqueológicas, así como una maqueta del sitio y varias vitrinas con piezas arqueológicas de cerámica y lítica, destacando las vasijas de la Ofrenda 1 de la Estructura 12 (Figura 14). En esta iniciativa también se contó con apoyo financiero de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo en Guatemala y la Fundación de la Familia Mack (UVG-San Andres Semetabaj Mack Family Initiative), así como el acompañamiento de la Doctora Mónica Stein, Vicerrectora de Investigación y Vinculación de la UVG, y la Doctora Pamela Pennington, Decana del Instituto de Investigaciones de la UVG.

Pese a la coyuntura surgida durante el año 2020 a causa de la pandemia de COVID-19, que derivó en un confinamiento por mandato presidencial, se mantuvieron los trabajos en materia de diseño museográfico, creación de las salas de exposición, instalación de medidas de seguridad adecuada, y se avanzó en la materialización de la exposición. Este sueño, iniciado años atrás, finalmente abrió sus puertas el día 12 de agosto de 2022 (Figura 15). Unos meses antes, en dos comunidades cercanas, los hallazgos fortuitos de monumentos prehispánicos de gran relevancia (Barrientos *et al.* e.p.), parecieron conjuntarse con el evento y el espíritu

inicial de resguardo y protección al patrimonio de las comunidades. Durante el evento de inauguración, autoridades indígenas de una de las comunidades, tuvieron un acercamiento significativo en busca de estrechar lazos de cooperación que siguieran los pasos del Ecomuseo y sus ideales comunes. El largo proceso que culminó con la inauguración de la exhibición “Mi Pasado mi Historia”, ha iniciado a dar sus frutos, tanto en la comunidad, como en comunidades hermanas.

Consideramos que hoy en día, las actividades que se han llevado en el Ecomuseo de San Andrés Semetabaj siguen los lineamientos que se concibieron para esta categoría museológica, tal como se definió con anterioridad. En este espacio no solo se han presentado las principales manifestaciones culturales y naturales del municipio, sino también ha sido un nexo importante para las relaciones entre la población y su territorio, en el que se busca un beneficio comunitario a través de las actividades turísticas. Esperamos que el proceso de gestión de este ecomuseo sirva de modelo para desarrollos similares en otras partes del país, y por qué no decirlo, en otros lugares del mundo.

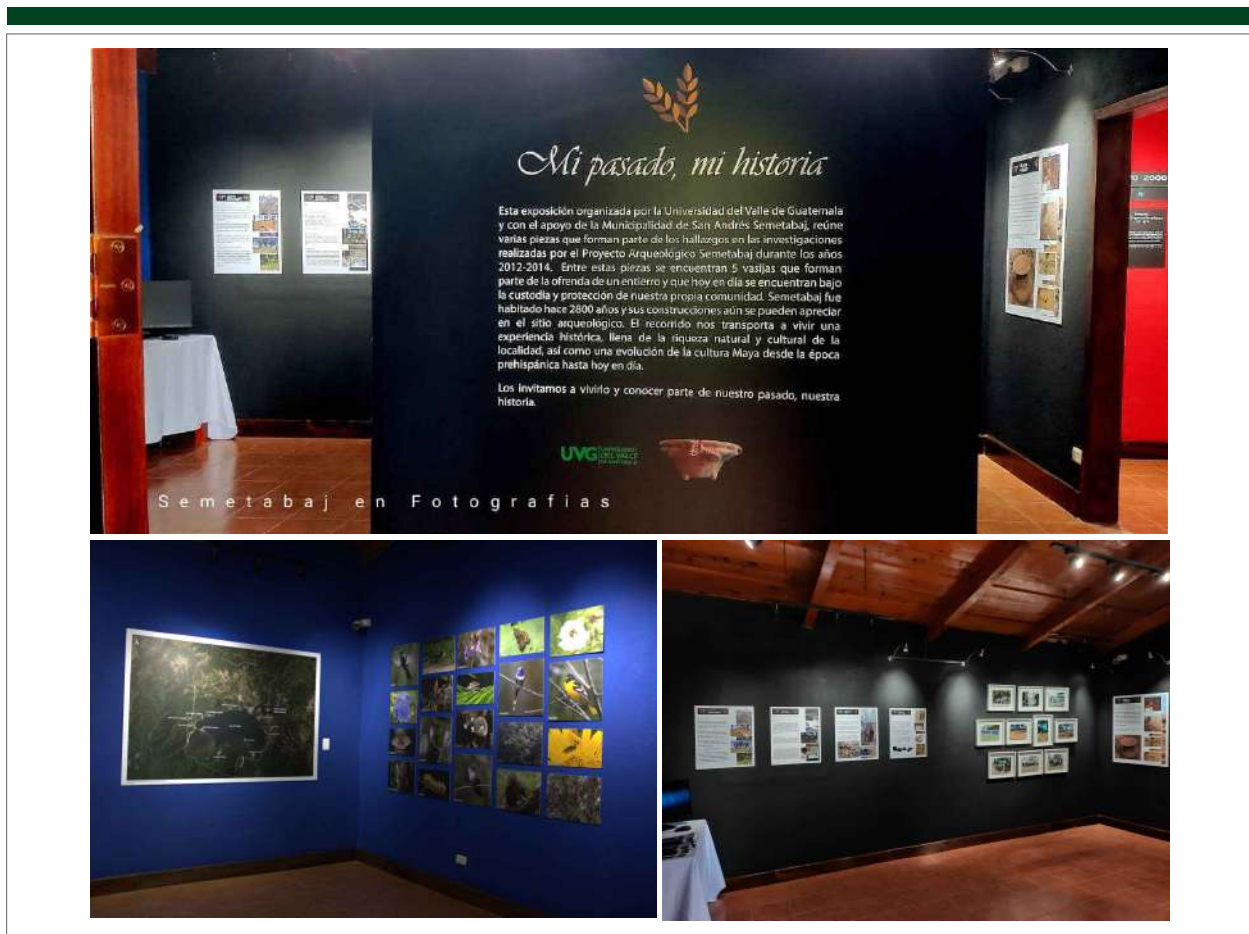


Figura 13. Exhibiciones en la Sala 1 (Fotos por Tomás Barrientos).



Figura 14. Exhibiciones en la Sala 2 (Fotos por Tomás Barrientos).



Figura 15. Ceremonia de Inauguración de la Exhibición “Mi Pasado Mi Historia”, Ecomuseo de San Andrés Semetabaj (Fotos por Andrés Ceballos, UVG).



Figura 16. Visitantes en el Ecomuseo de San Andrés Semetabaj (Fotos por Lilian Caná).

Bibliografía

- AECID. (2020). Revitalización del Ecomuseo del Lago Atitlán (Guatemala). Memoria AECID 2020; Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. <https://memoria2020.aecid.es>
- Alvarado, C., & Bustamante, E. (2013). Informe de Temporada de campo. Proyecto Arqueológico Semetabaj: Temporada de Campo 2012-2013 (C. Alvarado & E. Bustamante, Eds.; pp. 5-6). Universidad del Valle de Guatemala.
- Barrientos, T., Arredondo, E., Guernsey, J., Luin, L. F., & López, D. (e.p.). La presencia del estilo escultórico "barrigón" en la Cuenca del Lago Atitlán. En XXXVI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala. Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
- Barrientos, T., & Arredondo, E. (2021). Reseña del Primer Congreso Mesoamericano de Astronomía Cultural. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala, 42, 83-87.
- De Paz, V. (2011, agosto 28). Turismo para Atitlán: Me quedé estupefacta ante la labor que realiza la Cooperación Española. Prensa Libre, 21.
- Hugues de Varine-Bohan. (2007). El ecomuseo. Una palabra, dos conceptos, mil prácticas. Mus-A: Revista de Los Museos de Andalucía, 8, 19-29.
- Ivic de Monterroso, M., Barrientos, T., Popenoe de Hatch, M., & Alvarado, C. (2010). Guión Museográfico del Ecomuseo Mankatitlán: Historia y Cosmovisión del pueblo Maya-Kaqchikel en la cuenca del lago de Atitlán. Mancomunidad de Municipios Kaqchikel Chichoy Atitlán, Panajachel.
- Ivic de Monterroso, M., Fernández, C., & Popenoe de Hatch, M. (2011). Excavaciones de Rescate en el Área del Ecomuseo de San Andrés Semetabaj, Sololá. Informe final presentado a la Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural. Universidad del Valle de Guatemala.
- Pinzón, F., Caná, L., & Arredondo, E. (2023). El Ecomuseo de San Andrés Semetabaj: una nueva sede para la cultura local en el Altiplano guatemalteco. En B. Arroyo, L. Méndez, & G. Ajú (Eds.), 35 Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2022 (pp. 921-929). Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Imprimiendo sueños: la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa, una alternativa para tratar enfermedades

Sussan M. Campos Enríquez*, Karen I. Joachin Padilla*, Nicole E. Prem Regalado*, Mónica Echeverry-Rendón

* Todos los autores participaron de igual forma en la escritura del documento

Email autor de correspondencia: mechevery@uvg.edu.gt

Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Biomédica

RESUMEN: La ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa son áreas relativamente nuevas que están revolucionando la ciencia brindando nuevas opciones terapéuticas a pacientes que urgen de una solución médica. Este documento busca comunicar a la comunidad universitaria la importancia de tecnologías emergentes, como las anteriormente mencionadas, en las cuales el ámbito médico, ingenieril y social convergen de una manera armónica y complementaria. Para abordar esta temática, el documento inicialmente introducirá los conceptos de ingeniería de tejidos haciendo un especial énfasis en uno de los elementos más importantes que lo conforman como son los biomateriales. Posteriormente, se expondrán diferentes alternativas para procesar algunos de estos materiales a través de la fabricación aditiva (impresión 3D). Finalmente, se concluirá el artículo con las posibles aplicaciones médicas que se pueden abordar a partir de estas herramientas y cómo se podrían implementar en la Universidad del valle (UVG). Por otra parte, la ingeniería biomédica al ser una carrera nueva en la UVG y en Guatemala necesita generar espacios para aumentar la visibilidad y generar oportunidades para los futuros profesionales. La ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa son áreas innovadoras y que pueden aplicarse usando diferentes recursos con los que cuenta la UVG. Este tipo de revisión también podrá atraer la atención de futuros estudiantes a esta área ayudando a generar nuevas oportunidades a nivel nacional e internacional.

PALABRAS CLAVE: Ingeniería de tejidos, biomateriales, células, impresión 3D, medicina regenerativa.

Printing dreams: tissue engineering and regenerative medicine, an alternative for treating diseases

ABSTRACT: Tissue engineering and regenerative medicine are relatively new areas that are revolutionizing science by providing new therapeutic options to patients who urgently need a medical solution. This document seeks to communicate the importance of emerging technologies, such as those mentioned above, in which the medical, engineering and social fields converge in a harmonious and complementary way. To address this topic, the document will initially introduce the concepts of tissue engineering with special emphasis on one of the most important elements, biomaterials. Subsequently, different alternatives will be presented that are used to process some of these materials through additive manufacturing (3D printing). Finally, the article will conclude with the possible medical applications that can be addressed from these tools and how they could be implemented at the Universidad del Valle (UVG). On the other hand, biomedical engineering, being a new career at UVG and in Guatemala, needs to create spaces to increase visibility and generate opportunities for future professionals. Tissue engineering and regenerative medicine are innovative areas that can be applied using the various resources available at UVG. This type of review may also attract the attention of future students to this area, helping to generate new opportunities at a national and international level.

KEYWORDS: Tissue engineering, biomaterials, cells, 3D printing, regenerative medicine.

Introducción

Los seres humanos han evolucionado en el tiempo y de una forma considerable ha superado diferentes retos a través de la historia. Ambientes hostiles, colonización de nuevas tierras, descifrar el cielo, el mar y la tierra; sobrevivir a guerras, plagas y enfermedades. Cada era de la humanidad ha impartido nuevos desafíos y de allí que el hombre en su capacidad de raciocinio encuentre diferentes alternativas para poder abordar estas situaciones de diferentes formas.

Nuestro mundo actual se presenta con grandes ventajas con respecto al pasado. Los avances científicos, médicos y tecnológicos han permitido que los humanos tengan cada vez una esperanza de vida más larga y que también su calidad de vida sea mucho mejor. Tenemos instrumentos que nos permiten ver a grandes distancias como los telescopios, y hasta hemos empezado a pensar en conquistar otros planetas fuera del nuestro. Luego también el mundo de lo increíblemente pequeño se ha abierto a nuestros ojos, hemos podido estudiar formas y no solo a nivel atómico, sino que hemos logrado precisar dimensiones hasta llegar a los neutrinos o los quarks.

En este contexto y considerándose un área del conocimiento muy interesante, revolucionaria y que está creciendo rápidamente encontramos la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa, en las cuales el mundo de la ingeniería, la medicina y la biología convergen para poder crear tejidos y órganos en el laboratorio buscando mejorar la calidad de vida del humano.

El término de ingeniería de tejidos emergió a finales del siglo pasado, pero se popularizó con la publicación de Joseph Vacanti y Rober Langer llamada "*Tissue engineering*" la cual fue presentada en la revista Science cuando se presentaron resultados exitosos de cultivar células de cartílago en matrices poliméricas con forma de oreja y luego implantarlas subcutáneamente en el lomo de un ratón (Kruszelnick, 2006) (Cao et al., 1997). ¿Pero, cómo es posible crecer células y tejidos en el laboratorio? ¿Cómo estas herramientas pueden mejorar la salud de una persona? ¿Qué tan lejos estamos para qué esta tecnología sea una realidad en Guatemala? Inicialmente y para tener un panorama más claro es importante primero definir algunos conceptos que nos guiarán en la búsqueda de estas respuestas.

La ingeniería de tejidos es una disciplina que integra tres componentes esenciales: los biomateriales, las células y las señales o moléculas estimuladoras de crecimiento. Combinando estos tres elementos se realizan andamios celulares (o también llamados *scaffolds* por su nombre en inglés), estos son fabricados a partir de biomateriales los cuales disponen de una distribución en 3D que favorecen el crecimiento celular. En la Figura 1 se muestran estos tres componentes integrados en la llamada tríada de la ingeniería de tejidos (Murphy, et. al. 2013).

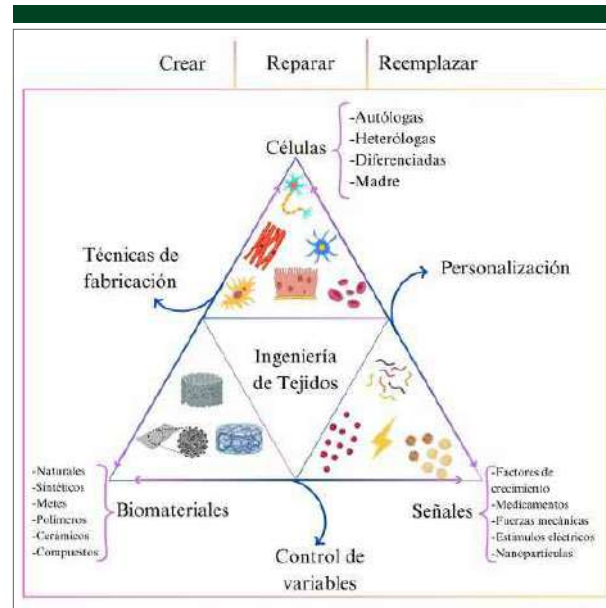


Figura 1. Tríada de la ingeniería de tejidos. Una combinación de células cultivadas en andamios fabricados con biomateriales y suplementados con señales químicas y biofísicas coordinados para regenerar/generar tejidos. Imagen de los autores.

La posibilidad de crear plataformas de crecimiento celular y utilizar el potencial de células en cultivo son avances científicos que no son ajenos a Guatemala y a la Universidad del Valle de Guatemala. La utilización de materiales y equipos impulsados por nuevas carreras profesionales como lo es la ingeniería biomédica, generan un abanico de opciones que pueden inspirar a científicos y profesionales a desarrollar y diseñar nuevos dispositivos biomédicos a la altura de estándares internacionales.

Con el fin de favorecer el entendimiento del tema y visualizar las oportunidades y posibles opciones en nuestro entorno, este artículo abordará tres temas; inicialmente, se presentará una revisión breve de que son los biomateriales y una clasificación sencilla y general. En este apartado mencionaremos también algunas propiedades a considerar según la función requerida. Posteriormente, se expondrán diferentes alternativas para procesar algunos de estos materiales a través de la fabricación aditiva (impresión 3D); y finalmente, concluiremos mencionando algunas aplicaciones médicas que se pueden abordar a partir del uso de estas herramientas y cómo se podría implementar en la Universidad del Valle (UVG) con los recursos actuales. En este contexto el objetivo principal de este artículo es generar curiosidad en el lector por la ingeniería de tejidos y al mismo tiempo divulgar las posibilidades de incursionar en este tipo de herramientas ingenieriles para el sector médico.

Este documento es un esfuerzo mancomunado pero esperanzador que parte de la iniciativa de tres estudiantes y una docente de ingeniería biomédica, quienes son

conscientes que ésta al ser una carrera nueva en la UVG y en Guatemala, necesita crear espacios para aumentar la visibilidad y generar oportunidades para los futuros profesionales. También es un espacio para informar a las generaciones venideras que estén considerando emprender una aventura en esta fascinante área.

Biomateriales para ingeniería de tejidos

Los materiales para la creación de un implante o prótesis para reemplazar o dar soporte a un órgano o tejido deben ser seleccionados con meticuloso cuidado. De allí que el término de biomaterial puede ser explicado de una forma sencilla como “cualquier materia, superficie o construcción que interactúa con sistemas biológicos” (Pavlovic. 2014); es decir la definición de biomaterial está estrechamente asociada con el concepto de biocompatibilidad ¹.

La selección de un material idóneo para reemplazar un tejido dependerá de factores como la aplicación, la ubicación anatómica, el estado de salud del paciente receptor e incluso de la tecnología disponible para obtenerlo y los costos asociados a ello (Eldeeb, Salah y Elkasabgy, 2022).

Las opciones que los biomateriales ofrecen comprenden los tres grandes grupos que son los metales, los cerámicos y los polímeros. Adicional a estos materiales básicos, también aparece una cuarta categoría donde se encuentran los materiales compuestos, los cuales consisten en la combinación de dos o más materiales de los antes mencionados para obtener materiales óptimos con propiedades específicas según la necesidad requerida (Bose y Bandyopadhyay. 2013).

Otra clasificación de los biomateriales está basada en su origen, estos pueden ser materiales naturales (obtenidos de la naturaleza) o sintéticos (sintetizados en el laboratorio) (Dolcimascolo, et. al. 2019). Dentro de los materiales naturales se pueden encontrar materiales de origen proteico o derivados de proteína (e. g. la seda, el colágeno, la gelatina, la queratina, etc.), y también de origen de polisacáridos (e.g. el alginato, el quitosano, la celulosa, la quitina, la agarosa, etc.). Dentro de los biomateriales sintéticos se pueden encontrar materiales degradables (e.g. los poliéster, las poli lactonas, los policarbonatos, los polifosfacenos, etc.) y también los no degradables (e.g. PE, PTFE, PMA, poliéteres, etc.) (Nikolova y Chavali. 2019). También se pueden clasificar como **bioinertes**², **bioactivos**³ y **bioabsorbibles**⁴ como es el caso de las cerámicas

(Punj, Singh y Singh. 2022); y como es en el caso de los polímeros, se pueden clasificar según su estructura química como las poliolefinas, las siliconas, los poliácridatos, el poliéster, el poliéter, entre otros (Bhatia y Bhatia. 2016. La Tabla 1 presenta un breve resumen donde se resumen los tres principales tipos de biomateriales, sus ventajas y desventajas asociados a cada uno y algunos ejemplos de los que más se utilizan.

Una vez aclarado el concepto de biomaterial, existen otros factores a tener en cuenta al pensar en una estructura tridimensional para ser usada en ingeniería de tejidos, algunas de ellas son:

- El andamio celular debe generar interconexión a través de estructuras porosas que permitan la comunicación celular, el intercambio de nutrientes y el espacio para la formación de nuevo tejido (Fonseca. et. al. 2018). La porosidad puede tener un efecto en diferentes dimensiones, por ejemplo, el tamaño del poro del andamio responde a características macroscópicas relacionadas con la integración del tejido, por otra parte, los acabados superficiales pueden influenciar la adhesión o comportamiento celular a nivel micro y nanométrico (Habib et. al. 2016). En la Figura 2 se ilustran algunos conceptos relacionados con la porosidad (Chanes, et. al. 2018).

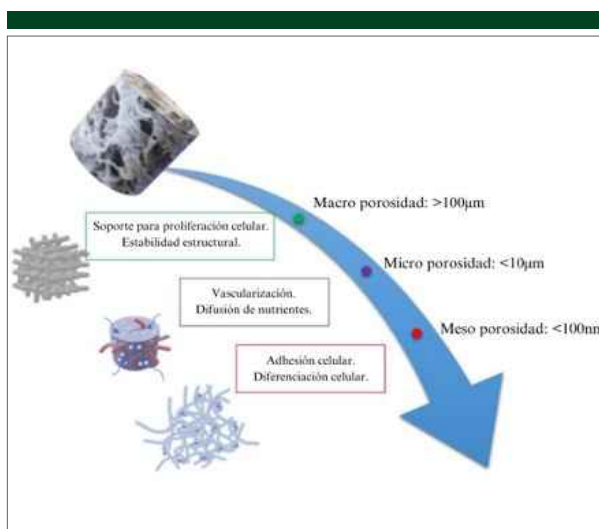


Figura 2. Tipos de porosidades en andamios a nivel macro, micro y meso. Imagen basada en Chanes, et. al. 2018 traducida al español (Chanes, et. al. 2018).

¹ Biocompatibilidad: capacidad de un material implantado en el cuerpo de no producir respuestas locales o sistémicas perjudiciales para el cuerpo (Lane. 2011).

² Cerámica bioinerte: no produce una respuesta inmunológica o inflamatoria a los tejidos circundantes (Punj, Singh y Singh 2021).

³ Cerámica bioactiva: fomenta una respuesta biológica específica y la integración de tejidos circundantes (Punj, Singh y Singh 2021).

⁴ Cerámica bioabsorbible: material que se descompone en el cuerpo sin dejar residuos permanentes (Punj, Singh y Singh 2021).

Tabla 1. Grupos de biomateriales, características y algunos ejemplos de los más utilizados por grupo.

| Clase de biomaterial | Descripción de propiedades | Ejemplos y aplicaciones | Ref |
|----------------------------|---|--|---|
| Metálicos | <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Buenas propiedades mecánicas: alta resistencia a la tracción, fractura y fatiga. - Fácil de esterilizar a altas temperaturas. - Promueven la osteointegración. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hay casos (i.e. acero inoxidable) en los cuales la biocompatibilidad no es la adecuada y produce infecciones - Pueden degradarse antes de lo esperado, provocando una pérdida temprana de resistencia mecánica antes de la regeneración tisular (i.e. Mg y Fe). - La presencia prolongada puede desencadenar reacciones de hipersensibilidad cutánea y sistémica (i.e. acero, aleaciones de Co-Cr o Ti). - Se pueden corroer y dejar que algunos productos corroídos ingresen a los tejidos y provoquen una infección. | <ul style="list-style-type: none"> - <i>Magnesio</i>: stents y reparación de pequeñas fracturas. - <i>Titanio</i>: odontología, ortopedia y traumatología. - <i>Cobalto</i>: se utiliza principalmente en aleaciones para prevenir la corrosión. - <i>Acero inoxidable</i>: piezas protéticas en odontología y ortopedia. | <p>Prasad et. al. (2019)</p> <p>Wilson (2018)</p> <p>Tappa y Jammalamadaka (2018)</p> |
| Cerámicos | <p>Su origen puede ser natural o sintético</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propiedades fisicoquímicas buenas y comparables con algunas partes del cuerpo humano. - Excelente biocompatibilidad. - Baja degradabilidad. - No es corrosivo. - Baja plasticidad y tenacidad a la fractura. - Alta dureza, fragilidad y resistencia a compresión. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En casos como los biovidrios, suelen tener un precio elevado. | <p>Bioinertes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Aluminio</i>: ortopedia e implantes dentales. - <i>Zirconia</i>: en odontología (coronas, puentes y brackets). - <i>Carbono</i>: nanotubos de carbono. <p>Bioactivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Biovidrios/vitro cerámicas</i>: se utilizan como injerto óseo en diversas formas (i.e. granel, granular o porosa). <p>Bioabsorbibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Sulfato de calcio</i>: se utilizan en forma de gránulos o en suspensión inyectable para injertos óseos y portadores de antibióticos - <i>Fosfatos de calcio</i>: regeneración ósea, implantes dentales y artroplastias ortopédicas. Dentro de este grupo se encuentran el fosfato tricálcico, la hidroxiapatita y el fosfato de calcio bifásico. | <p>Punj, Singh y Singh (2021)</p> <p>Jazayeri et. al (2018)</p> |
| Polímeros Naturales | <p>Por lo general se utilizan en mezclas con polímeros sintéticos</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Altamente biocompatibles y bioactivos - Biomimetizan la superficie celular - Pueden realizar un remodelamiento natural <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - No se pueden molder en diversas formas por su baja resistencia a la temperatura - Contaminación microbiana - Débil resistencia mecánica - Tasa de degradación incontrolable - Algunos se obtienen a partir de animales y tienen elevados costos (i.e. colágeno) | <p>Origen proteico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Colágeno</i>: proteína estructural presente en la piel, en tendones, en hueso, en cartílago y en maculaduras. Hay 20 tipos. Dispositivos de administración de medicamentos y en procesos de cicatrización de heridas. Piel artificial, sustitutos de injertos óseos, implantes dentales, implantes para incontinencia, tendones y vasos sanguíneos artificiales, implantes corneales, regeneración de nervios, regeneración de cartílago, piel y órganos. - <i>Gelatina</i>: vendajes para heridas, entrega de moléculas y medicamentos, aumenta la eficiencia de reparación ósea <p>Origen de polisacáridos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Quitosano</i>: desarrollo de membranas e hidrogeles, la regeneración de nervios, piel y tejidos óseos y cartilaginosos la curación de heridas, - <i>Alginato</i>: apósito de heridas | <p>Punj, Singh y Singh (2021)</p> <p>Jazayeri et. al (2018)</p> |

Tabla 1. Grupos de biomateriales, características y algunos ejemplos de los más utilizados por grupo.

| Clase de biomaterial | Descripción de propiedades | Ejemplos y aplicaciones | Ref |
|----------------------|--|---|---|
| Sintéticos | <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se pueden procesar de diversas formas. - Tienen un menor grado de biocompatibilidad. - Predictible y con propiedades reproducibles. - Algunos presentan una buena biodegradación (i.e. PCL). - Altamente biocompatibles debido a su estructura química basada en Carbono. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Generan residuos y compuestos con altos índices de impurezas, impidiendo el crecimiento celular. - Algunos presentan baja bioactividad (i.e. PCL). - Productos de degradación pueden causar problemas. - No es posible esterilizarlos con altas temperaturas . | <ul style="list-style-type: none"> - <i>Poliésteres</i>: bioestables y biodegradables: PC, PET, PGA, PLLA, PLA. - <i>Polyeteres</i>: PEEK, utilizado en aplicaciones ortopédicas. PEG y PEO, utilizados para brindar una mejor degradación a otros materiales para la administración de fármacos, administración de genes, estructuras en ingeniería de tejidos e implantes. - <i>Poliolefinas</i>: PE y PP, utilizados para suturas y mallas implantables. - <i>Siliconas</i>: aplicaciones oftalmológicas y en implantes de mama. | <p>Bhatia y Bhatia (2016)</p> <p>Hacker, Krieghoff y Mikos (2019)</p> <p>Maitz (2015)</p> |

Los materiales utilizados para el andamio deben ser biodegradables⁵ y durante este proceso los productos de degradación deben ser eliminados por el cuerpo fácilmente sin causar efectos adversos. Adicionalmente la velocidad de degradación debe estar sincronizada con la formación del tejido (Bhargava et. al. 2021).

Las estructuras deben conservar las propiedades mecánicas durante el tiempo de la regeneración para garantizar la estabilidad del tejido y evitar un fallo estructural del implante (Bhargava et. al. 2021).

El diseño de nuevos materiales está en continuo desarrollo y crecimiento, buscando optimizar las propiedades mencionadas y con diversos métodos de fabricación, siendo un área de la ingeniería de tejidos con gran potencial a investigar. Otras innovaciones que tiene la ingeniería de tejidos es que para probar la biocompatibilidad de biomateriales se pueden cultivar células en el laboratorio y obtener resultados preliminares acerca de su toxicidad y reacciones previo a utilizar animales en experimentación, lo cual ha hecho que decrezca la tasa de uso de animales en el laboratorio (Urzi et. al. 2023); también se pueden estudiar bajo condiciones que simulan un ambiente parecido al cuerpo con el uso de biorreactores (Martin, Wendt y Heberer. 2004) y su uso junto con la impresión 3D están permitiendo cada vez más el avance de medicina personalizada para imprimir medicamentos con dosis ideales para cada paciente (dos Santos et. al. 2021) y en poder crear implantes a la medida (Wong. et. al. 2015).

Fabricación de andamios celulares para ingeniería de tejidos

Como se mencionó anteriormente, el rendimiento de un implante está afectado por diversas variables. Junto con las características fisicoquímicas del material, las técnicas de fabricación y las geometrías de los andamios de crecimiento celular pasan a ser especialmente críticos. El diseño del implante no solo contribuye a las propiedades mecánicas del implante sino también a la comunicación celular (Losic, 2021).

Las propiedades y geometrías del implante están directamente relacionadas con las técnicas de fabricación, de allí que es de vital importancia garantizar la reproducibilidad y el control de los parámetros de obtención de la pieza para lograr un buen producto y con un desempeño óptimo (Rúa & Ramírez, 2020).

Dentro de las opciones actuales de fabricación se encuentran las técnicas denominadas convencionales o clásicas (debido a que han sido las más utilizadas a través del tiempo), y la fabricación aditiva la cual es más nueva y se ha potenciado en las últimas décadas con el rápido desarrollo de los sistemas de impresión en 3D (Muguruza, 2019).

La selección de la técnica más apropiada dependerá de factores como el material a imprimir, la geometría de la pieza a fabricar y la disponibilidad de materiales y equipamiento en términos de costos y tecnología.

⁵ **Biodegradación:** degradación gradual de un biomaterial mediada por una actividad biológica específica, puede ser por hidrólisis, degradación enzimática o ambos (Bhargava et. al. 2021).

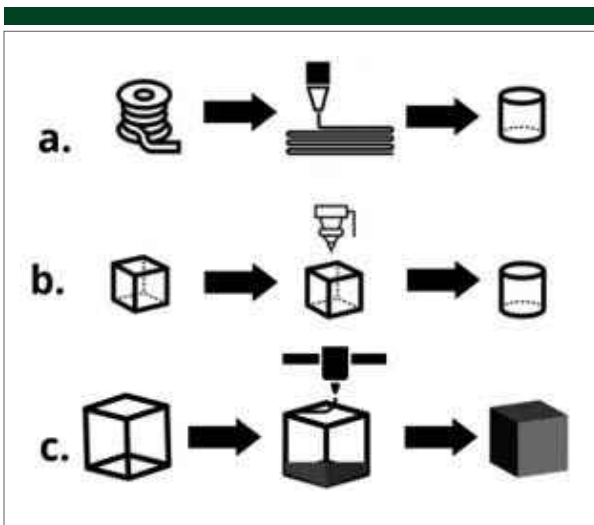


Figura 3. Técnicas de impresión 3D. a) Técnica aditiva. b) Técnica por sustracción c) Técnica por conformado. Imagen modificada de Gutierrez, 2023 (Gutierrez, 2023).

En la ingeniería de tejidos, la impresión 3D ha permitido la creación de andamios e implantes personalizados permitiendo adaptar forma y tamaño al paciente. Este proceso empieza con la obtención de una imagen médica, la cual posteriormente es tratada generando un modelo CAD lo cual permitirá su materialización mediante impresión 3D (Dadoo et al., 2021). Las técnicas de impresión permiten utilizar diversos materiales para fabricar guías para planificar cirugías y tratamientos o para directamente producir plataformas de crecimiento celular (Aimar et al., 2019). Actualmente existe una amplia diversidad de técnicas de impresión 3D en las cuales el material y la resolución de la impresión son los factores determinantes a la hora de decidir cual será la más conveniente (Chung et al., 2020).

Las técnicas de impresión 3D se basan en tres procesos principales que son: técnicas aditivas, en la cual se genera una pieza mediante la adición de un material capa por capa; sustractivas en la cual se parte de un bloque sólido en el cual se remueve el material sobrante hasta obtener la pieza final; o por conformado donde se hacen transformaciones del material usando moldes o fuerzas hasta obtener la pieza deseada (Tian et al., 2021). Eventualmente también podría existir una cuarta técnica denominada híbrida si se combinan algunas de las técnicas anteriormente mencionadas.

Las piezas 3D se pueden fabricar a partir de hilos muy delgados y depositarlos capa por capa en formas ordenadas o desordenadas (Praveena et al., 2022). También podemos partir con el material en polvo o gránulos e incluso láminas desordenadas (León et al., 2019). En muchos casos se

necesitará de temperatura y presión y hacer pasar el material a través de un orificio con forma más o menos compleja y continua, de manera tal que el material adquiera una sección transversal igual a la del orificio desordenadas (Reina, 2023). También se pueden incorporar procesos fotoquímicos en los cuales las reacciones químicas asociadas a la conformación y solidificación del material dependen de la luz a la cual está expuesto, como es en el caso de algunos polímeros (Bacha et al., 2021).

Uno de los métodos más populares para impresión 3D es el modelado por deposición fundida (también conocido como *fused deposition modeling* o FDM por sus siglas en inglés). En ingeniería de tejidos es altamente utilizada debido a su flexibilidad al momento de poder utilizar una amplia gama de materiales como polímeros, cerámicos y compuestos (Chung et al., 2020). El principio de la técnica FDM se basa en depositar el material capa por capa, siguiendo un camino definido en las dimensiones XY. Al terminar con este plano, el extrusor se eleva una capa en el plano Z para proseguir con la deposición de material (Suamte et al., 2023). Las ventajas de utilizar este método es que permite la extrusión o expulsión de polímeros termoplásticos sin utilizar disolventes orgánicos tóxicos, permitiendo seguridad a los operarios y evitando dañar el ambiente. A pesar de sus bondades, el proceso de fusión puede afectar directamente a las propiedades del material debido a las altas temperaturas que se manejan durante el proceso (Farid et al., 2019).

Por otro lado, la estereolitografía (*Stereolithography* o SLA según sus siglas en inglés) es una técnica de impresión 3D que permite fabricar sólidos por impresión secuencial utilizando materiales fotosensibles a la luz ultravioleta (UV). Este método tiene cuatro componentes principales, el tanque el cual contiene resina líquida⁶ fotosensible, el sistema dinámico, plataforma móvil y un láser UV (Suamte et al., 2023). Se caracteriza por obtener objetos impresos a una mayor resolución además de que ofrece una ventaja en la fabricación de objetos que se asemejan a las estructuras celulares en términos de diseño (Chung et al., 2020). Una limitación en cuanto al material utilizado en la técnica es que la resina utilizada puede ser citotóxica, limitando las aplicaciones potenciales de los objetos impresos ya que no podrían tener contacto con tejidos vivos (Chung et al., 2020) (Suamte et al., 2023).

A medida que evoluciona la tecnología se abren oportunidades para mejorar la impresión 3D. Una de las técnicas revolucionarias es la sinterización selectiva por láser (o *selective laser sintering* o SLS por sus siglas en inglés). Este método de impresión permite solidificar partículas de polvo en capas delgadas mediante el proceso de fabricación aditiva (Suamte

⁶ Es el material que se utiliza para la impresión 3D por estereolitografía, está compuesta a base de polímeros thermosets. (Zastrow, 2020))

Tabla 2. Técnicas de impresión 3D y materiales.

| Materiales | Tecnología | | |
|-----------------------|-----------------|----------|-------|
| | FDM | SLA | SLS |
| Polímeros | | | |
| Materiales compuestos | | | |
| Cerámicos | | | |
| Metal | | | |
| Costo | ++ | | +++ |
| Fuente de energía | Energía térmica | Láser UV | Láser |

Imagen de los autores.

et al., 2023). El funcionamiento de este método se debe a la fusión selectiva con el láser, en el que se disparan pulsos con precisión para fundir el polvo los cuales luego se solidifican, de esta manera se crea el andamio deseado. Este proceso se repite secuencialmente aplicando múltiples capas de polvo hasta obtener un objeto 3D (Chung et al., 2020). Cabe mencionar que los materiales utilizados en esta técnica pueden ser incluso metálicos. Los metales como el magnesio (Mg), zinc (Zn) y hierro (Fe) desempeñan un papel esencial en la ingeniería de tejidos debido a que son elementos esenciales para el funcionamiento de tejidos vivos y son degradables en el cuerpo (Mirkhalaf et al., 2023).

Con respecto a la actualidad de la UVG, el panorama con el uso de tecnología basada en impresión 3D es particularmente favorable ya que cuenta con una iniciativa que ofrece una serie de beneficios para los integrantes de la institución. La UVG tiene como misión formar profesionales comprometidos e ingeniosos y esto lo logra por medio de sus valores. Uno de ellos es el de innovación y emprendimiento, gracias a esto surge la creación del MakerLab para las carreras de ingeniería mecatrónica, electrónica y biomédica un espacio en donde la creatividad toma forma. En este espacio se encuentran varias impresoras 3D, las cuales están a disposición de los alumnos permitiendo la fabricación de todo tipo piezas, este espacio esta designado exclusivamente para proyectos universitarios lo que lo convierte en un espacio ideal realizar proyectos internos. En el 2017 se ensambló una de las primeras impresoras 3D en la universidad, la cual tenía la característica de auto calibrarse en el eje Z, permitiendo la fabricación de piezas, objetos y placas. Los proyectos de impresión realizados en el MakerLab hoy en día se utilizan con formato STL, el cual es uno de los formatos de archivo de impresión 3D más utilizados (Barrera, 2019).

Posteriormente, en el 2018, se creó un espacio conocido como makerspace D-Hive dirigido a docentes, personal administrativo y todas las carreras de la UVG permitiendo poner a disposición de toda la comunidad universitaria tecnología como cortadoras láser, escáner 3D, termoformadoras, máquinas de coser, planchas de transferencia de calor, distintas herramientas de mecánica, cortadoras de vinil e impresoras 3D. Esta iniciativa nace para minimizar las barreras que existen entre una idea y poder materializarla (Comercial 2018). Actualmente en este año (2023) este espacio cuenta con nueve impresoras 3D Ultimaker de filamento que trabajaban bajo el principio de modelado por deposición fundida (FDM), las cuales tienen la capacidad de imprimir geometrías complejas utilizando materiales de grado industrial tales como PLA, NYLON, TPU, CPE y policarbonato. Un ejemplo del gran impacto de esta infraestructura en nuestra comunidad universitaria fue evidenciado durante la emergencia por la pandemia COVID-19 en la cual en este espacio se fabricaron marcos plásticos para caretas de protección (Barrera, 2020).

Aplicaciones y posibles usos de la ingeniería de tejidos

Guatemala es un país en vía de desarrollo, con un gran potencial de innovación en el área de la ciencia y la tecnología. Por su parte, la ingeniería biomédica es una carrera que inició en el país a partir del año 2019, en las universidades Galileo, Del Valle y Mariano Gálvez.

Como ya se ha mencionado a través del artículo, la ingeniería de tejidos, la impresión 3D y la medicina regenerativa ofrece múltiples alternativas para diversidad de aplicaciones. Entre los tejidos más explorados desde este campo se encuentran la piel, el sistema cardiovascular, el sistema óseo y el sistema nervioso, (Roldán et al., 2016). Poco a poco nuevos tejidos y problemáticas médicas avanzadas se han ido sumando a la lista, como soluciones a problemas de miocardio, válvulas, esófago, tráquea e incluso vasos sanguíneos (Fuchs et al., 2001).

El desarrollo y uso de la ingeniería de tejidos en el mundo aumenta cada año exponencialmente debido a las múltiples posibilidades que se pueden ofrecer y Guatemala no debería ser la excepción a esta tendencia. Para mencionar un caso específico donde podríamos entender de una forma más clara el impacto de esta área en nuestra comunidad, daremos el ejemplo de la captación, donación y el proceso de trasplante de órganos. En Guatemala, la cultura de donación de órganos es baja, limitándose solo a dos hospitales capaces de contar con donaciones, de órganos limitados, desgraciadamente, los trasplantes no satisfacen la creciente demanda de pacientes con insuficiencia orgánica terminal (García-Gallont, et al., 2015).

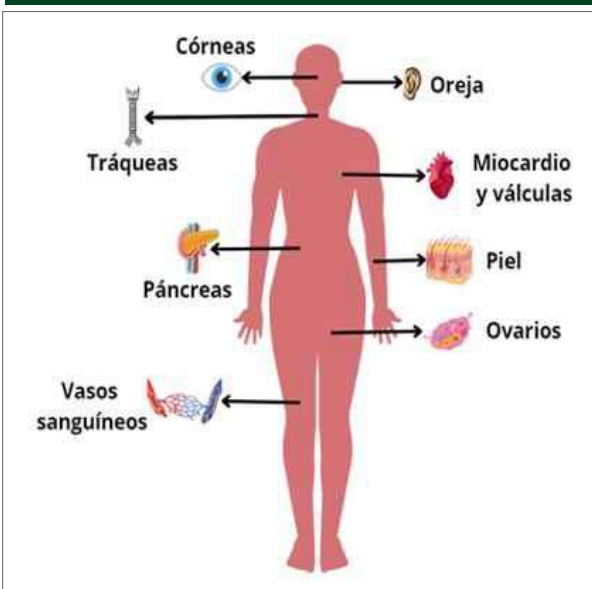


Figura 4. Posibles aplicaciones de bioimpresión 3D. Imagen de los autores.

Múltiples reportes a nivel mundial registran las bondades de la ingeniería de tejidos en el tratamiento de enfermedades degenerativas, reducir el rechazo a tejidos, brindar apoyo a nivel de distintas áreas médicas y brindar alternativas a las donaciones de órganos (Roldán et al., 2016). A continuación, describiremos algunas aplicaciones donde podemos ver el impacto de trabajar en este nuevo campo del conocimiento Figura 4.

- **Piel:** En cuanto a la aplicación de la ingeniería de tejidos en piel, muchos de los progresos se encuentran dirigidos a la creación de sustitutos dérmicos, epidérmicos y compuestos que pueden ser usados para el reemplazo de piel en quemaduras, detectar materiales corrosivos, conocer sobre las corrientes eléctricas en la piel y para la evaluación de fármacos o productos de cosmética disminuyendo el uso de modelos animales, que en otros países aún se encuentra vigente, mientras que en Guatemala es regulado por el decreto 05-2017, conocida como la Ley de Protección y Bienestar Animal, dando con la ingeniería de tejidos una alternativa para experimentación (Groeber et al., 2011). Con respecto a Guatemala, cada año, se reciben aproximadamente 402 personas, solo en el mes de diciembre, que resultan con quemaduras graves debido a accidentes con líquidos a altas temperaturas y fuegos artificiales (Mspas, 2022) de allí que la ingeniería de tejidos puede ser una opción terapéutica para disponer de constructos tisulares y con disposición relativamente rápida para facilitar los procesos de cicatrización y regeneración tisular. De esta manera se evita el uso de injertos autólogos.

- **Sistema cardiovascular:** Según estudios del gobierno de Guatemala durante el 2020, la mortalidad por enfermedades asociadas al sistema cardiovascular fue de 17.622, entre los cuales los problemas más frecuentes fueron infartos, derrames cerebrales, insuficiencia cardíaca, arritmias y problemas arteriales periféricos. (Mspas, 2020) lo que evidencia la necesidad de intervenir en este ámbito para lograr un alto impacto en el bienestar de salud de la nación. Los problemas cardiovasculares no solo representan disminución de la calidad de vida del paciente sino también muertes prematuras lo que se traduce en altos costos para el sistema. En esta problemática varios de los estudios que se concentran en el sistema cardiovascular desde la ingeniería de tejidos buscan combinar materiales y células regenerativas para brindar nuevas opciones de tratamiento. Un ejemplo de ello es la posibilidad de regenerar tejido cardíaco tras un infarto de miocardio usando materiales flexibles, hidrogeles cargados con células madre o parches que permiten ser portadores de moléculas e incluso ser estimulados eléctricamente para favorecer la repoblación celular del lugar afectado. Otro ejemplo es el desarrollo y optimización de stents biodegradables, que son implantados y tienen una vida corta/mediana con el fin de solo generar la apertura de las arterias permaneciendo en el cuerpo solo el tiempo necesario evitando que el cuerpo posteriormente reaccione contra el. Un último ejemplo es también la fabricación de válvulas cardíacas que pueden imprimirse por tecnologías 3D y con la posibilidad revolucionaria de adaptarse a estructuras específicas de una forma personalizada e incluso cambiar su configuración estructural y física lo cual puede ser de alto impacto en pacientes pediátricos en proceso de desarrollo, en el cual el caso ideal sería que el implante se adaptará al crecimiento anatómico y funcional con el paso del tiempo (Konsek et al., 2023) disminuyendo la cantidad de paros cardíacos y muertes prematuras en la población. Además, ahorrando algunos de los riesgos que conlleva una prótesis de válvula.

- **Hueso:** Enfermedades que involucran el sistema óseo son muy frecuentes en poblaciones de todas las edades por accidentes, enfermedades congénitas o degenerativas La osteoporosis afecta a una de cada tres mujeres y uno de cada ocho hombres, mayores a lo largo de su vida (Gil&Martínez, 2016), lo cual los hace especialmente susceptible a fracturas. Las cirugías ortopédicas y los procesos de recuperación de pacientes implican para el sistema nacional una gran inversión de tiempo y dinero. Según el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social se calcula que los implantes de cadera, prótesis u operaciones pueden representar un costo de 5.000 (640 USD), hasta 25.000 (3.190USD) por paciente (IGSS, 2022). Adicionalmente en algunos casos los implantes como es el caso de los sistemas fijadores de fractura una vez cumplido el plazo deben ser removidos del cuerpo lo cual implica alto riesgo de infecciones, mayor cantidad de gastos médicos, incapacidad e incomodidad y dolor del

paciente (Widmer, 2001) (Thomas, 2014) (Bairagi&Mandal, 2022). Otro problema adicional es la aparición de alergias o rechazos a materiales que no son tan compatibles con las condiciones específicas del paciente (Kunutsor et al., 2015). En vista de disminuir estos problemas y sumar una nueva opción terapéutica, la ingeniería de tejidos ofrece soluciones que incluye la selección y diseño de nuevos biomateriales, la potenciación del tratamiento mediante el uso de moléculas osteoprogenitoras y la impresión 3D para generar estructuras donde las células se puedan comunicar entre ellas para facilitar y agilizar el proceso de regeneración ósea (Jakob et al., 2013).

• **Otros tejidos:** La impresión 3D ha ayudado en otras áreas como en la regeneración de córneas que benefician a más de 1.5 millones de personas y con esto se puede ayudar a pacientes con problemas de ceguera (Ghezzi et al., 2015) (Alicia, 2013). También se están tratando ovarios que cuentan con padecimientos tempranos, ayudando a la fertilidad por medio de tratamiento con células madre, activación *in-vitro* o andamios (Ghahremani~Nasab et al., 2013), y en un futuro las impresiones 3D de ovarios, que han demostrado su funcionalidad en pruebas en ratones hembra (Laronda et al., 2017). Otro órgano en el que se ha investigado en este campo es el páncreas. Se han realizado pruebas en páncreas impresos en 3D, para soluciones a la diabetes tipo 1, donde el tratamiento suele ser el trasplante de células pancreáticas de islotes (Kim et al., 2019).

La impresión 3D también es muy útil en la obtención de modelos quirúrgicos donde la práctica clínica debe ser adquirida por fuera del paciente. Modelos de tráqueas obtenidos por 3D son una opción para entrenar a personal en procesos de intubación en casos de problemas respiratorios (cricotiroidotomía) (Doucet et al., 2017).

Ingeniería de tejidos en Guatemala

La tecnología de la ingeniería de tejidos no es ajena a nuestro país y poco a poco nos vamos acercando a ella. Hoy en día ya se inician las gestiones y diseños de nuevos laboratorios, como centros que tratan infertilidad, cultivos celulares de células madre umbilicales y utilizarlas mismas para tratamientos a diferentes situaciones médicas.

Aunque ya vemos una intención de modernizarnos en esta dirección, aún es necesario unir esfuerzos a nivel empresarial, académico y político para hacer que todas estas herramientas lleguen a todas las poblaciones que lo necesitan y que no sea solo una opción para aquellos que tienen los recursos económicos. Por poner un ejemplo sencillo, la impresión 3D inicialmente era una tecnología muy exclusiva y con pocos lugares donde se practicaba, hoy en día mucha población infantil, adolescente, y adulta puede tener una en casa para diseñar sus propios modelos y dejar volar la imaginación en construcciones creativas en diferentes direcciones.

La impresión 3D en el país se emplea en diferentes usos como lo es en fabricación de accesorios como aretes, llaveros, obras de arte, juguetes, etc. En medicina también se está usando esta tecnología para poder hacer modelos quirúrgicos y otras herramientas como soportes e instrumentos de laboratorio que facilitan experimentos y procesos industriales. Ahora el gran reto es poder imprimir materiales biocompatibles que sean implantables y poder llegar a usar estos andamios para que combinados con las células y las moléculas puedan ser una opción para tratar enfermedades sin que llegue a afectar de ninguna manera la bioética determinada por el país, donde cada centro de investigación y hospital, ya sean privados o públicos, debe de contar con un comité de ética donde los casos sean expuestos y logren regular las aplicaciones de la ingeniería de tejidos, según lo dice el Artículo 158 del Código de Guatemala, decreto 90-97 del Congreso de la República (Díaz, 2010). Al llegar al punto de la introducción de ingeniería de tejidos al país, nos podemos hallar con retos debido a la falta de regulaciones de más leyes sobre la bioética, por lo que se necesitaría de una nueva entidad que regule leyes específicas de bioética a nivel nacional, que determine las prácticas correctas e incorrectas específicas.

El sueño de poder tener centros especializados donde podamos fabricar órganos y tejidos en el laboratorio tendrá como fin principal poder ser un espacio en los centros hospitalarios donde se pueda cumplir toda la cadena de producción que incluya la obtención de una biopsia del paciente, el aislamiento y expansión de las células, el cultivo de estas células en andamios 3D y para finalizar el proceso, su reimplantación en el paciente.

Conclusiones

- La ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa son nuevas áreas de la ciencia en la cuales materiales, células y moléculas son combinadas para crear tejidos y órganos para mejorar la calidad de la raza humana.
- Existe una amplia variedad de biomateriales para fabricación de andamios y poder aplicarlos en regeneración tisular.
- La tecnología de fabricación aditiva y especialmente la tecnología de impresión 3D ofrece múltiples opciones para imprimir diferentes tipos de materiales y estructuras dirigiéndose a la medicina personalizada que busca hacer implantes que se adaptan al paciente y no viceversa.
- Guatemala cuenta con gran potencial de innovación en el área científica, y la bioimpresión 3D aporta a la mejora de tratamientos médicos del país. La generación de nuevo

conocimiento y la incorporación de tecnología de punta que ya se está llevando a cabo en otros países requiere de un esfuerzo mancomunado desde la perspectiva de diferentes sectores como el académico, el industrial, el empresarial y el político para poder incursionar en estas nuevas tecnologías.

- Uno de los mayores retos de la ingeniería de tejidos es hacerla más asequible a toda la población reduciendo costos, optimizando procesos sin afectar la calidad de los resultados y permitir su introducción dentro de la legislación y demostrar las aplicaciones que se pueden tener sin afectar la bioética establecida.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad del Valle de Guatemala por la oportunidad de poder difundir información sobre esta nueva área de tecnologías dirigidas al sector salud. También agradecemos a la docente Mónica Echeverry Rendón por incentivarnos y motivarnos a esta aventura de escribir nuestro primer artículo científico, por su paciencia y guianza. Además agradecemos a la Ing. Cecilia Stefania Marsicovetere Fanjul encargada del espacio DHive por haber apoyado en la revisión de información sobre la disponibilidad del equipo de la universidad.

Bibliografía

Aimar, A., Palermo, A., & Innocenti, B. (2019). The role of 3D printing in medical applications: a state of the art. *Journal of healthcare engineering*, 2019.

Alicia, M. (2023, February 2). *Proyectos de bioimpresión: órganos y tejidos impresos en 3D*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/proyectos-bioimpresion-organos-tejidos-impresos-3d-070420202/>

Bacha, T. W., Manuguerra, D. C., Marano, R. A., & Stanzione, J. F. (2021). Hydrophilic modification of SLA 3D printed droplet generators by photochemical grafting. *RSC advances*, 11(35), 21745-21753.

Bairagi, D., & Mandal, S. (2022). A comprehensive review on biocompatible Mg-based alloys as temporary orthopaedic implants: Current status, challenges, and future prospects. *Journal of Magnesium and Alloys*, 10(3), 627-669.

Barrera, P. (2019, marzo 13). *MakerLab: el laboratorio-semillero con las máquinas más increíbles*. Actualidad UVG; Noticias UVG. <https://noticias.uvg.edu.gt/makerlab-mecatronica-ingenieria-electronica-uvg-impresora-3d-circuitos-impresos>

Barrera, P. (2020, abril 23). Nos unimos a la comunidad maker imprimiendo marcos para caretas de protección. Actualidad UVG; Noticias UVG. <https://noticias.uvg.edu.gt/marcos-caretas-proteccion-3d-uvg-dhive/>

Bhatia, S., & Bhatia, S. (2016). Natural polymers vs synthetic polymer. *Natural polymer drug delivery systems: nanoparticles, plants, and algae*, 95-118.

Bandyopadhyay, A., & Bose, S. (Eds.). (2013). *Characterization of biomaterials*. Newnes.

Bhargava, A. C., Mains, K., Siu, A., Gu, J., Zarzar, J., Yi, L., & Yuk, I. H. (2021). High-throughput, fluorescence-based esterase activity assay for assessing polysorbate degradation risk during biopharmaceutical development. *Pharmaceutical Research*, 38, 397-413.

Cao, Y., Vacanti, J. P., Paige, K. T., Upton, J., & Vacanti, C. A. (1997). Transplantation of chondrocytes utilizing a polymer-cell construct to produce tissue-engineered cartilage in the shape of a human ear. *Plastic and reconstructive surgery*, 100(2), 297. https://journals.lww.com/plasreconsurg/abstract/1997/08000/transplantation_of_chondrocytes_utilizing_a.1.aspx

Chanes-Cuevas, O. A., Perez-Soria, A., Cruz-Maya, I., Guarino, V., & Alvarez-Perez, M. A. (2018). Macro-, micro-and mesoporous materials for tissue engineering applications. *AIMS Materials Science*, 5(6).

Chung, J. J., Im, H., Kim, S. H., Park, J. W., & Jung, Y. (2020). Toward biomimetic scaffolds for tissue engineering: 3D printing techniques in regenerative medicine. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 8.

Comercial, R. (2018, julio 12). *El Makerspace D-Hive ya está abierto*. Prensa Libre. <https://www.prensalibre.com/economia/vida-empresarial/el-makerspace-dhive-ya-esta-abierto/>

Dadoo, A., Jain, S., Mowar, A., Bansal, V., & Trivedi, A. (2021). 3D printing using CAD technology or 3D scanners, a paradigm shift in dentistry-a review. *Int. J. Med. Dent. Res*, 1, 35-40.

Díaz, M. (2010). Los comités de bioética en los hospitales públicos y privados de Guatemala [Tesis de licenciatura]. Universidad del ISTMO de Guatemala.

Dolcimascolo, A., Calabrese, G., Conoci, S., & Parenti, R. (2019). Innovative biomaterials for tissue engineering. In *Biomaterial-supported tissue reconstruction or regeneration*. IntechOpen.

Donnaloja, F., Jacchetti, E., Soncini, M., & Raimondi, M. T. (2020). Natural and synthetic polymers for bone scaffolds optimization. *Polymers*, 12(4), 905.

Dos Santos, J., de Oliveira, R. S., de Oliveira, T. V., Velho, M. C., Konrad, M. V., da Silva, G. S., ... & Beck, R. C. (2021). 3D printing and nanotechnology: a multiscale alliance in personalized medicine. *Advanced functional materials*, 31(16), 2009691.

Doucet, G., Ryan, S. F., Bartellas, M., Parsons, M. H., Dubrowski, A., & Renouf, T. (2017). Modelling and manufacturing of a 3D printed trachea for cricothyroidotomy simulation. *PubMed*, 9(8), e1575. <https://doi.org/10.7759/cureus.1575>

Eldeeb, A. E., Salah, S., & Elkasabgy, N. A. (2022). Biomaterials for tissue engineering applications and current updates in the field: A comprehensive review. *AAPS PharmSciTech*, 23(7).

Farid Eltom, Zhi, G., & Ameen, M. (2019). Scaffold Techniques and Designs in Tissue Engineering Functions and Purposes: A Review. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2019/3429527>

Fuchs, J. R., Nasser, B. A., & Vacanti, J. P. (2001). Tissue engineering: a 21st century solution to surgical reconstruction. *The Annals of thoracic surgery*, 72(2), 577-591.

Fonseca, D. R., Sobreiro-Almeida, R., Sol, P. C., & Neves, N. M. (2018). Development of non-orthogonal 3D-printed scaffolds to enhance their osteogenic performance. *Biomaterials science*, 6(6), 1569-1579.

García-Gallont, R., Matesanz, R., & Delmonico, F. L. (2015). Organ donation and transplantation in Central America. *Transplantation*, 99(3), 459-460.

Ghahremani, Nasab, M., Ghanbari, E., Jahanbani, Y., Mehdizadeh, A., & Yousefi, M. (2020). Premature ovarian failure and tissue engineering. *Journal of cellular physiology*, 235(5), 4217-4226.

Ghezzi, C. E., Rnjak-Kovacic, J., & Kaplan, D. L. (2015). Corneal tissue engineering: recent advances and future perspectives. *Tissue Engineering Part B: Reviews*, 21(3), 278-287.

Gil, A., Martínez, S., (2016) Osteoporosis. Conocimiento sobre prevención, tratamiento y complicaciones de estudiantes universitarios. *Rev. Fac. Med*, 1(20): II Época, Ene-Jun. pp. 29-3

Groeber, F., Holeiter, M., Hampel, M., Hinderer, S., & Schenke-Layland, K. (2011). Skin tissue engineering-in vivo and in vitro applications. *Advanced drug delivery reviews*, 63(4-5), 352-366.

Gutierrez, D. (2023, May 31). Tips para elegir entre la fabricación sustractiva o aditiva. <http://Intelligy.com/>. <https://intelligy.com/blog/2023/05/15/tips-para-elegir-entre-la-fabricacion-sustractiva-o-aditiva/>

- Habib, F. N., Nikzad, M., Masood, S. H., & Saifullah, A. B. M. (2016). Design and development of scaffolds for tissue engineering using three-dimensional printing for bio-based applications. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 3(2), 119-127.
- Hacker, M. C., Krieghoff, J., & Mikos, A. G. (2019). Synthetic polymers. In *Principles of regenerative medicine* (pp. 559-590). Academic press.
- IGSS. (2022, March 1). *El IGSS fabrica prótesis y órtesis para pacientes amputados*. Noticias IGSS. Recuperado el 23 de septiembre de 2023.
- Jakob, F., Ebert, R., Ignatius, A., Matsushita, T., Watanabe, Y., Groll, J., & Walles, H. (2013). *Bone tissue engineering in osteoporosis*. *Maturitas*, 75(2), 118-124.
- Jazayeri, H. E., Rodriguez-Romero, M., Razavi, M., Tahriri, M., Ganjawalla, K., Rasouljanboroujeni, M., ... & Tayebi, L. (2018). The cross-disciplinary emergence of 3D printed bioceramic scaffolds in orthopedic bioengineering. *Ceramics International*, 44(1), 1-9.
- Kim, J., Kang, K., Drogemuller, C. J., Wallace, G. G., & Coates, P. T. (2019). Bioprinting an artificial pancreas for type 1 diabetes. *Current diabetes reports*, 19, 1-10.
- Konsek, H., Sherard, C., Bisbee, C., Kang, L., Turek, J. W., & Rajab, T. K. (2023). Growing heart valve implants for children. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 10(4), 148.
- KruszeInicki, K. S. (2020). Mouse with human ear. <https://www.abc.net.au/science/articles/2006/06/02/1644154.html>
- Kunutsor, S. K., Whitehouse, M. R., Blom, A. W., Beswick, A. D., & Inform Team. (2015). Re-infection outcomes following one-and two-stage surgical revision of infected hip prosthesis: a systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 10(9), e0139166.
- Lane, J.M., Mait, J.E., Unnanantana, A., Hirsch, B.P., Shaffer, A.D., Shonuga, O.A. (2011). *Materials in Fracture Fixation*. *Comprehensive Biomaterials* (Vol. 6).
- Laronda, M. M., Rutz, A. L., Xiao, S., Whelan, K. A., Duncan, F. E., Roth, E. W., ... & Shah, R. N. (2017). A bioprosthetic ovary created using 3D printed microporous scaffolds restores ovarian function in sterilized mice. *Nature communications*, 8(1), 15261.
- León, M., Marcos-Fernández, Á., & Rodríguez-Hernández, J. (2019). Impresión 3D con materiales elásticos.
- Losic, D. (2021). Advancing of titanium medical implants by surface engineering: Recent progress and challenges. *Expert opinion on drug delivery*, 18(10), 1355-1378.
- Maitz, M. F. (2015). Applications of synthetic polymers in clinical medicine. *Biosurface and Biotechnology*, 1(3), 161-176.
- Martin, I., Wendt, D., & Heberer, M. (2004). The role of bioreactors in tissue engineering. *TRENDS in Biotechnology*, 22(2), 80-86.
- Mirkhalaf, M., Men, Y., Wang, R., No, Y., & Zreiqat, H. (2023). Personalized 3D printed bone scaffolds: A review. *Acta Biomaterialia*, 156, 110-124.
- Mspas. (2020). Análisis de Situación de Enfermedades No Transmisibles 2020. <https://epidemiologia.mspas.gob.gt/phocadownload/userupload/enfermedades-no-transmisibles/analisis-ent-2020.pdf>
- Mspas. (2022). Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social - Servicios de salud brindaron atención a casi 10 mil personas. www.mspas.gob.gt.
- Murphy, C. M., O'Brien, F. J., Little, D. G., & Schindeler, A. (2013). Cell-scaffold interactions in the bone tissue engineering triad. In *European Cells and Materials* (Vol. 26, pp. 120-132). AO Research Institute Davos.
- Muguruza Blanco, A. (2019). Contribución a las tecnologías de fabricación aditiva para la obtención de piezas multimaterial, combinando la impresión 3D por máscara con la impresión funcional mediante sistemas InkJet.
- Nikolova, M. P., & Chavali, M. S. (2019). Recent advances in biomaterials for 3D scaffolds: A review. *Bioactive Materials*, 4, 271-292.

Desempeño de la prueba de diagnóstico rápido (PDR) CareStart™ para la detección de *Plasmodium vivax*, en un foco de transmisión activa en un contexto de eliminación en el año 2019

Díaz Martínez, C.R.^{1,2} / Echeverría Barillas, J.M.¹ / Mendizábal-Cabrera, R.^{2,3}

¹ Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social

² Maestría en Epidemiología, Universidad del Valle de Guatemala

³ Centro de Estudios en Salud, Universidad del Valle de Guatemala

RESUMEN: *Introducción:* La malaria es una enfermedad producida por el parásito *Plasmodium* y transmitida por el vector del género *Anopheles*. El diagnóstico se realiza por prueba de diagnóstico rápido (PDR) y gota gruesa (GG). Este estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño de la PDR CareStart™ con relación a la parasitológica por microscopía.

Métodos: Estudio aplicativo, observacional, retrospectivo, transversal con datos de pacientes con malaria registrados por el MSPAS por vigilancia pasiva y activa entre enero y diciembre de 2019 por personal de salud y de la comunidad en el departamento de Escuintla, Guatemala. La información fue obtenida en Microsoft Excel y analizada en RStudio. Se calculó la sensibilidad, especificidad, razones de probabilidad y valores predictivos de la PDR. También se determinó la concordancia mediante el cálculo de la Kappa Cohen.

Resultados: Fueron analizados 15215 resultados, de los cuales 714 (4.7%) fueron positivos para *P. vivax* por PDR y 767 (5.0%) por microscopía, mientras que 14448 fueron negativos por ambos métodos. La PDR obtuvo una sensibilidad de 93% (IC95%, 91% - 95%) y una especificidad del 100% (IC 95%, 100% - 100%). La concordancia encontrada con el índice de kappa fue de 0.96 (IC95%, 95- 97), con un valor $p < 0.05$.

Discusión: La PDR mostró una alta especificidad, sensibilidad y excelente concordancia con la microscopía, en coherencia con el reporte de desempeño y recomendaciones de la OMS. La PDR podría utilizarse en comunidades postergadas, permitiendo una respuesta oportuna y apoyar al proceso de eliminación en lugares donde persiste la transmisión de la enfermedad.

PALABRAS CLAVE: (PDR) Prueba de diagnóstico rápido, (GG) Gota gruesa, (OMS) Organización Mundial de la Salud, (MSPAS) Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, (MTILD) Mosquiteros Tratados con Insecticidas de Larga Duración, (RRI) Rociado Residual Intradomiciliar, (pLDH) Lactato Deshidrogenasa de *Plasmodium*, (HRP2) Proteína Rica en Histidina de *Plasmodium*, (PDP) Puntaje de Detección del Panel, (DTIR) Diagnóstico, Tratamiento, Investigación y Respuesta, (SIGSA) Sistema de Información Gerencial de Salud, (CS) Centros de Salud, (CAP) Centros de Atención Permanente, (CAIMI) Centro de Atención Integral Materno Infantil, (PS) Puestos de Salud, (CoVol) Colaboradores Voluntarios, (ROC) Receiver Operating Characteristic, (AUC) Área Bajo la Curva, (RP) Razones de probabilidad, (VP) Valores predictivos.

Performance of the CareStart™ rapid diagnostic test (RDT) for the detection of *Plasmodium vivax*, in at active transmission dynamics in the year 2019

ABSTRACT: *Introduction:* Malaria is a disease caused by the *Plasmodium* parasite and transmitted by infected female *Anopheles* mosquitos. In Guatemala, diagnosis is made by rapid diagnostic test (RDT) and thick smear (TS), also known as microscopy. Our study aimed to evaluate the performance of the CareStart™ RDT compared to microscopy in an endemic region of the country.

Methods: We conducted an applicative, observational, retrospective, cross-sectional study with data from patients with malaria tests registered by MSPAS through both passive and active surveillance between January and December 2019. All tests were performed by health personnel and community health workers in the department of Escuintla. The test results were summarized in Microsoft Excel and analyzed in RStudio. We calculated the sensitivity, specificity, likelihood ratios, and predictive values of the RDT and determined concordance by calculating the Kappa Cohen.

Results: We analyzed 15,215 results and found 714 (4.7%) were positive for PDR and 767 (5.0%) for microscopy, while 14,448 were negative by both methods. The RDT had a sensitivity of 93% (CI 95%, 91% - 95%) and a specificity of 100% (CI 95%, 100% - 100%). The concordance with the kappa index was 0.96 (95%CI, 95-97), with a p value < 0.05 .

Discussion: The CareStart™ RDT demonstrated high specificity, sensitivity, and excellent concordance with microscopy, in accordance with the performance report and WHO recommendations. Our findings suggest that RDTs are a reliable diagnostic tool and can be used in communities with limited access to health services to diagnose and respond to cases in a timely manner, ultimately supporting Guatemala's push towards malaria elimination in places where disease transmission persists.

KEYWORDS: (RDT) Rapid Diagnostic Test, (TS) Thick Smear, (WHO) World Health Organization, (MSPAS) Ministry of Health and Social Assistance, (LLINs) Long-Lasting Insecticidal Nets, (IRS) Indoor Residual Spraying, (pLDH) *Plasmodium* Lactate dehydrogenase, (HRP2) *Plasmodium* Histidine-Rich Protein 2, (PDS) Panel Detection Score, (DTIR) Diagnosis, Treatment, Investigation and Response, (SIGSA) Health Management Information System, (CS) Health Centers, (CAP) Permanent Attention Center, (CAIMI) Maternal and Child Integral Attention Center, (PS) Health Posts, (CoVol) Community Health Volunteers, (ROC) Receiver Operating Characteristic, (AUC) Area under de curve, (LR) Likelihood ratios, (PV) Predictive Values.

Introducción

La malaria es una enfermedad zoonótica endémica de Guatemala, la cual es producida por el parásito *Plasmodium* y transmitida por el vector del género *Anopheles*. En Guatemala la detección de casos se realiza por vigilancia activa, a cargo del personal institucional y por vigilancia pasiva, mediante la detección de casos que acuden en búsqueda de tratamiento a la red de servicios de salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) y colaboradores voluntarios en la comunidad (MSPAS, 2018). Derivado de los esfuerzos para eliminar la transmisión de la enfermedad, la incidencia de casos ha disminuido en los últimos años en un 38%, de 2035 casos en 2019 (12 casos por 100,000 habitantes) a 1258 casos en 2021 (7 casos por 100,000 habitantes) y hasta 502 casos hasta mayo de 2022 (3 casos por 100,000 habitantes), (MSPAS, 2022).

En Guatemala, el departamento de Escuintla es una de las 8 áreas priorizadas para malaria (Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa, Izabal, Alta Verapaz, Petén Suroriente, Petén Suroccidente y Petén Norte), es una región caracterizada por una gran cantidad de plantaciones de caña de azúcar, bananeras, etc. Se estima que cada año, aproximadamente 60000 trabajadores, tanto de regiones endémicas como no endémicas para malaria de Guatemala, migran a este departamento; las predicciones de riesgo indican que estas plantaciones están ubicadas en las áreas de mayor riesgo de transmisión de la enfermedad (López & Wiles, 2019). El plan nacional contra la malaria se basa en tres pilares:

- **Pilar 1:** lograr el acceso universal a la prevención, el diagnóstico y tratamiento de malaria;
- **Pilar 2:** acelerar los esfuerzos para lograr la eliminación y alcanzar el estado de libre malaria;
- **Pilar 3:** transformar la vigilancia de la malaria en una intervención básica. Estos pilares a su vez constan de intervenciones claves para lograr la eliminación y mantenimiento las cuales son:
 1. El control de vectores: utilización de mosquiteros tratados con insecticidas de larga duración (MTILD) y el rociado residual intradomiciliar (RRI).
 2. Mejorar y optimizar el manejo de casos: diagnóstico por PDR y microscopía (gota gruesa y frote periférico), tratamiento y seguimiento; realizar prueba parasitológica a pacientes con sospecha de malaria, dar tratamiento antimalárico de primera línea a pacientes con malaria confirmada.
 3. Investigar, curar, manejar y dar seguimiento a los focos.
 4. Detección de los casos de infección sintomáticos y asintomáticos.
 5. Garantizar tratamiento rápido y completo.
 6. Aumentar la sensibilidad y la especificidad de la vigilancia para detectar, caracterizar y vigilar los casos (individuales y en focos) (*Plan Estratégico Institucional 2018-2032*, 2018).

Dentro de los esfuerzos intensificados de eliminación, está implementando a nivel nacional la estrategia o modelo Detección, Tratamiento, Investigación y Respuesta (DTIR), el cual consiste en la detección de todos los casos de malaria en las primeras 48 horas del inicio de síntomas, tratamiento después del diagnóstico, investigación y clasificación del caso en los primeros 3 días, desde el inicio de síntomas, la detección de casos adicionales en los próximos 7 días después de la detección del caso índice y la respuesta vectorial (entrega de MTILD, control de criaderos y cuando aplique; RRI) y la comunicación para el cambio de comportamiento en la comunidad (MSPAS, 2021).

El diagnóstico de la malaria es realizado por detección de parásitos por microscopía en gota gruesa (estándar de oro). También se utilizan pruebas de diagnóstico rápido, que detectan antígenos específicos (proteínas) producidos por parásitos de la malaria (MSPAS, 2017). Estas últimas han sido una herramienta importante en las acciones de intensificación de las intervenciones de prevención y control de malaria, principalmente en las comunidades postergadas (MSPAS, 2021).

La prueba rápida CareStart™ malaria HRP2/pLDH (Pf/Pv) tiene una forma de casete y contiene una tira reactiva, la cual está impregnada con dos anticuerpos monoclonales absorbidos con partículas de oro, como dos líneas que atraviesan la tira. Un anticuerpo monoclonal (línea "Pv") es específico para la lactato deshidrogenasa de *Plasmodium* (pLDH) del *P. vivax*, mientras que el otro anticuerpo (línea "Pf") consiste en un anticuerpo específico para la proteína rica en histidina de *Plasmodium* (HRP2) del *P. falciparum* (WHO PQDx PR, s. f.).

Los registros del uso de PDR en Guatemala empiezan a aparecer a partir de 2006, pero no es hasta el año 2014 que comenzó a aumentar su uso para la detección la malaria. Debido a que el procedimiento de uso es sencillo, la PDR se utiliza principalmente en el campo y por colaboradores voluntarios (OPS, 2014). Para la adquisición de la PDR el MSPAS se ha basado en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud en el informe de desempeño de pruebas rápidas, el cual ha tenido varias rondas de verificación (WHO et al., 2018).

Las recomendaciones de la OMS (WHO et al., 2018) para el uso de PDR están basadas en el cumplimiento de criterios de desempeño mínimo (puntaje/tasa de detección, especificidad, tasa de validez, entre otros), las cuales se pueden encontrar en el reporte que la OMS realiza a las PDR de malaria. Actualmente se encuentran vigentes las recomendaciones de la octava ronda, realizada en el período 2016-2018. Algunos gobiernos utilizan este reporte para orientar la compra de PDR, como el caso de Guatemala (Gunasekera et al., 2018). En este reporte la principal medida de desempeño de la PDR es el puntaje de detección del panel

(PDP). El reporte recomienda que una PDR debe tener una detección \geq al 75% para una densidad de 200 parásitos/ μ L y en la ronda 8 de PDR, CareStart™ obtuvo 94.3% para la detección de *Plasmodium vivax*.

Debido a que actualmente en Guatemala se están utilizando tanto microscopía como PDR para el diagnóstico de la enfermedad, este estudio tiene como objetivo evaluar el desempeño de la PDR CareStart™ con relación a la microscopía para informar a los tomadores de decisiones. Esta información permitirá evaluar la pertinencia de la implementación del uso de la PDR para el diagnóstico de malaria en comunidades postergadas, sin acceso a infraestructura básica para la microscopía, principalmente aquellas en las que se requiere la aplicación del DTIR para avanzar hacia la eliminación.

Materiales y métodos

Diseño y contexto

Se realizó un estudio aplicativo, observacional, retrospectivo, transversal con datos de pacientes con malaria registrados por el MSPAS por vigilancia pasiva y activa entre enero y diciembre de 2019 por personal de salud y de la comunidad en el departamento de Escuintla, Guatemala.

Definición de caso

Para este estudio se consideraron las definiciones para caso sospechoso y confirmado de malaria vigentes en el MSPAS.

Caso sospechoso de malaria

Toda persona con fiebre intermitente superior a 38°C, y que presente uno o más de los siguientes síntomas: escalofríos, sudoración, cefalea, malestar general y que haya viajado a áreas endémicas dentro de 7 días o haber residido en el último año en un área de riesgo de transmisión de malaria y para aquellos que manifiesten haber padecido la enfermedad en los últimos tres años.

También se considera un caso sospechoso a una persona que fue confirmada con malaria pero que tomó el tratamiento interrumpidamente o no completó el esquema de tratamiento asignado, según la especie de *Plasmodium* diagnosticado (MSPAS, 2018).

Caso confirmado de malaria

Toda persona en quien, independientemente de la presencia o ausencia de síntomas y signos clínicos, se ha confirmado la presencia de los parásitos de la malaria a través de diagnósticos de laboratorio (PDR, gota gruesa -GG-, frote periférico o pruebas moleculares en casos especiales) (MSPAS, 2018).

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo con información recolectada, como parte de sus actividades rutinarias, por personal de salud del MSPAS y colaboradores voluntarios. El personal del MSPAS completó el formulario E1 de recolección de información del Sistema de Información Gerencial de Salud (SIGSA) con la información proporcionada por los pacientes en los 14 distritos del departamento de Escuintla, Guatemala, departamento que reportó más casos de malaria en 2019.

El personal del MSPAS realizó, como parte de sus actividades rutinarias, la PDR y la GG, luego coloreó esta última por tinción de Giemsa, de acuerdo con el Manual de Normas y Procedimientos de Laboratorio para el Diagnóstico de Malaria del MSPAS (2017).

Estos distritos de salud tienen en su jurisdicción la red de servicios: Centros de Salud (CS), Centros de Atención Permanente (CAP), Centro de Atención Integral Materno Infantil (CAIMI), Puestos de Salud (PS) y colaboradores voluntarios (ColVol) quienes toman las muestras de gota gruesa y realizan las PDR. El diagnóstico parasitológico por microscopía lo realizan únicamente en ciertos servicios de salud, esto debido a que cuentan con infraestructura adecuada para el diagnóstico microscópico y el personal calificado para ello (MSPAS, 2016). Todos los servicios anteriormente mencionados poseen tratamiento antimalárico, el cual proporcionan a los pacientes con caso confirmado de la malaria, dosificando de acuerdo con cuadros estandarizados según la edad (MSPAS, 2017).

Población de estudio

Se tomó información de todos los casos con sospecha de malaria, de cualquier edad, que fueron detectados por vigilancia pasiva e ingresados al sistema oficial de reporte de información epidemiológica del MSPAS (SIGSA) en los 14 distritos de salud del departamento de Escuintla. A estos casos se les realizó una prueba de malaria por PDR CareStart™ y GG en el periodo de enero a diciembre del 2019.

Procedimientos de estudio

Se obtuvo información demográfica de los pacientes, resultados de GG y PDR, datos de la muestra y del notificante, transcrita a bases de datos de Microsoft Excel por el personal de subprograma de malaria del MSPAS del nivel central.

La base datos se encontraba dividida en casos positivos y negativos. Para los casos positivos se obtuvieron las variables: sexo (femenino y masculino), edad (en años), embarazo (sí o no), municipio (La Gomera, Santa Lucía Cotzumalguapa, La Democracia, Masagua, Sipacate, Tiquisate, Escuintla, Nueva Concepción, Siquinalá y Puerto San José), fecha de diagnóstico (día, mes, año), diagnóstico microscópico estratificado por densidad parasitaria de fase asexual y sexual

(1-39, 40 - 60, 61 - 200, 201 - 2000 parásitos por 100 campos). En cuanto a las bases de datos de casos negativos, se contaba únicamente con las variables: estatus de embarazo, municipio y fecha de diagnóstico, dada la falta de información para las otras variables en los sistemas de los servicios de salud. Ambas bases de datos contaban con información sobre la realización y resultado de la PDR.

Manejo de datos

La información fue obtenida en hojas de Microsoft Excel independientes, separadas por Distritos y por casos positivos y negativos, las cuales se importaron a una base desarrollada con RStudio, versión 2022.02.3+492. Luego de la unificación de las bases de datos, se estandarizaron las opciones de respuesta de las variables como los nombres de los 14 municipios, los identificadores de mujeres embarazadas, resultados de PDR y se categorizó los valores de densidad parasitaria (asexual y sexual). Se verificó la concordancia de datos, como, por ejemplo, resultados de hombres embarazados y edades fuera de rango.

Plan de análisis de datos

Se calcularon los parámetros de validación de la PDR utilizando como referencia el resultado del diagnóstico parasitológico por microscopía. Se analizó una tabla de 2x2, conteniendo los resultados positivos y negativos de GG y PDR, con el comando `epi.test` del paquete `epiR` y se calculó la sensibilidad, especificidad, razones de probabilidad y valores predictivos de la PDR (Stevenson et al., 2024). Las razones de probabilidad fueron consideradas buenas cuando $RP+$ fue >10 y $RP-$ <0.1 .

Fórmula:

```
tabla <- c(714,0,53,14448)
valores <- epi.tests(tabla, method = "exact", digits = 2, conf.level = 0.95)
print(valores)
```

También se determinó la concordancia entre ambas pruebas diagnósticas mediante el cálculo de la Kappa de Cohen, utilizando el comando `kappa` del paquete `vcd`. Los resultados se interpretaron de acuerdo a lo propuesto por Florkowski (2008,) con lo cual los valores de Kappa corresponden a concordancias débiles (<0.59), moderadas ($0.6-0.79$), fuertes ($0.8-0.9$) y casi perfectas (>0.9).

Fórmula:

```
tabla <- as.table(rbind(c(714, 0), c(53, 14448)))
library(vcd)
valor.k <- Kappa(tabla)
valor.k
```

La precisión del diagnóstico fue determinada por el método de la curva ROC, (por sus siglas en inglés Receiver Operating Characteristic), utilizando el comando `roc.default`, y se interpretó de acuerdo a lo propuesto por Šimundić (2009) con lo cual los valores del área bajo la curva (AUC), la cual es una representación gráfica de la sensibilidad frente a la especificidad, corresponden a precisión excelente ($0.9-1.0$), muy buena ($0.8-0.9$), buena ($0.7-0.8$), suficiente ($0.6-0.7$), mala ($0.5-0.6$) y prueba sin utilidad (<0.5). El valor p para la significancia fue considerado <0.05 .

Fórmula:

```
roc.default(response = pdrdataf$resultadopdr, predictor = pdrdataf$positivog)
Data: pdrdataf$positivog in 470 controls (pdrdataf$resultadopdr 1) < 14484 cases
(pdrdataf$resultadopdr 2).
Area under the curve: 0.9988
```

Consideraciones éticas

El estudio fue revisado por el Comité de Ética en Investigaciones del Centro de Estudios en Salud de la Universidad del Valle de Guatemala, que emitió un dictamen de no aplicabilidad de regulaciones en investigación con sujetos humanos, dado que no se registró información privada identificable de los pacientes para el estudio.

Resultados

Características demográficas y epidemiológicas de los casos

Se tomaron datos de 15309 pacientes sospechosos de malaria, de los cuales se eliminaron 94 (0.6%) registros que no contaban con información sobre el diagnóstico por PDR o microscopía. Se tomaron en cuenta para el análisis 15215, de los cuales 714 (4.7%) fueron positivos para CareStart™ y 767 (5.0%) para microscopía, ambos para *Plasmodium vivax*, mientras que 14448 fueron negativos para malaria por ambos métodos. Del total de los resultados positivos, 415 (54%) fueron hombres. La media de edad de los casos positivos fue de 25 años (IC 95% 14-33) y se encontró mayor porcentaje de casos de malaria en adultos mayores de 18 años (Cuadro 1).

La mayoría de los casos positivos a *Plasmodium vivax* tenían densidades parasitarias menores a media cruz (1-39 parásitos en 100 campos de microscopía) tanto para fases sexuales como asexuales. En el caso de las PDR's la mayoría de los positivos y falsos negativos corresponden también densidades parasitarias bajas, menores a media cruz (Cuadro 2).

Cuadro 1. Características de los pacientes con casos positivos para malaria por *Plasmodium vivax* (por GG o GG y PDR) en el departamento de Escuintla, Guatemala, de enero a diciembre de 2019 (n=767)

| Características | Total | | Positivos GG | | Positivos PDR | |
|-------------------------|-------|---------|--------------|--------|---------------|--------|
| | n | % | n | % | n | % |
| Sexo | | | | | | |
| Hombres | 415 | (54.1) | 415 | (54.1) | 382 | (49.8) |
| Mujeres | 352 | (45.9) | 352 | (45.9) | 332 | (43.3) |
| Grupos de edad | | | | | | |
| Edad media en años (IQ) | 25.09 | (14-33) | | | | |
| <5 | 31 | (4.0) | 31 | (4.0) | 30 | (4.2) |
| 5 - 18 | 250 | (32.6) | 249 | (32.5) | 234 | (32.8) |
| > 18 | 486 | (63.4) | 486 | (63.4) | 449 | (63.0) |

Cuadro 2. Densidad parasitaria de casos positivos para malaria por *Plasmodium vivax* por GG y PDR del departamento de Escuintla, Guatemala, de enero a diciembre 2019. Positivos para formas asexuales o positivos para formas sexuales o ambas.

| Densidad parasitaria | Positivos por GG | | Positivos por PDR | | Falsos negativos por PDR | |
|------------------------------------|------------------|--------|-------------------|--------|--------------------------|--------|
| (parásitos en 100 campos) | (N=767) | | (N=714) | | (N=53) | |
| | n | % | n | % | n | % |
| Formas asexuales* | | | | | | |
| 1-39 | 357 | (56.8) | 324 | (45.4) | 33 | (62.3) |
| 40-60 | 104 | (16.6) | 99 | (13.9) | 5 | (9.4) |
| 61-199 | 92 | (14.6) | 88 | (12.3) | 4 | (7.5) |
| 200-2000 | 75 | (11.9) | 73 | (10.2) | 2 | (3.8) |
| Formas sexuales[§] | | | | | | |
| 1-39 | 433 | (67.1) | 396 | (55.5) | 37 | (69.8) |
| 40-60 | 56 | (8.7) | 53 | (7.4) | 3 | (5.7) |
| 61-199 | 98 | (15.2) | 94 | (13.2) | 4 | (7.5) |
| 200-2000 | 58 | (9.0) | 57 | (8.0) | 1 | (1.9) |

La suma de los porcentajes no corresponde al 100% ya que algunos pacientes son positivos para formas asexuales o positivos para formas sexuales o ambas. Las formas asexuales* son trofozoítos y esquizontes y las formas sexuales[§] son los gametocitos.

Los casos confirmados por microscopía y PDR estratificados por Distrito se presentan en el cuadro 3, siendo La Gomera el Distrito que mayor número de casos presentó en el año 2019.

Desempeño de la PDR CareStart™ malaria HRP2/pLDH (Pf/pan)

Para la PDR CareStart™ se obtuvo una sensibilidad de 93% (IC95% 0.91% - 0.95%) y una especificidad del 100% (IC

95%, 100% - 100%). La concordancia encontrada entre la microscopía y la PDR CareStart™ con el índice de kappa fue de 0.96 (IC95%, 0.95 - 0.97), con un valor p <0.05 (Cuadro 4).

Se obtuvo un área bajo la curva (AUC) de 0.9988 (fig. 1) correspondiente a una concordancia muy buena.

Cuadro 3. Distribución de pacientes con casos positivos de malaria por *Plasmodium vivax* por distrito de salud del departamento de Escuintla, Guatemala, de enero a diciembre 2019 (n=767).

| Distrito | Gota Gruesa (N=767) | | Prueba de diagnóstico rápido (N=714) | |
|---------------------------|---------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|
| | n | (%) | n | (%) |
| La Gomera | 380 | (49.5) | 339 | (47.5) |
| Santa Lucía Cotzumalguapa | 193 | (25.2) | 189 | (26.5) |
| La Democracia | 63 | (8.2) | 63 | (8.8) |
| Masagua | 49 | (6.4) | 46 | (6.4) |
| Sipacate | 47 | (6.1) | 45 | (6.3) |
| Tiquisate | 21 | (2.7) | 20 | (2.8) |
| Escuintla | 7 | (0.9) | 6 | (0.8) |
| Nueva Concepción | 4 | (0.5) | 3 | (0.4) |
| Siquinalá | 2 | (0.3) | 2 | (0.3) |
| Puerto San José | 1 | (0.1) | 1 | (0.1) |
| Total | 767 | (100) | 714 | (100) |

Cuadro 4. Desempeño de la prueba de diagnóstico rápido CareStart™ utilizando la microscopía como método de referencia.

| Resultados por prueba | Microscopía | |
|--|-----------------------|--------------|
| | Positivo (n) | Negativo (n) |
| CareStart™ Positivo | 714 | 0 |
| Negativo | 53 | 14448 |
| Medidas de desempeño diagnóstico | Valor | |
| Sensibilidad (IC 95%) | 93% (91%, 95%) | |
| Especificidad (IC 95%) | 100% (100%, 100%) | |
| Valor predictivo positivo (IC 95%) | 100% (99%, 100%) | |
| Valor predictivo negativo (IC 95%) | 100% (100%, 100%) | |
| Razón de probabilidad de una prueba positiva | Inf* | |
| Razón de probabilidad de una prueba negativa | 0.07 (0.05, 0.09) | |
| Valor de kappa de Cohen | 0.962 (0.952 - 0.973) | |

(p < 0.0001). Inf* = El valor es infinito dado que no se tiene ningún caso en el que el resultado la GG haya sido negativo y la PDR positivo, por lo que se genera una división sobre 0.

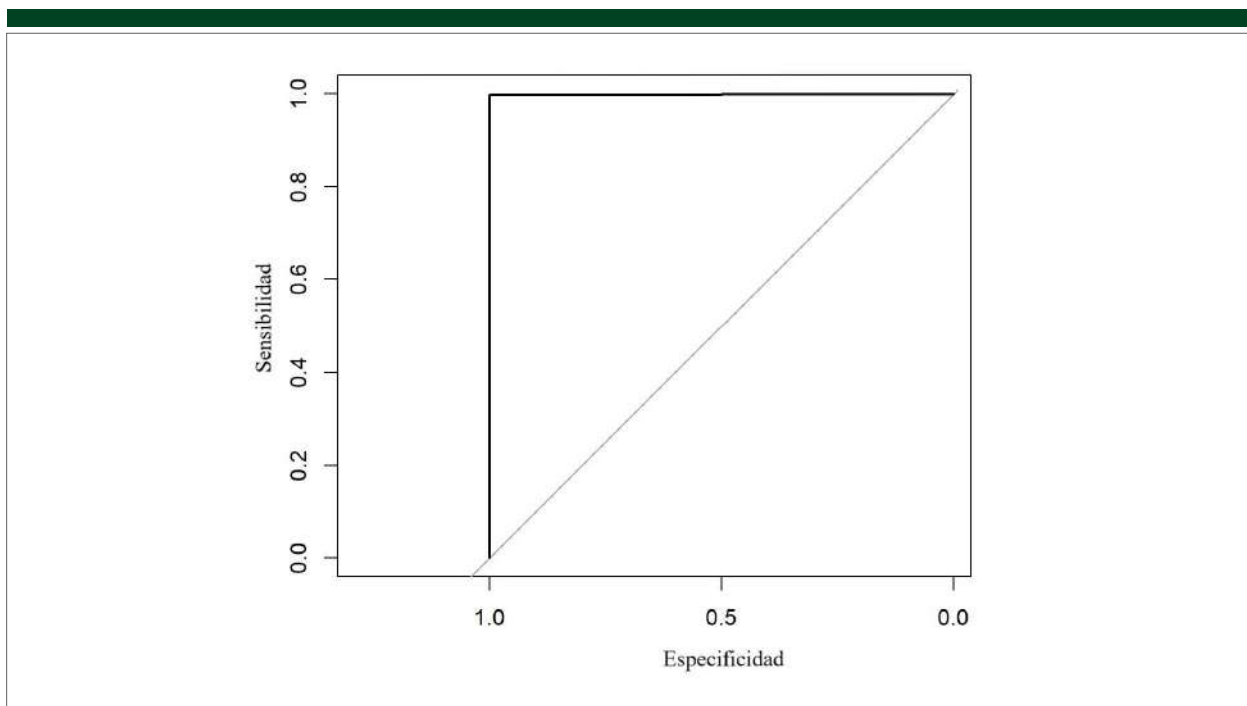


Figura 1. Curva ROC de precisión de la PDR CareStart™

Discusión de resultados

En este estudio buscamos determinar el desempeño de la PDR CareStart™ malaria HRP2/pLDH (Pf/pan) contra el estándar de microscopía, utilizando datos recolectados en el departamento de Escuintla, Guatemala en el 2019. Esta comparación permitirá conocer cómo se desempeña la PDR en Guatemala y poder tomar decisión respecto a su implementación rutinaria en comunidades postergadas sin acceso a infraestructura básica para la implementación de laboratorios de microscopía, en los que se requiere la aplicación de la estrategia DTIR para avanzar hacia la eliminación (Maltha et al., 2014).

El diagnóstico de la malaria se basa en métodos de laboratorio y tradicionalmente se ha utilizado el diagnóstico parasitológico por microscopía (estándar de oro), observando directamente los parásitos en sangre en una muestra de gota gruesa teñida con coloración de Giemsa (Mathison & Pritt, 2017). Según Aidoo & Incardona (2022) en los últimos 12 años, el uso de pruebas inmunocromatográficas de detección de antígenos de *Plasmodium* se ha implementado a gran escala, debido a que presentan ventajas sobre el método parasitológico, como menos tiempo para dar un diagnóstico y que las puede realizar personal con poco entrenamiento, como colaboradores voluntarios. Esto es importante, sobre todo en comunidades con poco o nulo acceso a los servicios de salud, lo que

permite iniciar el tratamiento antimalárico y las intervenciones vectoriales en la comunidad de forma oportuna, ayudando a interrumpir la transmisión. Las PDR han dado un giro en la estrategia para mejorar las acciones de DTIR, y debido a que Guatemala se está acercando a la eliminación, las PDR han ayudado a minimizar la cantidad de infecciones que pueden escaparse de la vigilancia (OPS, 2019). Según la OMS (WHO et al., 2018) el uso de las PDR es una parte vital de la estrategia de detección, principalmente en áreas donde no se puede implementar la microscopía de buena calidad, o la implementación no es sostenible (Port et al., 2014). Esto teniendo tomando en cuenta que el nivel mínimo de sensibilidad que se requiere para el diagnóstico de *P. vivax* está determinado por los estándares de la WHO et al., (2018) que recomiendan que una PDR debe poder detectar $\geq 75\%$ de las infecciones con densidades de 200 parásitos/ μL .

La sensibilidad y especificidad de la PDR CareStart™ encontradas en este estudio fueron de 93% y 100% respectivamente. Mientras que los VPN y VPP fueron de 100% ambos. Estos resultados muestran que la PDR CareStart™ tiene una menor sensibilidad y la misma especificidad que la microscopía. Lo encontrado en este estudio concuerda con lo reportado por (Bwire et al., 2019) quien reporta igualmente una buena precisión y una fuerte concordancia entre la PDR y la microscopía entre los pacientes sospechosos de malaria. La especificidad de la PDR CareStart™ para *Plasmodium vivax* reportada en este estudio concuerda con

la reportada por estudios realizados en la frontera entre China y Myanmar (Xiaodong et al., 2013), ambas del 100%, con valores de sensibilidad y VPP muy cercanos también. El valor de VPN de este estudio es muy cercano a lo encontrado por Ratsimbaoa y colegas (Ratsimbaoa et al., 2007) en Madagascar, quienes reportaron un valor para la PDR CareStart™ del 99.0% para *P. vivax*.

El cuadro 1 muestra que la mayoría de los casos positivos fueron hombres (54.1 %) con una edad media (IQ) de 25 años, lo cual concuerda con lo encontrado por (Okiring et al., 2022), donde la positividad fue mayor en hombres en edades comprendidas en 15 - 39 años.

Al estratificar los resultados por densidad parasitaria, la mayoría de los diagnósticos por GG, PDR y falsos negativos se encuentran dentro de la densidad más baja observable por microscopía, 1-39 parásitos por 100 campos vistos. Este resultado coincide con lo reportado por (Ratsimbaoa et al., 2007) y colaboradores, quienes mencionan que las PDR presentan menor sensibilidad a bajas parasitemias (cuadro 2).

Moody (2002) reportó que en lugares de alta transmisión pueden observarse bajas parasitemias debido a la alta exposición a los parásitos de malaria, esto puede explicar por qué la mayoría de los diagnósticos por GG, PDR al igual que los falsos negativos se encontraron en el Distrito de La Gomera, lugar que presentó la mayoría de los casos en el estudio (cuadro 3).

Ante esta limitación de detección de infecciones con baja parasitemia de la PDR y que en Guatemala no se cuenta con recursos para realizar pruebas moleculares de forma rutinaria, como se propone en la literatura (McMorrow et al., 2011), se sugiere al MSPAS que para la vigilancia de malaria en áreas en contexto de eliminación se utilice de forma rutinaria una combinación del diagnóstico clínico y PDR, y se realice la toma de muestras de gota gruesa solo para pacientes con diagnóstico clínico sospechoso, pero PDR negativa. De esta forma, se logran tres objetivos:

- (1) captar todos los casos, tanto con parasitemas altas como bajas,
- (2) el diagnóstico oportuno en campo para la mayoría de los pacientes (los que tengan parasitemas más altas), y
- (3) reducir el volumen de muestras que tengan que procesar los microscopistas a solo las que sean sospechosas de malaria, pero tengan PDR negativa, lo que les permitirá dar un resultado en menor tiempo.

Adicionalmente, se sugiere implementar encuestas de corte transversal en un número reducido de la población en las comunidades con transmisión activa. Esto con el objetivo de buscar infecciones asintomáticas mediante métodos

moleculares, más sensibles como se ha recomendado en otras áreas endémicas en contextos similares (Zainabadi, 2021), y poder realizar intervenciones de forma que se pueda identificar estos focos de casos asintomáticos que pudieran estar manteniendo la transmisión activa.

Dentro de las limitaciones que tuvo el estudio se puede mencionar la falta de información para las variables sociodemográficas de los casos negativos, que se debe a que el formato utilizado para el ingreso de información utilizado por el MSPAS es diferente para resultados positivos y negativos. Otra limitación fue que no se logró confirmar los resultados de GG y PDR por métodos moleculares, ya que dicha prueba está disponible en el MSPAS únicamente para casos especiales de confirmación.

Conclusiones

La PDR CareStart™ mostró una alta especificidad, sensibilidad y excelente concordancia con la microscopía en casos sospechosos de malaria en Guatemala, en concordancia con el reporte de desempeño y recomendaciones de la OMS. Por lo que la PDR CareStart™ podría utilizarse en comunidades postergadas donde no hay acceso a la infraestructura básica para implementar un centro de microscopía y su uso permitiría una respuesta oportuna para el tratamiento de los pacientes y la implementación de intervenciones vectoriales en apoyo al proceso de eliminación en lugares críticos del país en donde persiste la transmisión de la enfermedad.

Para evitar dejar infecciones sin tratamiento es recomendable realizar investigaciones epidemiológicas completas y elaborar un criterio para los casos sospechosos que requieran confirmación por microscopía.

Recomendamos realizar estudios futuros con distintos proveedores de PDR para asegurar que los resultados obtenidos sean concordantes con la microscopía estándar y sirvan de apoyo para la eliminación de la malaria en Guatemala. Para futuros estudios, revisar factores que puedan influir en la sensibilidad de la prueba, así como evaluar rutinariamente las capacidades de los tomadores de muestra y personas que realizan la PDR.

Agradecimientos

A mi tutora Renata Mendizabal que fue la guía para la elaboración del presente estudio.

Al Ing. Juan Carlos Romero por su apoyo en el código de R.

A mi asesor institucional Miguel Echeverría por la facilitación de las bases de datos.

Al Programa de Enfermedades Transmitidas por Vectores por apoyar y no poner objeción en el manejo de la información.

Bibliografía

- Aidoo, M., & Incardona, S. (2022). Ten Years of Universal Testing: How the Rapid Diagnostic Test Became a Game Changer for Malaria Case Management and Improved Disease Reporting. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 106(1), 29-32. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.21-0643>
- Bwire, G. M., Ngasala, B., Kilonzi, M., Mikomangwa, W. P., Felician, F. F., & Kamuhawa, A. A. R. (2019). Diagnostic performance of CareStart™ malaria HRP2/pLDH test in comparison with standard microscopy for detection of uncomplicated malaria infection among symptomatic patients, Eastern Coast of Tanzania. *Malaria Journal*, 18(1), 354. <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2990-9>
- Florkowski, C. M. (2008). Sensitivity, specificity, receiver-operating characteristic (ROC) curves and likelihood ratios: Communicating the performance of diagnostic tests. *The Clinical Biochemist. Reviews*, 29 Suppl 1, S83-87.
- Gunasekera, W. M. K. T. D. A. W., Premaratne, R. G., Weerasena, O. V. D. S. J., Premawansa, W. S., Handunnetti, S. M., & Fernando, S. D. (2018). Utility of pf/pan RDT for diagnosis in the prevention of re-establishment of malaria in Sri Lanka. *Pathogens and Global Health*, 112(7), 360-367. <https://doi.org/10.1080/20477724.2018.1536855>
- López, J., & Wiles, M. (2019, diciembre 3). Case study: Public-private partnership toward malaria elimination in Escuintla, Guatemala. <https://www.clintonhealthaccess.org/case-study-public-private-partnership-toward-malaria-elimination-in-escuintla-guatemala/>
- Maltha, J., Guiraud, I., Lompo, P., Kaboré, B., Gillet, P., Van Geet, C., Tinto, H., & Jacobs, J. (2014). Accuracy of Pf HRP2 versus Pf-pLDH antigen detection by malaria rapid diagnostic tests in hospitalized children in a seasonal hyperendemic malaria transmission area in Burkina Faso. *Malaria Journal*, 13(1), 20. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-13-20>
- Mathison, B. A., & Pritt, B. S. (2017). Update on Malaria Diagnostics and Test Utilization. *Journal of Clinical Microbiology*, 55(7), 2009-2017. <https://doi.org/10.1128/JCM.02562-16>
- McMorrow, M. L., Aidoo, M., & Kachur, S. P. (2011). Malaria rapid diagnostic tests in elimination settings-Can they find the last parasite? *Clinical Microbiology and Infection*, 17(11), 1624-1631. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2011.03639.x>
- Moody, A. (2002). Rapid Diagnostic Tests for Malaria Parasites. *Clinical Microbiology Reviews*, 15(1), 66-78. <https://doi.org/10.1128/CMR.15.1.66-78.2002>
- MSPAS. (2016). *Lineamientos Para El Proceso De Ordenamiento Territorial Distrital e Identificación De Brechas Modelo Incluyente En Salud*. <https://saludjalapa225.files.wordpress.com/2016/10/2-lineamientos-ordenamiento-territorial.pdf>
- MSPAS. (2017). *Manual de normas y procedimientos de laboratorio para el diagnóstico de malaria*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social - Guatemala.
- MSPAS. (2018). *Protocolos de Vigilancia Epidemiológica Enfermedades Vectoriales de Origen Parasitario*. <http://epidemiologia.mspas.gob.gt/files/Publicaciones%202018/Protocolos/Enfermedades%20Vectoriales%20de%20Origen%20Parasitario.pdf>
- MSPAS. (2021). *Guía Operativa para la Gestión de Focos de Malaria en Guatemala*.
- MSPAS. (2022). *Base de Datos NAD*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social -Guatemala-.
- Okiring, J., Epstein, A., Namuganga, J. F., Kamya, E. V., Nabende, I., Nassali, M., Sserwanga, A., Gonahasa, S., Muwema, M., Kiwuka, S. M., Staedke, S. G., Kamya, M. R., Nankabinwa, J. I., Briggs, J., Jagannathan, P., & Dorsey, G. (2022). Gender difference in the incidence of malaria diagnosed at public health facilities in Uganda. *Malaria Journal*, 21(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s12936-022-04046-4>
- OPS. (2014). *Informe de la Situación de Malaria en Guatemala*.
- OPS. (2019). *Manual de estratificación según el riesgo de malaria y eliminación de focos de transmisión*. Organización Panamericana de la Salud.
- Plan Estratégico Institucional 2018-2032. (2018). Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Port, J. R., Nguetse, C., Adukpo, S., & Velavan, T. P. (2014). A reliable and rapid method for molecular detection of malarial parasites using microwave irradiation and loop mediated isothermal amplification. *Malaria Journal*, 13(1), 454. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-13-454>
- Ratsimbaoa, A., Randriamanantena, A., Raherinjafy, R., Rasoarilalao, N., & Ménard, D. (2007). Which malaria rapid test for Madagascar? Field and laboratory evaluation of three tests and expert microscopy of samples from suspected malaria patients in Madagascar. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 76(3), 481-485.
- Šimundić, A.-M. (2009). Measures of Diagnostic Accuracy: Basic Definitions. *EJIFCC*, 19(4), 203-211.
- Stevenson, M., Sergeant, E., Heuer, C., Nunes, T., Heuer, C., Marshall, J., Sanchez, J., Thornton, R., Reiczgel, J., Robison-Cox, J., Sebastiani, P., Solymos, P., Yoshida, K., Jones, G., Pirikahu, S., Firestone, S., Kyle, R., Popp, J., Jay, M., ... Rabiee, A. (2024). *epiR: Tools for the Analysis of Epidemiological Data (2.0.67) [R (≥ 3.0.0)]*. <https://cran.r-project.org/web/packages/epiR/index.html>
- WHO, FIND, & CDC. (2018). *Malaria rapid diagnostic test performance: Results of WHO product testing of malaria RDTs: Round 8 (2016-2018)*. World Health Organization. <https://www.who.int/malaria/publications/atoz/9789241514965/en/>
- WHO PQDx PR. (s. f.). *WHO Prequalification of In Vitro Diagnostics Programme PUBLIC REPORT Product: CareStart™ Malaria HRP2/pLDH (Pf/Pv) COMBO (PQDx 0138-049-00)*. World Health Organization. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewQm5mz9rn1AhVZTDABHbfCBPQQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.who.int%2Fdiagnostics_laboratory%2Fevaluations%2F150528_final_report_0138_049_00_malaria_hrp2pldh_pfpv.pdf%3Fua%3D1&usq=AQvVaw0fC5ZiI3RdfemC4szEOTci
- Xiaodong, S., Tambo, E., Chun, W., Zhibin, C., Yan, D., Jian, W., Jiazi, W., & Xiaonong, Z. (2013). Diagnostic performance of CareStart™ malaria HRP2/pLDH (Pf/pan) combo test versus standard microscopy on falciparum and vivax malaria between China-Myanmar endemic borders. *Malaria Journal*, 12, 6. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-12-6>
- Zainabadi, K. (2021). Ultrasensitive Diagnostics for Low-Density Asymptomatic *Plasmodium falciparum* Infections in Low-Transmission Settings. *Journal of Clinical Microbiology*, 59(4), e01508-20. <https://doi.org/10.1128/JCM.01508-20>

Extracción de la enzima invertasa y el análisis de la influencia de esta para la fermentación de la cerveza

Ana Sofía Corzo, Gabriela Lemus, José Ignacio Ovalle, Lourdes Mancilla, Santiago Juárez

Laboratorio de Microbiología I, Departamento de Bioquímica, microbiología y Biotecnología molecular, Universidad del Valle de Guatemala
Guatemala 25 Noviembre, 2022

RESUMEN: Como parte de la optimización de procesos para la creación de productos, la enzima invertasa tiene gran importancia en la industria alimentaria, como en la cervecería. La invertasa es una enzima con un papel importante en la hidrólisis de azúcares. Con esto, el objetivo del presente trabajo es el de analizar cómo se da el proceso de fermentación al desactivar la enzima o disminuir la presencia de esta en la levadura. Por ello, se elaboraron dos cervezas: un control y una con levadura modificada. Esto, con el objetivo de comparar los productos finales mediante análisis analíticos como cromatografía de gases, UV-Vis y refractometría. La importancia del presente trabajo de investigación recae en que existen diversas aplicaciones industriales mediadas por el trabajo enzimático que llevan a cabo distintos microorganismos. Trabajos donde la invertasa se utiliza como sustituto de levadura, por ende, comprender su capacidad enzimática es importante en diversos procesos. Se corroboró la efectividad del método utilizado para extraer la invertasa de las levaduras, aunque no se esperaba que las levaduras a las que se les extrajo la invertasa llevaran a cabo procesos de fermentación alcohólica. Se determinó que la cerveza realizada por levaduras simples no presentó metanol, mientras que la que contenía levaduras con invertasa eliminada sí presentó metanol. Este fenómeno puede ser ocasionado por alguna contaminación externa o bien, que los diferentes tiempos de fermentación y reposo para cada cerveza hayan influido en los resultados.

PALABRAS CLAVE: Enzima invertasa, cervecería, cerveza, levadura, fermentación, industria alimentaria.

Extraction of the invertase enzyme and analysis of its influence on beer fermentation

ABSTRACT: As part of the optimization of processes for the creation of products, the invertase enzyme is of great importance in the food industry, such as in the brewery. Invertase is an enzyme with an important role in the hydrolysis of sugars. With this, the objective of this work is to analyze how the fermentation process occurs by deactivating the enzyme or reducing its presence in the yeast. Therefore, two beers were brewed: a control one and one with modified yeast. This, with the aim of comparing the final products through analytical analyzes such as gas chromatography, UV-Vis and refractometry. The importance of this research work lies in the fact that there are various industrial applications mediated by the enzymatic work carried out by different microorganisms. Where invertase is used as a substitute for yeast, therefore, understanding its enzymatic capacity is important in various processes. The effectiveness of the method used to extract invertase from yeasts was confirmed, although it was not expected that the yeasts from which invertase was extracted would carry out alcoholic fermentation processes. It was determined that the beer made by simple yeasts did not present methanol, while that containing yeasts with extracted invertase did present methanol. This phenomenon may be caused by some external contamination or that the different fermentation and rest times for each beer have influenced the results.

KEYWORDS: Invertase enzyme, brewery, beer, yeast, fermentation, food industry.

Introducción

Avances en estudios bioquímicos y ciencias moleculares, han dado lugar a la identificación enzimática. Según Heckmann (2020), para 1907, fue identificada la enzima encargada de catalizar la hidrólisis de la sacarosa en glucosa y fructosa: la beta-fructofuranosidasa- o bien conocida como invertasa-. Esta tiene la función de convertir estos disacáridos en etanol, por lo que es aplicada en la industria alimentaria. Se utiliza ampliamente para la fermentación de melazas gracias a su capacidad de generar dióxido de carbono y etanol, siendo útil para llevar a cabo el proceso de fermentación (Aguilar, 2016).

La cerveza, uno de los productos realizados con ayuda de la invertasa, es una bebida alcohólica producida por la fermentación de azúcares de levadura derivados de la cebada malteada en alcohol y aromatizada con lúpulo. Los ingredientes esenciales para la cerveza cebada malteada son el lúpulo, agua y levadura. Los cuales son sometidos a un proceso de tres etapas: molienda, maceración y conversión. El proceso inicia en la maceración donde se procesa la malta para liberar azúcares fermentables (Bokulich, 2013). Los azúcares presentes en la malta se almacenan en forma de almidón. La malta se mezcla con agua para obtener un puré. Las enzimas de la malta se liberan y convierten el almidón en azúcar. El líquido azucarado, conocido como mosto, se extrae de la masa y se hierve con lúpulo, lo que le confiere amargura y sabor (Morales-Toyo, 2018). A continuación, el mosto se enfría y se añade levadura. La levadura fermenta el mosto, produciendo alcohol y CO₂, transformándolo en cerveza (Brewing, 2019).

De acuerdo con Suárez-Machín (2016), la levadura es el nombre con el que se le conoce a los hongos microscópicos unicelulares capaces de descomponer diversos cuerpos orgánicos, principalmente carbohidratos. Las levaduras tienen la capacidad de vivir y crecer en presencia y ausencia de oxígeno. En ausencia de oxígeno, sobreviven mediante el proceso de fermentación donde obtienen dos dióxido de carbono y etanol como productos finales. Cabe resaltar que existen dos tipos de fermentación en las cuales, por consiguiente, se hace uso de distintas levaduras; estas son Lager (*Saccharomyces uvarum* o *carlsbergensis*) y las Ale (*Saccharomyces cerevisiae*) (Sanz, 2021). La fermentación con la levadura Lager se denomina fermentación baja porque se produce en la parte inferior del fermentador a temperaturas de 0 a 12°C. Por otro lado, la fermentación con la levadura alta se da cerca de la superficie del mosto a temperaturas de entre 10 y 24°C (Sanz, 2021).

En base a lo mencionado, la enzima invertasa tiene una importante función en la industria cervecera, dado que en el proceso de fermentación esta realiza la hidrólisis de varios azúcares. Es por ello que la investigación presente, busca

analizar cómo se da el proceso de fermentación si se desactiva la enzima o se disminuye la presencia de esta en la levadura utilizada. Para conocer más sobre este proceso, se compararon dos cervezas donde una de ellas contiene levaduras modificadas. Esto con el objetivo de comparar los productos finales mediante análisis analíticos como cromatografía de gases, UV-Vis y refractometría. La importancia del presente trabajo de investigación recae en que existen diversas aplicaciones industriales mediadas por el trabajo enzimático que llevan a cabo distintos microorganismos. De tal manera pretendemos desarrollar una comparación respecto a la influencia que posee la invertasa durante el proceso de fermentación de la cerveza y brindar un enfoque de las posibilidades de mejora en cuanto a producción que tendrían las empresas artesanales o industriales de melazas.

La experimentación que presentamos nace como fruto del interés por el análisis microbiológico en levaduras llevado a cabo durante el curso. En esta experimentación se buscó medir la tasa de cambio entre una cerveza fermentada con levadura de la cepa *S.cerevisiae* y una fermentada con la cepa *S.cerevisiae* sin invertasa. Esto, con la finalidad de comparar el rendimiento, duración y eficiencia de la producción de cerveza así como la influencia enzimática que posee la invertasa como catalizadora.

Materiales y Métodos

Elaboración de cerveza

Se pesaron 0.750g de cebada malteada y se molieron parcialmente haciendo uso de un procesador convencional. Seguidamente, se procedió a macerar la muestra de cebada en un recipiente apto para cocción donde se le adicionaron 3L de agua. Bajo agitación, se calentó hasta llegar a una temperatura de 50°C y se dejó reposar por 30 minutos. Se realizó un segundo calentamiento hasta llegar a 64°C, se repitió el reposo por 30 minutos. Un tercer calentamiento fue realizado hasta llegar a 74°C reposando por 10 minutos. El último calentamiento consistió en llegar a 77°C con reposo de 30 minutos.

Fue necesario extraer todo el residuo de cereal generado durante la cocción haciendo uso de una malla de filtración o colador de cocina filtrando así la mezcla de malta y mosto. El mosto se somete a un calentamiento hasta ebullición, en este punto se le adicionaron 0.6g de lúpulo el cual le aporta un sabor amargo a la cerveza. Se dejó hervir por 30 minutos para después adicionar nuevamente 1.2g de lúpulo. Se esperó 20 minutos de la segunda adición de lúpulo para añadir otros 1.8g, lo que le confiere el aroma característico a la cerveza. Se continuó calentando por 10 minutos más y se dejó reposar por otros 10 minutos. El siguiente paso fue dejar enfriar el mosto hasta alcanzar una temperatura

ambiente, es decir entre 25-28°C. El último paso fue llevar la cerveza al fermentador agregando suficiente agua para llegar a los 3L y añadiendo levadura. Se tapó el botellón con una trampa de bacterias y aire y se dejó fermentar por 5 días (Brewing, 2019).

Este procedimiento se realizó en duplicado con la diferencia que en la segunda preparación se utilizó levadura sin invertasa, la cual se extrajo previamente en el procedimiento detallado a continuación.

Extracción de invertasa

Se colocaron 25 g de levadura seca en 100 ml de una solución 0.1M de bicarbonato de sodio, dejando incubar la mezcla durante 5 horas a 35°C. Seguidamente, se procedió a centrifugar por suspensión de 10,000g durante 30 minutos a 4°C. Se transfirieron 25 ml del sobrenadante a un tubo con 10 ml de etanol absoluto frío y se mezcló por inversión durante 5 minutos dentro de un baño de hielo. A continuación se centrifugó a 10,000g durante 10 minutos a 4°C nuevamente. Se transfirió el nuevo sobrenadante a un tubo y se agregaron 7 ml de etanol absoluto frío mezclando constantemente por inversión. Una última centrifugación fue realizada por 10 minutos a 4°C para finalmente almacenar el sobrenadante sin el pellet y resuspender en 2ml de PBS, esperando obtener la invertasa aislada.

Evaluación cualitativa de la actividad de la invertasa

Se mezclaron 10 g de azúcar en polvo con 200 uL de invertasa previamente extraída para ensayar. Se incubó la muestra por 5 días a temperatura ambiente y se llevó a cabo la inversión de azúcar como actividad positiva.

Análisis del rendimiento de fermentación de la cerveza por UV y GC

Para este análisis se requirió del equipo de cromatografía de gases y un espectrofotómetro UV-VIS. Se inició con este último equipo para obtener las absorbancias de la muestra de invertasa (véase cuadro 2). Para ello se realizaron soluciones a base de BSA, la cual tiene una composición parecida a la invertasa. Se obtuvieron las absorbancias de estas soluciones y se realizó una curva de calibración para la misma. De este modo, se obtuvo la concentración de cada una de las réplicas de muestra de invertasa con ayuda de una regresión lineal. Se prosiguió con un análisis de cromatografía de gases de tres puntos, para ello no fue necesario un estándar interno. Esto se realizó con el fin de obtener la cantidad de etanol y metanol en la cerveza modificada y en la cerveza normal. Estos datos ayudaron a comparar el rendimiento de la fermentación de ambas cervezas (Paz, 2005).

Resultados y discusión

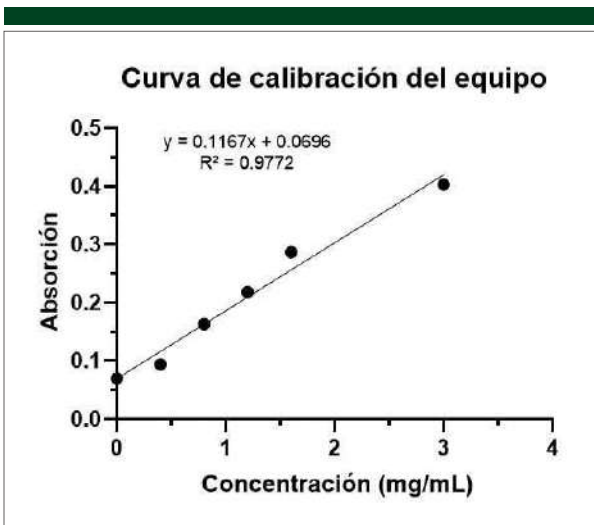
Se buscaba evaluar la efectividad del método de extracción de invertasa y las cualidades de la invertasa extraída. De igual forma, se buscaba analizar la capacidad de las levaduras a las que se les extrajo la invertasa de realizar un proceso de fermentación alcohólica controlado para producir cerveza, por medio de la medición de metanol y etanol. Cumpliendo satisfactoriamente, de esta manera, con el objetivo de la investigación al extraer la invertasa, obtener una concentración de la misma e identificar compuestos alcohólicos en el producto final.

Se realizó una prueba en duplicado de fermentación de glucosa, utilizando la invertasa extraída, y azúcar de marca comercial. Se agregaron ambas sustancias en un medio anaeróbico y se dejó reposar para evaluar la capacidad de la invertasa. En base a los resultados y cualidades organolépticas analizadas evidencian que se dio un proceso de degradación y fermentación de la glucosa, se puede afirmar que la invertasa extraída cumplía con las características esperadas de la enzima.

Los análisis para determinar la concentración de invertasa obtenida, presentaron una media de 0.4761 ± 0.9682 mg/ml, lo cual es satisfactorio para los resultados teóricos buscados. La curva de calibración realizada con los estándares de BSA para obtener la concentración de invertasa, presentó un valor de regresión r^2 de 0.9682. Este valor indica una alta linealidad en la absorbancia de las muestras analizadas y en las concentraciones de invertasa. Por ende, validando el método de extracción de invertasa realizado.

Respecto al producto final de cerveza obtenida, se dio un proceso de fermentación normal al utilizar levadura con la invertasa extraída. Esto nos indica que las levaduras a las que se les extrajo la invertasa realizaron de igual manera un proceso de fermentación alcohólica. Existe la posibilidad de que tras la extracción de la invertasa mediante la centrifugación, las levaduras pudieran generar nuevamente esta enzima catalizadora al estar en un medio anaerobio adecuado con los sacáridos necesarios para degradarse.

| Cuadro 1. Análisis estadístico para la concentración de invertasa. | |
|--|---------------------------|
| Estadístico | Valor |
| Media muestral | 0.4761 ± 0.9682 mg/ml |
| Desviación estándar | 0.2389 |
| Coefficiente de Variación | 50% |
| Intervalo de Confianza | 0.4761 ± 0.2094 |



Gráfica 1. Curva de Calibración y regresión lineal con BSA para obtener la concentración de invertasa extraída.



Figura 1. Fermentación de cerveza con levadura y sin invertasa (izquierda) y con levadura normal (derecha).

La cerveza generada utilizando estas levaduras sin invertasa se caracterizó por tener una coloración más oscura. Esto puede deberse a que conservó la coloración de la malta utilizada al no haberse producido una cantidad de etanol considerable en comparación a la muestra con levadura normal. Al haberse dejado fermentar una menor cantidad de tiempo, es posible que esto haya podido tener una incidencia en la coloración. Ocasionando también la menor cantidad de etanol registrada en la cerveza con levaduras sin invertasa.

Cabe destacar que la cerveza que fue producida con levaduras sin extraer invertasa no presentó metanol en solución al realizar los análisis cromatográficos. La cerveza con las levaduras modificadas presentó una concentración de metanol de 7.86×10^{-2} . Esto se pudo deber a la cantidad de tiempo de fermentación, ya que fue menor al de la cerveza con levaduras normales. De igual forma la presencia de metanol puede ser generada por procesos bioquímicos directamente relacionados a la levadura empleada, al reaccionar con el dióxido de carbono generado por la fermentación, y que esto incidiera en la generación de metanol.

Cuadro 2. Compuestos identificados por cromatografía de gases de la fermentación de las dos variaciones de cervezas realizadas.

| Proporción del compuesto Identificado | Cerveza con levadura sin invertasa %v/v | Cerveza con levadura completa %v/v |
|---------------------------------------|---|------------------------------------|
| Metanol | 7.86×10^{-2} | 0 |
| Etol | 1.735 | 5.123 |

Conclusiones

Se extrajo la enzima invertasa cuya concentración final fue de 0.4761 mg/ml. Y, al estar en un medio anaerobio adecuado con los sacáridos necesarios para degradarse, es posible que se haya llevado a cabo la fermentación alcohólica.

La cerveza obtenida mediante el uso de levaduras simples no presentó metanol en solución. Por otro lado, la cerveza a la cual se le agregaron levaduras con invertasa extraída sí presentó metanol. Es probable que la principal causa de este fenómeno sea algún proceso de contaminación externa. O bien, que los diferentes tiempos de fermentación y reposo que se dieron para ambos resultados hayan influido directamente en los resultados obtenidos. Por ello se recomienda un monitoreo constante a tiempos estipulados desde la producción de la cerveza hasta el análisis realizado para tomar en cuenta todos los datos posibles.

Agradecimientos

Personal que apoyó con equipo de laboratorio:

- Licda. Christa Contreras, Coordinadora de laboratorios del departamento de bioquímica, microbiología y biotecnología molecular; catedrática del curso de Microbiología 1 en la Universidad del Valle de Guatemala.
- Licda. Patricia Palomo, Coordinadora de la planta de ingeniería en alimentos; catedrática de cursos varios de la facultad de ingeniería de la Universidad del Valle de Guatemala.

- Ing. Gamaliel Zambrano, Director del departamento de ingeniería química; catedrático de cursos varios de la facultad de ingeniería en la Universidad del Valle de Guatemala.
- Licda. Ana Luisa Mendizabal, Coordinadora del laboratorio de Análisis Instrumental Avanzado.
- Lic. Miguel Morales, Catedrático de cursos varios en la Universidad del Valle de Guatemala.

Personal que apoyó en el trabajo de laboratorio:

- Nicolás Sandoval, Estudiante de ingeniería química en la Universidad del Valle de Guatemala.
- Diego Aguilar, Estudiante de la licenciatura en química en la Universidad del Valle de Guatemala.

Bibliografía

- Aguilar, C. (2016, 30 junio). LA INVERTASA APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA. https://www.academia.edu/26644635/LA_INTERVASA_APLICACION_EN_LA_INDUSTRIA
- Bokulich N., A., Bamforth C., W. (2013). The Microbiology of Malting and Brewing. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. Vol. 77 (2), 157-172. doi:10.1128/MMBR.00060-12
- Brewing C. (2019). Principios Básicos de la industria cervecera y la producción de la cerveza. Recuperado de: [https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/f83dc09a-0cda-4a3d-b724-76115a75960a/UNIT%201%20-%20BREWING%20\(ES\).pdf](https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/f83dc09a-0cda-4a3d-b724-76115a75960a/UNIT%201%20-%20BREWING%20(ES).pdf)
- Heckmann C., Paradisi F. (2020). Looking Back: A Short History of the Discovery of Enzymes and How They Became Powerful Chemical Tools. *ChemCatChem*. Vol. 12 (24), 6082-6102. <https://doi.org/10.1002/cctc.202001107>
- MA Sainz-Polo, M Ramírez, A Lafraya, B González, J Marín-Navarro, J Polaina, J Sanz-Aparicio. (2013). *Three-dimensional structure of Saccharomyces invertase. Role of a non-catalytic domain in oligomerization and substrate specificity*. *Journal of Biological Chemistry* doi:10.1074/jbc.M112.446435 Recuperado de: <https://www.iqfr.csic.es/es/investigacion-oculto/46-estructura-3d-de-la-invertasa-de-saccharomyces-una-enzima-clave-en-el-metabolismo-del-azucar#:~:text=La%20invertasa%2C%20que%20cataliza%20la,de%20melazas%20para%20producir%20etanol>
- Morales-Toyo, M. (2018). Reacciones químicas en la cerveza. *Revista de Química*. Vol. 32 (1), 4-11.
- Paz, L. (2005). DETERMINACIÓN DE METANOL EN BEBIDAS ALCOHÓLICAS FERMENTADAS TRADICIONALES Y POPULARES DE MAYOR CONSUMO EN DOS REGIONES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA POR CROMATOGRFÍA DE GASES. USAC. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2379.pdf
- Sanz, C. A. (2021, 11 marzo). Cuál es la función de la levadura en la cerveza. Loopulo. <https://loopulo.com/levaduras/funcion-levadura-cerveza/>
- Suárez-Machín, C., Garrido, N., A., C, Guevara, C., A., R. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar. Vol. 50 (1), 20-28.

Docentes investigadores en Guatemala: Aprendizajes de una experiencia de investigación acción para abordar brechas educativas en el aula

¹Ana Aidé Cruz Grünebaum, ²Kevin Renato Rojas Sandoval, ³Sophia Verónica Maldonado Bode, ⁴Amber Gove, ⁵Jennifer Elizabeth Johnson Oliva

¹Licda. Investigadora, Centro de Investigaciones Educativas de la Universidad del Valle de Guatemala. <https://orcid.org/0000-0003-2398-552X>

²BA, Docente Facultad de Educación, Universidad del Valle de Guatemala. <https://orcid.org/0009-0003-0383-1299>

³PhD, Líder de enseñanza y aprendizaje-BEQT, Universidad del Valle de Guatemala. <https://orcid.org/0000-0003-1888-488X>

⁴PhD, Fellow, International Education, RTI International, Washington, DC, USA. <https://orcid.org/0000-0002-0063-0809>

⁵MA, Especialista en Educación BEQT, Universidad del Valle de Guatemala. <https://orcid.org/0009-0007-5112-490X>

Publicado en cooperación con RTI Press®. La versión en inglés de esta publicación "Teacher researchers in Guatemala: Lessons from an action research experience to address educational gaps" está disponible en <https://doi.org/10.3768/rtipress.2025.op.0094.2501>. Traducido y reimpresso con permiso.

RESUMEN: El presente artículo tiene como objetivo describir los aprendizajes de docentes de primaria del área rural de Guatemala que propicia una experiencia de investigación acción. Esta experiencia se desarrolló en el contexto del proyecto "Educación Básica de Calidad para la Transición", o BEQT por sus siglas en inglés, financiado por la Agencia de EE. UU. para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés) e implementado por RTI International con socios Funcafé, Funsepa, Wayfree y Universidad del Valle de Guatemala. El Centro de Investigaciones Educativas (CIE) de la Universidad del Valle de Guatemala como socio de RTI, desarrolla e implementa el programa "Docentes Investigadores". El programa de investigación acción involucra a los docentes para identificar y llenar los vacíos en el aprendizaje de matemáticas, lectura y/o escritura con sus estudiantes de 1° a 3° primaria. Durante el programa, los docentes reflexionaron sobre los aprendizajes obtenidos y fortalecieron habilidades en investigación para identificar brechas en contenidos, así como la aplicación y reflexión de posibles soluciones que fueron reflejadas en ajustes en la planificación de clases y la implementación de estrategias didácticas. Por medio de un análisis categórico de las reflexiones derivadas de estas experiencias, se revela cómo el fortalecimiento de las habilidades de investigación permite a los docentes identificar áreas de oportunidad en el uso de las estrategias pedagógicas para mejorar la calidad de la enseñanza permitiendo reflexionar sobre sus propias prácticas docentes.

PALABRAS CLAVE: Investigación acción educativa, competencias en investigación, habilidades en investigación, formación docente, estrategias pedagógicas.

Teacher Researches in Guatemala: Learning from an action research experience to address educational gaps in the classroom

ABSTRACT: This article aims to describe the learning of primary school teachers in rural Guatemala that fosters an action research experience. This experience was developed as part of the "Basic Education Quality and Transitions" activity or BEQT, which is funded by the United States Agency for International Development (USAID) and implemented by RTI International with partners Funcafé, Funsepa, Wayfree and Universidad del Valle de Guatemala. The Center for Educational Research (CIE) of Universidad del Valle de Guatemala, as a partner of RTI, develops and implements the "Teacher Researchers" program. The action research program allows teachers to identify and fill gaps in the math, reading, and/or writing skills learning of their first- to third-grade students. During the program, teachers reflected on the lessons learned and strengthened research skills to identify gaps in content, as well as applied possible solutions that led to adjustments in lesson planning and the implementation of new teaching strategies. A categorical analysis of the reflections derived from these experiences highlights how strengthening research skills allows teachers to identify opportunities in the use of pedagogical strategies to improve the quality of teaching, allowing them to reflect on their own teaching practices.

KEYWORDS: Educational action research, research competencies, research skills, teacher training, pedagogical strategies.

Introducción

Actualmente, la educación primaria sigue siendo fundamental en el desarrollo académico y personal de los estudiantes^{1,2}. De acuerdo con el Instituto de Estadística de la UNESCO (UIS) (2013) los programas de educación están principalmente destinados a proporcionar a los estudiantes destrezas básicas en lectura, escritura y matemáticas y sentar una sólida base para el aprendizaje y la comprensión de las áreas esenciales del conocimiento y el desarrollo personal y social.

Sin embargo, a medida que la sociedad evoluciona, los desafíos que enfrentan los maestros de Primaria en sus prácticas educativas se vuelven más evidentes. Rubio Hernández y Olivo-Franco (2020) hicieron alusión a este hecho y resaltaron que “en el ámbito escolar han surgido nuevas demandas y expectativas, las cuales se han planteado a partir de los cambios sociales, económicos y culturales que han tenido lugar en muy diversos terrenos (Day, 2005)” (p. 8). Esta relación entre los fenómenos que acontecen en el contexto social y su impacto directo en la educación se evidencia a través de eventos significativos, uno de ellos fue el COVID-19 que impactó y representó grandes desafíos para los sistemas educativos (Mann, 2020; UNESCO, 2020).

En ese sentido, organismos internacionales como el Banco Mundial, UNESCO, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Human Rights Watch y la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI) evaluaron que la pandemia de COVID-19 representó la mayor pérdida y retroceso en el aprendizaje que ha experimentado la educación en todos los tiempos, provocando un desfase en el logro de los programas educativos para cada año a nivel mundial (Palacios Mosquera & Palacios Scarpeta, 2023). Prueba de lo anterior son los resultados del último informe del Programa de Evaluación Internacional de Alumnos (PISA) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) el cual encontró que en el caso de la región de Latinoamérica y El Caribe “tres de cada cuatro estudiantes tienen bajo rendimiento en matemáticas y la mitad no cuenta con habilidades básicas de lectura” (Arias Ortiz et al., 2023). Los resultados de evaluaciones internacionales en Guatemala en el año 2019 reflejaron que el 39,3% de los estudiantes de 3° grado alcanza el nivel mínimo de competencia definida en Lectura, y en Matemática un 34%. En 6° grado, un 15,1% de los estudiantes se encuentra por encima del nivel de competencia mínimo esperado en Lectura, y en Matemática un 6% (UNESCO, 2022), aunque en Guatemala aún no existe información comparable de rendimiento educativo en primaria, el Banco

Mundial (2021) indicó que la pobreza de aprendizaje, definida como el porcentaje de niños de 10 años que no pueden leer ni comprender un texto sencillo, puede haber crecido del 51 por ciento al 62.5% por ciento en los países de Latinoamérica y El Caribe.

Es innegable que para recuperar el aprendizaje perdido se requiere establecer programas, colaboraciones y acciones institucionales que respalden a los docentes de todos los niveles, facilitando su desarrollo continuo y actualización de habilidades, incluyendo aquellas esenciales para una enseñanza efectiva (Sanchez Mediola et al., 2023). Además, la formación de dichos docentes, tanto a nivel inicial como su formación continua, necesita centrarse en el desarrollo de las competencias y aplicación práctica del conocimiento (Pérez Gómez, 2013). En el contexto postpandemia, y la ampliación de brechas de oportunidad y aprendizaje inducido por el cierre prolongado de las escuelas, es todavía más importante que los docentes colecten y analicen información sobre las destrezas de sus alumnos para proporcionar lecciones adaptadas de apoyo.

En este sentido una herramienta para abordar esos desafíos es la investigación-acción, definida como un enfoque que estudia sistemáticamente situaciones problemáticas para tomar acciones que las cambien, combinando la investigación y acción de manera dinámica. En el contexto educativo, investigación-acción es un proceso reflexivo en el que los docentes investigan y mejoran su propia práctica educativa (Pine 2008).

Desde una estrategia de formación, la investigación-acción puede ser vista como una forma de trabajar desde una perspectiva que sucede en el aula (Bergmark, 2022). Además, los docentes tienen la oportunidad de hacer preguntas sobre problemas a los que se enfrentan diariamente, y pueden dar soluciones a ellos, involucrándose en una indagación sistemática para lograr cambios en la práctica y obtener mejores resultados en esos problemas que identifican (Bergmark, 2022; Cochran-Smith & Lytle, 2009; Messikh, 2020; Mills, 2017).

Para los autores Fullan (2010), Hawley y Valli (1999) y Putnam y Borko (2000), como lo mencionó Manfra (2019), estas experiencias de aprendizaje de investigación acción deben conectarse con esa práctica diaria, sostenida y prolongada para lograr un cambio en la enseñanza. A esto añadieron O'Connor et al. (2006) que la investigación acción es una herramienta que ayuda a los maestros a descubrir estrategias para mejorar las prácticas de enseñanza. La investigación en acción y la valorización del conocimiento de los docentes en

¹ Publicado en cooperación con RTI Press. La versión en inglés de esta publicación “Teacher researchers in Guatemala: Lessons from an action research experience to address educational gaps” está disponible en <https://doi.org/10.3768/rtipress.2025.op.0094.2501>. Traducido y reimpresso con permiso.

² Esta co-publicación fue posible gracias al apoyo generoso del pueblo de los Estados Unidos, a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El contenido de esta co-publicación es responsabilidad de RTI International y no necesariamente refleja el punto de vista de USAID o del gobierno de los Estados Unidos.

su propio desarrollo también son componentes importantes de la idea de Fondos de Conocimiento, que da valor a las habilidades, saberes y experiencias de las personas para conectarlas a experiencias de aprendizajes (Ambrosy Velarde et al., 2024).

La investigación-acción desempeña un papel importante en la mejora de las prácticas docentes, al examinar activamente los propios métodos de enseñanza y las necesidades de sus estudiantes para poder tomar decisiones informadas (Crawford, 2022). Según Meritler (2021) a diferencia de los enfoques de prueba y error, la investigación-acción sigue un proceso más estructurado y sistemático, lo que permite a los docentes modificar intencionalmente sus estrategias de enseñanza basándose en la evidencia y la reflexión. Una de las recomendaciones que UNESCO (2021) hizo a los docentes fue involucrarse activamente en la investigación educativa, vinculado a la reflexión de sus prácticas para producir conocimiento.

En cuanto a las competencias en investigación, Rincón Gonzáles y Mujica Chirinos (2022) hicieron referencia al dominio, por parte del docente, de habilidades, conocimientos y valores relacionados con el saber hacer investigación, el saber ser investigador y el saber transferir los conocimientos obtenidos de la investigación” (p. 28).

Otra interpretación fue dada por Muñoz Giraldo et al. (2001) quienes mencionaron que las competencias en investigación “son aquellas necesarias para que los educadores logren interpretar, argumentar, proponer alternativas, preguntar y escribir a partir de la experiencia pedagógica de acuerdo con la problemática que caracteriza el aula y la escuela” (p. 145). Para formar un docente investigador, se requieren características y habilidades esenciales, generales e individuales, que incluyen formular preguntas, observar, experimentar, registrar, analizar, interpretar, escribir, resumir, ser crítico y autocrítico, fomentar la cooperación y poseer valores (Moscoso-Ramírez & Carpio Cordero, 2022). Cuando los formadores desarrollan habilidades de investigación pueden buscar, seleccionar, reconstruir y utilizar el conocimiento de manera crítica y activa adaptándose a las circunstancias específicas que se presenten (Zetina Pérez et al., 2017, p. 5).

En algunos países latinoamericanos, incluyendo Guatemala, la principal tarea de los docentes es enseñar. Paredes-Chi y Castillo-Burguete (2021) mencionaron que no está consolidada la investigación en la formación de los maestros y añadió Palencia Salas (2020) que estas habilidades de investigación se ponen más en práctica en el ámbito universitario. Algunos autores han encontrado que experiencias en investigación acción con docentes generan aprendizajes en la enseñanza, la investigación y la colaboración. Relacionado a la investigación acción, los profesores han adquirido conocimientos sobre los resultados de la

investigación, comprensión y uso de métodos de investigación para documentar y analizar la práctica docente (Bergmark, 2022), aprendizaje sobre formas de enseñanza, habilidades en investigación, conciencia crítica, motivación y comprensión hacia sus estudiantes (Edwards, 2016).

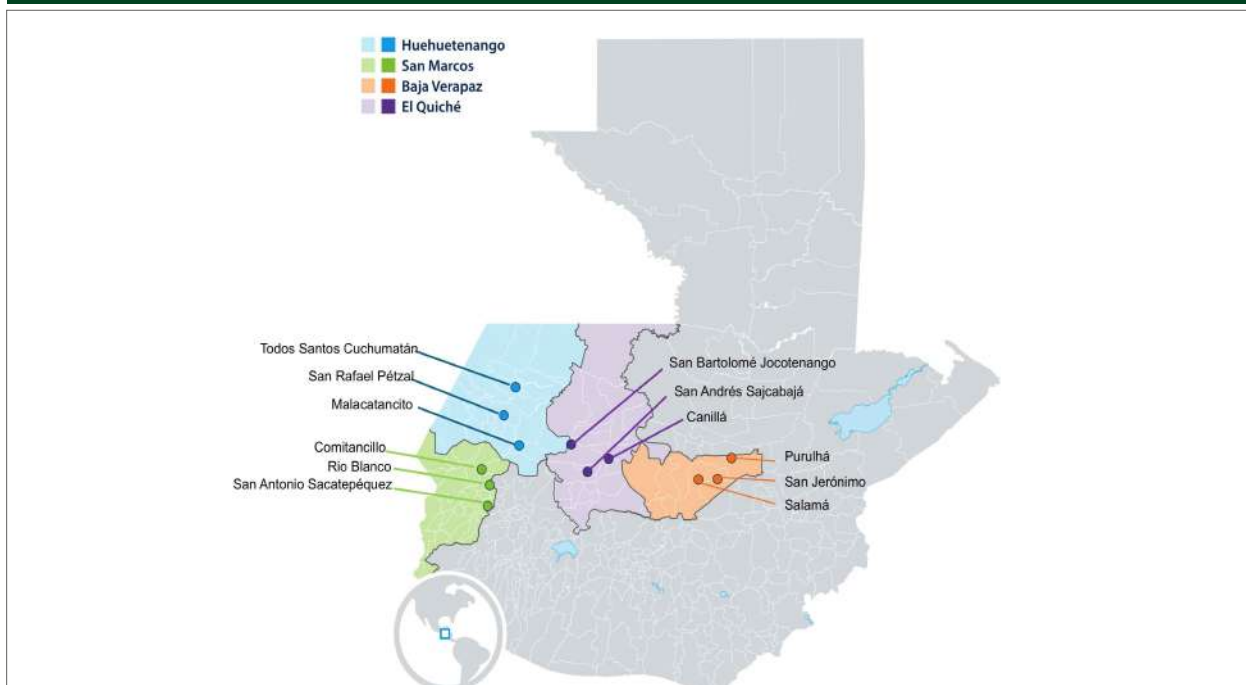
Con base en lo anterior, enfatizamos el papel clave de las experiencias en investigación para fortalecer las habilidades investigativas. El docente puede convertir estas habilidades en un catalizador esencial para la mejora pedagógica. Su objetivo sería de atender brechas en los aprendizajes basados en procesos de investigación en el aula que el docente puede realizar o sobre los que puede reflexionar.

El presente estudio permitió explorar las reflexiones de docentes participantes en un programa de formación centrado en la investigación acción. El objetivo de este programa era apoyar a los docentes de primero, segundo y tercero primaria para realizar un proceso de investigación en sus aulas, abordando problemáticas específicas identificadas en lectoescritura y matemáticas. A través del análisis de las reflexiones de los participantes, se han obtenido conclusiones significativas que arrojan luz sobre la efectividad de este enfoque en la formación docente.

Contexto

Guatemala es un país de ingresos medios-bajos, con altos niveles de desigualdad y una historia marcada por la riqueza de cultura maya, siglos de colonialismo española y un conflicto civil de más que tres décadas. Desde la firma de los acuerdos de paz que marcó el final del conflicto en 1996, el sistema publica educativo de Guatemala ha atravesado importantes desafíos y transformaciones. Los acuerdos apuntaban a abordar problemas derivados de décadas de conflicto civil, como la desigualdad social y la falta de acceso a servicios básicos como la educación. Uno de los principales objetivos de los acuerdos fue aumentar el acceso y la calidad de la educación, en particular para las poblaciones rurales e indígenas.

La calidad de la educación ha sido un desafío persistente, y muchas escuelas públicas todavía carecen de recursos adecuados, maestros capacitados e infraestructura. Sucesivos gobiernos han implementado reformas curriculares para promover la educación bilingüe y el contenido culturalmente relevante, pero la implementación ha sido desigual en todo el país. Se ha priorizado el desarrollo profesional de los docentes, pero muchos educadores aún trabajan en condiciones difíciles, entre ellos escasez de materiales, acceso a tecnología, retos de movilización a las escuelas y otras situaciones del contexto en donde laboran. Esto afecta la consistencia y la calidad de la educación que se les brinda a los estudiantes, especialmente en el altiplano, una región de población de mayoría indígena.



Gráfica 1. Departamentos y municipios apoyados por BEQT.

Las políticas del sistema educativo nacional reflejan esta complejidad y el esfuerzo continuo de mejorar la calidad educativa, comenzando con el factor clave de la docencia. La importancia del fortalecimiento de las capacidades de los docentes como principal esfuerzo del sistema educativo esta señalada por las políticas orientadas a la formación, evaluación y gestión de los recursos humanos del Sistema Educativo Nacional (Dirección General de Evaluación e Investigación Educativa [DIGEDUCA], 2021). El programa de docentes investigadores aporta este enfoque y provee de un espacio de aprendizaje para que el docente tenga la experiencia de investigación en el aula y sea parte de esa formación continua. Ureta et al., (2019) propusieron que en Guatemala, la formación continua se relaciona con procesos de atención docente, inducción, actualización, profesionalización y/o acompañamiento.

En este contexto, la actividad “Educación Básica de Calidad para la Transición” o BEQT, financiado por USAID e implementado por RTI y los socios Funcafé, Funsepa, Wayfree y UVG, está apoyando a el Ministerio de Educación en sus esfuerzos para mejorar el acceso a educación básica de calidad, especialmente para poblaciones vulnerables y marginalizadas del altiplano (ver Gráfica 1). El propósito principal del proyecto es contribuir en la mejora del desarrollo de destrezas básicas de lectura, escritura, matemáticas y la adquisición de habilidades sociales y emocionales de la niñez y juventud, de los estudiantes indígenas, las niñas y las personas con discapacidad, y aumentar las tasas de finalización y transición de la primaria a la secundaria en el altiplano de

Guatemala. Un enfoque importante es la mejoría en las tasas de transición desde primaria (6to grado) a primero básico (7to grado); en los municipios apoyados por el proyecto en 2023 solo 59 por ciento de los que terminaron 6to grado se matricularon en primero básico. El Centro de Investigaciones Educativas (CIE) de la Universidad del Valle de Guatemala, como socio de RTI, desarrolló e implementó el programa “Docentes Investigadores” con el fin de apoyar a los docentes en mejorar sus prácticas en el aula. El programa de investigación acción involucró a los docentes para identificar y llenar los vacíos en el aprendizaje de matemáticas, lectura y/o escritura con sus estudiantes de 1° a 3° primaria.

Estos maestros se seleccionaron en una muestra de conveniencia a través de una convocatoria directa a las escuelas por el ministerio de educación local de los municipios que participaron. Durante la primera cohorte, 121 maestros de 1° a 3° grado, provenientes de doce municipios de los departamentos de Baja Verapaz, Huehuetenango, Quiché y San Marcos, quienes trabajan en escuelas del nivel primario del sector público en Guatemala terminaron el programa.

La estructura del programa comprendió tres fases: la fase de planificación que abarcaba la inducción, las características del diseño de investigación acción, la identificación de brechas por parte de los docentes y la propuesta del plan a implementar; la fase de implementación y acompañamiento; y la fase de evaluación y aprendizajes alcanzados.

Los docentes que participaron en los talleres de reflexión realizados en cada municipio identificaron los retos y beneficios de llevar a cabo un proceso de investigación en el aula. Dos expertas contratadas por el proyecto, una especializada en lectoescritura y otra en matemáticas, brindaron orientación a través de talleres de formación y acompañamiento durante el proceso.

Esto incluyó 1 charla informativa inicial, 2 talleres y 4 sesiones de acompañamiento con los participantes con el propósito de:

1. Analizar los resultados de una evaluación diagnóstica,
2. Identificar las habilidades de los estudiantes y las brechas de aprendizaje,
3. Brindar acompañamiento en la identificación y aplicación de estrategias de enseñanza para reducir las brechas y
4. Orientación en analizar y documentar sus experiencias durante el proceso, para que puedan replicarla con otros estudiantes. En total se invirtieron 9 horas en sesiones presenciales y 4 horas de acompañamiento a distancia a cada docente.

A lo largo del programa, se recopiló información relacionada con el proceso de reflexión, planificación e implementación, evidencias de la ejecución de las actividades, así como los logros y aprendizajes obtenidos por los docentes. Para los fines de este artículo, se hace énfasis en la información recabada sobre las propuestas de investigación para abordar las brechas y los aprendizajes reportados por los docentes.

A través de esta investigación, pretendemos dar a conocer los aportes y aprendizajes de la investigación acción y como la aplicación de habilidades de investigación propicia cambios en prácticas educativas de los docentes de primaria que participaron en el programa. Este artículo aspira a dar una visión más clara del potencial transformador de esta experiencia, y también ofrecer perspectivas valiosas para el diseño de futuros programas de formación docente en el campo de la investigación en el aula.

Pregunta de investigación

En este contexto, surge la pregunta, ¿Qué aprendizajes se propician de una experiencia de investigación acción para el abordaje de brechas educativas en el aula?

Metodología

La presente investigación se desarrolló con un enfoque cualitativo y diseño descriptivo. Para la selección de los casos, se realizó un muestreo intencional el cual es definido por Campbell et al. (2020) como el tipo de muestreo que se emplea para elegir elementos con alta probabilidad de ofrecer información útil, optimizando recursos de investigación y determinando casos esenciales para la muestra según los objetivos del estudio.

Parte del proceso fue introducir la metodología de investigación a utilizar basada en tres fases principales que están presentes en varios modelos de investigación acción y que están relacionadas con el desarrollo de ciertas habilidades de investigación:

1. **Planificación:** observar, identificar el problema, reunir información, revisar literatura, investigar y planificar la estrategia o acción.
2. **Implementación:** implementar el plan, recolectar información o datos, analizarlos, identificar mejoras, ajustar, evaluar.
3. **Reflexión:** preparar preparar un resumen de resultados, sistematizar, compartir resultados, reflexionar sobre todo el proceso.

(Adaptado de Clark et al., 2020; Riel & Lepory, 2014; Phillips & Carr, 2013; Pine et al., 2008; Greenwood & Levin, 2007).

Como parte del programa, los docentes participantes llenaron un instrumento que tenía como objetivo consolidar el proceso de investigación acción que cada docente tuvo y así reportar los componentes más importantes de ese proceso. Las respuestas en formato papel fueron transcritas en una matriz de Excel; en Cuadro 1 se provee un ejemplo de lectura y en Cuadro 2 un ejemplo de matemática. Esa fue la información analizada.

Cuadro 1. Resumen de proceso, docente lectura.

| Área para trabajar | Planteamiento y justificación | Pregunta de investigación | Breve descripción de la estrategia | Resultados | Conclusiones y recomendaciones | ¿Cuáles fueron mis aprendizajes? |
|-----------------------|---|--|--|--|---|---|
| Lectoescritura | La escritura de oraciones es una dificultad que presentan los estudiantes de tercero primaria debido a que este grupo de estudiantes aprendió a leer a distancia debido a la pandemia por COVID-19 lo que ha afectado que tengan dificultad para ordenar sílabas de manera coherente. | ¿Fortaleciendo la escritura de oraciones a través de estrategias innovadoras mejorará que los niños puedan ordenar las sílabas de las palabras en forma coherente? | <p>FICHAS DIDÁCTICAS Se presentan a los estudiantes fichas con palabras de vocabulario para que conozcan significados y puedan ordenar ideas de lo que se les está presentando.</p> <p>JUEGO DE MEMORIA Con las palabras del vocabulario podían ordenar las sílabas, escribir oraciones, copiar textos.</p> <p>DICTADO de acuerdo a las palabras de los vocabularios.</p> <p>LECTURA SEMANAL Lectura en voz alta, lectura en coro con todos los estudiantes.</p> <p>LECTOMETRO Se midió la fluidez para ver el avance de los estudiantes.</p> | <p>Los niños mejoraron al momento de leer porque aumentaron la velocidad lectora de las palabras que podían leer en un minuto.</p> <p>La escritura de oraciones utilizando mayúscula al inicio y punto al final.</p> <p>La comprensión de lectura mejoró con las preguntas a los estudiantes al momento de leer.</p> | <p>CONCLUSIONES 1. La lectoescritura es fundamental aplicarla en el primer ciclo de educación primaria. 2. El programa de Docentes Investigadores ayuda a que mejore la calidad educativa de los estudiantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje.</p> <p>RECOMENDACIONES 1. Es indispensable promover actividades de lectura en los establecimientos educativos todos los días. 2. Es importante planificar con base al contexto de los estudiantes.</p> | <p>APRENDÍ 1. Que es importante planificar todos los días para mejorar la lectoescritura de los estudiantes. 2. Las estrategias motivadoras ayudan a que los niños aprendan jugando.</p> |

Cuadro 2. Resumen de proceso, docente matemáticas.

| Área para trabajar | Planteamiento y justificación | Pregunta de investigación | Breve descripción de la estrategia | Resultados | Conclusiones y recomendaciones | ¿Cuáles fueron mis aprendizajes? |
|--------------------|---|--|--|------------|--------------------------------|--|
| Matemática | Habiendo realizado un sondeo a través de la evaluación diagnóstica con los estudiantes de tercer grado; se llegó a la conclusión que es necesario realizar la presente investigación con el tema Aprendizaje de las fracciones, con el fin de investigar y aplicar diferentes métodos y técnicas manipulables para dar solución a este problema de aprendizaje. | ¿Qué resultados se obtienen al aplicar el muro de fracciones y fracciones utilizando papel para disminuir o eliminar la situación problema de aprendizaje de fracciones? | Para dar solución a la dificultad de aprendizaje de las fracciones, se utilizó como actividad previa el doblar hojas de papel bond en partes iguales e ir mencionando en voz alta las partes en que se va dividiendo la hoja. Habiendo realizado la actividad previa, se aplicó la estrategia del muro de fracciones, que fue aceptada y aplicada de manera positiva, la cual provocó en los estudiantes un aprendizaje facilitado y efectivo de las fracciones. Haciendo tiras de cartulina, dividiéndolas de 1 a 12 partes iguales, luego se enseña la equivalencia de fracciones y fueron aprovechando para el aprendizaje de fracciones propias. | | | <ol style="list-style-type: none">1. Aprender a utilizar materiales manipulables.2. Investigar diferentes métodos de enseñanza.3. Que los estudiantes aprendan haciendo. |

Participantes

Para esta investigación, de 121 docentes, se tomaron en cuenta 108 docentes que cumplían el criterio de haber proporcionado alguna información a las preguntas del cuestionario trabajado que representan el 89 por ciento del grupo original. En total, 55 docentes trabajaron el área de lectoescritura y 53 docentes trabajaron el área de matemática. Trece docentes no se incluyeron por no proporcionar información que se podía analizar. Algunos de ellos solo participaron en los talleres presenciales y no registraron ninguna información de su proceso de investigación. Otros de ellos solo presentaron evidencias de fotografías sobre alguna actividad que realizaron en clase.

El proyecto de intervención BEQT es el que tiene la autorización del Ministerio de Educación (MINEDUC) para trabajar este programa con los docentes. El Comité de Ética de UVG revisó la aplicación y dio su aprobación del estudio enfocado en el análisis de los datos recopilados por el programa.

Método de análisis

Se llevó a cabo un análisis de contenido de las experiencias reportadas por los docentes seleccionados, identificando las categorías emergentes las cuales involucran significados relacionados con situaciones, contextos, actividades, sobre diversos temas como problemas, estrategias y procesos, entre otros (Vives Varela & Hamui Sutton, 2021).

Para el proceso de codificación un investigador codificó la información de los docentes en categorías y un segundo investigador confirmó la codificación de las categorías. Ambos utilizaron un proceso de codificación manual usando Excel, donde asignaron un color diferente a cada categoría y fueron marcando los textos codificados con ese color. Finalmente, ambos investigadores acordaron la propuesta de categorías codificadas. El proceso de revisión de codificación también implicó verificar que las subcategorías se relacionaban con tres principales áreas de análisis en las que se enfoca este estudio.

Cuadro 3. Áreas de análisis.

| Aprendizajes asociados a la investigación | Problemáticas identificadas o brechas de aprendizaje | Cambios y resultados en el aprendizaje |
|--|--|--|
| <p>Percepción de aprendizaje sobre las habilidades relacionadas a las fases de la investigación que los docentes mencionan: observación, planificación, sistematización, búsqueda de información, investigar, evaluación, análisis, aplicación, reflexión entre otras.</p> <p>Percepción de aprendizaje sobre el plano didáctico relacionado a uso de estrategias conocidas o nuevas.</p> <p>Percepción de aprendizaje sobre otras habilidades o actividades aprendidas.</p> | <p>Temas o problemas para investigar en lectura o matemática identificados por los docentes en sus aulas.</p> <p>Identificar la brecha de aprendizaje que desean trabajar: lo que los docentes identifican como debilidad en los estudiantes y desean reforzar para que aprendan lo que se espera que aprendan para su grado y edad.</p> | <p>Pasar de un estado o punto de aprendizaje a otro. Denota un avance en la adquisición, desarrollo o manejo de conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes comparados con el dominio inicial que se observaba en el estudiante, basados en la percepción del docente.</p> |

Resultados

Se analizaron las reflexiones reportadas por los docentes que culminaron el programa, haciendo énfasis en principales aprendizajes del proceso de investigación, las problemáticas identificadas y resultados observados en los estudiantes.

Aprendizajes sobre el proceso de investigación

En cuanto a las habilidades y aprendizajes de los docentes asociados al proceso de investigación acción, nos informaron de que habían aplicado habilidades relacionadas a la investigación como la observación y evaluación de problemáticas en su contexto, la búsqueda y análisis de

información, así como también la aplicación, evaluación y reflexión de nuevas estrategias didácticas. Los docentes reportaron haber enfocado este proceso para explorar alternativas que les permitan responder a las problemáticas identificadas dentro de sus aulas. Aunque reconocían la investigación como una herramienta para innovar y mejorar la calidad de la entrega educativa, en las respuestas de la sistematización se observaron desafíos de plantear las preguntas, describir el problema y conectar las partes que conforman el proceso metodológico de una investigación-acción (planteamiento, justificaciones, intervención). Cuadro 4 destaca comentarios de docentes reflejando su experiencia con investigación.

Cuadro 4. Experiencias de los docentes con relación a la investigación.

| Informante | Frase | Habilidad identificada |
|---------------|--|--|
| Docente LE 1 | “Aprendí a investigar mucho. A convivir más con mis compañeros, a usar otras estrategias de enseñanza. Aprendí a usar videos con mis alumnos, y a usar otras estrategias y buscar otras estrategias para mejorar el aprendizaje” | <ul style="list-style-type: none"> • Investigación • Aplicación • Sistematización • Búsqueda |
| Docente LE 28 | “La investigación acción me ayudó a conocer mis aptitudes y mejorar la selección de la información. Me ayudó a detectar las deficiencias y puntos débiles en los alumnos. La planificación parte de la observación sistemática así como la oportunidad de recoger datos” | <ul style="list-style-type: none"> • Investigación • Evaluación • Planificación • Recolección de datos |
| Docente LE 7 | “Aprendí a investigar técnicas para el aprendizaje de la lectoescritura, especialmente con alumnos que tienen problemas de aprendizaje” | <ul style="list-style-type: none"> • Investigación |
| Docente M 4 | “Aprendí que investigando puedo aplicar diferentes estrategias que ayudan a dar un aprendizaje significativo, también me quedó como aprendizaje el interés que se despertó en mis estudiantes, al aplicar diferentes estrategias” | <ul style="list-style-type: none"> • Investigación • Aplicación • Reflexión |
| Docente M 39 | “Aprendí que como docentes investigadores es un reto bastante amplio con los estudiantes, utilizando diferentes estrategias para atender las diferentes necesidades que posee cada estudiante y a utilizar las diferentes estrategias con los niños, ellos se motivaron y les facilitó la enseñanza aprendizaje” | <ul style="list-style-type: none"> • Investigación • Implementación • Reflexión |

Fuente. Elaboración propia.

Estos resultados coincidieron con la evidencia encontrada en otros estudios donde se resaltó que en los últimos años había habido un aumento en el número de docentes que realizaron procesos investigativos, que giraron en torno a la reflexión sobre sí mismos y sus propias prácticas educativas y que buscaron e implementaron soluciones a las dificultades detectadas en el aula (Palencia Salas, 2020). En ese sentido, la investigación es una actividad cada vez más necesaria para identificar y diagnosticar necesidades educativas, sociales, institucionales y personales en la búsqueda de promover cambios significativos en las prácticas educativas, en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en la organización de las instituciones educativas, entre otros (Muñoz Martínez & Garay Garay, 2015).

Aprendizajes sobre estrategias usadas

Los docentes subrayaron la importancia de la implementación y aplicación, pues pudieron poner en práctica las estrategias seleccionadas por ellos en sus aulas para responder a las brechas identificadas. Los docentes que participaron en el programa y reflexionaron sobre su experiencia destacaron haber desarrollado aprendizajes significativos relacionados con aplicación de nuevas estrategias pedagógicas, actualización de estrategias o reforzamiento de algunas estrategias, resultado directo del proceso de investigación que realizaron. Los docentes mencionaron usar estrategias innovadoras que no habían usado antes de este programa, o actividades que no habían implementado en sus clases, no siendo necesariamente innovadoras. Cuadro 5 destaca comentarios de docentes reflejando su experiencia con la aplicación de estrategias levantados por la investigación.

Cuadro 5. Experiencias de los docentes con relación a la implementación y aplicación de estrategias.

| Informante | Frase | Habilidad identificada |
|---------------|---|--|
| Docente LE 13 | “Aprendí que aplicar estrategias ayuda al estudiante a facilitar su aprendizaje. A organizar mi tiempo efectivo en la clase de lectura mejorando el vocabulario de los estudiantes y a implementar estrategias de forma constante para mejorar en la lectura y escritura” | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación • Organización • Implementación |
| Docente LE 16 | “Aprendí que debemos de aplicar técnicas y estrategias. Aprendí que cada estudiante aprende de diferente forma. Aprendí que no todos los padres asumen responsabilidades para mejorar la educación de sus hijos. Aprendí que es importante tener lecturas dentro del aula ya sean libros o impresos” | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación • Reflexión |
| Docente LE 18 | “Aprendí que al momento de utilizar diferentes estrategias cada niño aprende a su ritmo. Cada niño tiene diferentes habilidades y destrezas. Hay niños que requieren de educación personalizada” | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación • Reflexión |
| Docente LE 29 | “Aprendí que se debe investigar para indagar qué es lo que pasa con cada estudiante y así poder aplicar las estrategias de enseñanza que nos ha dejado el programa.” | <ul style="list-style-type: none"> • Investigación • Aplicación |
| Docente M 16 | “Aprender a utilizar materiales manipulables. Investigar diferentes métodos de enseñanza. Que los estudiantes aprendan haciendo” | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación • Investigación • Reflexión |
| Docente M 19 | “La utilización de las diferentes técnicas promueven un resultado poderoso en el aprendizaje de los estudiantes. El programa permitió el espacio para la búsqueda y aplicación de diferentes técnicas” | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación • Búsqueda • Implementación |
| Docente M 25 | “Aprendí que los estudiantes trabajan en equipo, hay más comunicación y se intercalan ideas unos con otros y se ayudan mutuamente para dar soluciones. La aplicación de estrategias es indispensable por medio de ello el niño es protagonista en su aprendizaje. Que el alumno es el eje principal en el centro del aula porque a través de las diferentes actividades el alumno aprende y se desenvuelve” | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación • Reflexión |

Fuente. Elaboración propia.

Lo anterior es un ejemplo de que la investigación fue un medio eficaz para la praxis pedagógica en el sentido que, además de generar una actitud crítica frente a los fenómenos educativos concretos, esta se orientó a conocer y analizar profundamente determinadas problemáticas en un contexto educativo determinado con el objetivo de encontrar alternativas de transformación y solución (Morán Oviedo, 2004). Por ello, la investigación acción continúa siendo una de las modalidades más utilizadas por los docentes que buscan transformar sus propias prácticas (Sanahuja et al., 2020).

Lo anterior se ha confirmado con estudios enfocados en esta materia que han reflejado que existe un avance en la aplicación de procesos de investigación para mejorar las prácticas docentes y la innovación educativa y que esto contribuye a mejorar las competencias docentes (Núñez-Rojas et al., 2021). Específicamente, se ha encontrado que el ejercicio de la investigación en el ámbito educativo agudiza los procesos reflexivos, enfoca la atención hacia los aspectos importantes, aclara los problemas, fomenta el debate y el intercambio, profundizando así el entendimiento, la flexibilidad y la

adaptación en la búsqueda de mejorar la capacidad para resolver problemas (Catalán Cueto, 2020).

Otros aprendizajes de los docentes

Otro punto que destacar con relación a los aprendizajes reportados por los docentes que participaron en el programa se relaciona con la sistematización entendida como el análisis crítico de una o varias experiencias que, al organizarlas y reconstruirlas, revela la secuencia lógica del proceso, los elementos involucrados, cómo se han relacionado entre sí y por qué lo han hecho de ese modo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2004). Los docentes hicieron alusión a este proceso cuando reflexionaron sobre la importancia de contar con lineamientos, planificación, estructura, así como la recopilación de información con un propósito. Del mismo modo, se evidencia en el reconocimiento del proceso de evaluación y monitoreo como actividades fundamentales para un adecuado seguimiento de los estudiantes. Y un elemento muy mencionado fue descubrir las necesidades de sus estudiantes, conocer que aprenden de diferentes formas para poder seleccionar las estrategias a usar. Las palabras que resaltaron dentro de esta categoría de codificación se presentan en la Cuadro 6.

En este contexto, se confirma que la sistematización constituye un proceso formativo efectivo. Este proceso permite integrar ideas, conceptos, conocimientos, paradigmas y experiencias personales con la práctica. El objetivo es reformular e incorporar nuevos conocimientos a los adquiridos previamente, pasando de saberes aislados y privados a conocimientos organizados y socializables (Aranguren Peraza, 2007).

Adicionalmente, se evidencian en Cuadro 7 otros aprendizajes secundarios al proceso de investigación. Estos aprendizajes se relacionan con la importancia de compartir las experiencias otros docentes. También destacan el trabajo en equipo, la comunicación efectiva, el uso de recursos tecnológicos, la búsqueda de innovación, la persistencia y la organización del tiempo.

Todo lo mencionado se resume en Cuadro 8, que los principales aprendizajes reportados por los docentes se relacionan con la acción de investigación como estrategia de formación, el fortalecimiento de habilidades investigativas y vinculado a esto el uso de nuevas estrategias didácticas en el aula de una forma planificada.

Brechas identificadas

En cuanto a las brechas identificadas, se encontró que los docentes enfocados en el área de lectoescritura y los de matemática identificaron problemáticas a nivel de desarrollo de competencias en las áreas básicas de cada asignatura (ver Cuadros 9 y 10). Además, se encontró que los docentes que se enfocaron en el área de lectoescritura identificaron otro tipo de problemáticas a nivel contextual que consideraban

Cuadro 6. Reconocimiento de necesidades en el estudiante.

| Palabras | N | % |
|-------------------|----|------|
| Estudiantes | 11 | 12% |
| Diferentes formas | 14 | 15% |
| Niñas | 10 | 11% |
| Niños | 12 | 13% |
| Aprendizaje | 9 | 10% |
| Aprenden | 6 | 7% |
| Deficiencias | 3 | 3% |
| Habilidades | 3 | 3% |
| Necesidades | 5 | 5% |
| Causas | 2 | 2% |
| Conocimiento | 2 | 2% |
| Debilidades | 2 | 2% |
| Estrategias | 2 | 2% |
| Indagar | 2 | 2% |
| Personalizada | 2 | 2% |
| Problemas | 2 | 2% |
| Realidad | 2 | 2% |
| Ritmo | 2 | 2% |
| Total general | 91 | 100% |

Fuente. Elaboración propia.

estaban afectando esta área. Lo anterior es consistente con la literatura donde se menciona que el dominio de los contenidos de matemática y lectoescritura es fundamental por su carácter instrumental, pero existe un porcentaje considerable de estudiantes que terminan la escolaridad obligatoria sin alcanzar las competencias esperadas (Orrantia, 2006). Adicionalmente, en el caso específico de la lectoescritura, a pesar de que se ven involucrados una serie de procesos mentales complejos como la percepción, la memoria, la cognición, la metacognición, la capacidad inferencial y la conciencia (Montealegre & Forero, 2006), además el proceso está estrechamente vinculado a las situaciones sociales y contextuales del individuo (Simbaña-Haro et al., 2023).

Cuadro 7. Experiencias de los docentes con relación a la implementación y aplicación de estrategias.

| Informante | Frase | Habilidad identificada |
|---------------|--|--|
| Docente LE 3 | “Aprendí sobre la buena comunicación, trabajo en equipo, observar, analizar la labor docente y mejorar la calidad educativa”. | <ul style="list-style-type: none"> • Comunicación efectiva • Trabajo en equipo • Observación • Análisis |
| Docente LE 5 | “Aprendí a compartir y trabajar en equipo, buscar nuevas estrategias de aprendizaje, investigar y darle uso a la tecnología. Darle participación a la comunidad educativa, actualizar la planificación” | <ul style="list-style-type: none"> • Trabajo en Equipo • Búsqueda • Planificación |
| Docente LE 34 | “Aprendí a dar un tiempo para la lectura y escritura a los alumnos. A buscar nuevas estrategias que sean de beneficio y facilidad de aprender. Fortalecer e innovar cada día los conocimientos de los alumnos. La aplicación de las estrategias debe hacerse constantemente. Tener siempre en cuenta de llevar un control para aplicar en los alumnos las estrategias adecuadas para que puedan aprender significativamente” | <ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda • Aplicación • Evaluación • Sistematización • Reflexión |
| Docente LE 41 | “Aprendí a sistematizar la experiencia de Investigación- acción a través de la estrategia integradora y que de la investigación- acción se obtienen experiencias agradables y los alumnos están motivados” | <ul style="list-style-type: none"> • Sistematización • Integración • Reflexión |
| Docente M 11 | “Con la aplicación de estas evaluaciones yo descubrí cuáles son las deficiencias de mis estudiantes. Para mejorar las deficiencias descubiertas tuve que elaborar ciertos materiales que sin duda es una gran ayuda para el aprendizaje” | <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación • Aplicación • Sistematización • Reflexión |
| Docente M 13 | “Conocer que cada estudiante aprende de manera diferente, que cada año es de indagar las deficiencias-debilidades para accionar a tiempo y hacer que cada estudiante transforme su aprendizaje para su futuro. Aplicar la estrategia fue sumamente satisfactorio.” | <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación • Aplicación • Reflexión |
| Docente M 24 | “Investigar las necesidades del estudiante. Evaluar a los estudiantes constantemente. Aplicar estrategias ayuda a fortalecer el aprendizaje de los estudiantes. Realización de un diario de campo.” | <ul style="list-style-type: none"> • Investigación • Aplicación • Evaluación |

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 8. Principales aprendizajes reportados por los docentes al culminar el programa de formación.

| Informante | Frase |
|--------------|--|
| Docente LE 3 | “El Programa de Docentes Investigadores, ofreció la oportunidad de mejorar la calidad educativa, aplicar estrategias adecuadas a las necesidades de los educandos, como también fortalecer las relaciones con la comunidad educativa (...) Los programas y capacitaciones a los profesores son necesarios porque benefician la calidad educativa, como también las relaciones con la comunidad educativa, mejora la manera de planificar y programar las clases” |
| Docente LE 7 | “El programa de docentes investigadores logró crear conciencia en los docentes de la importancia en la aplicación de la investigación científica de diferentes técnicas para mejorar la Lectoescritura” |
| Docente LE 9 | “Se lograron las acciones pertinentes para mejorar el aprendizaje de los estudiantes. La metodología de investigación acción minimiza los problemas de lectoescritura. Las estrategias implementadas en la lectoescritura benefician a los estudiantes” |
| Docente M 3 | “El proceso me sirvió de mucho ya que en este aprendí a evaluar detenidamente la capacidad y dificultad de los niños. Además, busqué estrategias muy buenas para el proceso de aprendizaje del niño. Busqué material de mucha utilidad para poder trabajarlo” |
| Docente M 8 | “Para mí fue muy importante poder investigar porque aprendí varias cosas, obtuve experiencias vividas y compartidas con los niños, aprendí de ellos y ellos aprendieron de mí. La recomendación es que esto se podría trabajar a inicio de años para darle un mejor desarrollo” |
| Docente M 31 | “La metodología que utilizamos en nuestras aulas tiene mucho que ver con el rendimiento académico de los alumnos, pues al presentar diversas estrategias que incluyan las distintas formas de aprender de los alumnos los resultados son bastante positivos, con este programa de docentes investigadores nos vimos en la necesidad de innovar, que es algo muy positivo, puesto que nunca dejamos de aprender” |

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 9. Problemáticas identificadas por los docentes que se enfocaron en el área de lectoescritura.

| Palabras | N | % |
|--|------------|-------------|
| Fluidez deficiente | 16 | 15% |
| Comprensión deficiente | 12 | 11% |
| Falta de apoyo en casa | 12 | 11% |
| Didáctica/metodología deficiente | 10 | 9% |
| Otros factores | 10 | 9% |
| Vocabulario deficiente | 8 | 7% |
| Deficiencia en escritura | 6 | 5% |
| Conciencia fonológica deficiente | 7 | 6% |
| Dificultades generalizadas | 7 | 6% |
| Ausentismo | 4 | 4% |
| Falta de material/insumos | 4 | 4% |
| Otras dificultades | 4 | 4% |
| Efectos de la educación a distancia/ pandemia | 3 | 3% |
| Bilingüismo | 2 | 2% |
| Deficiencia en Lectura | 2 | 2% |
| Ortografía | 2 | 2% |
| Problemas de lenguaje | 1 | 1% |
| Total general | 110 | 100% |

Fuente. Elaboración propia.

Resultados observados en los estudiantes

Posterior a implementar nuevas estrategias didácticas para responder a las problemáticas identificadas, los docentes reportaron haber observado cambios en el desarrollo de competencias de lectoescritura y matemática en la mayoría de los estudiantes (ver Cuadro 11). Estos cambios se reflejaron en el interés y motivación de los estudiantes al aprender, así como reportes de los docentes que notaron avances o mejoras en el manejo de la destreza trabajada, en la mayoría del grupo de sus estudiantes. De igual modo, los docentes identificaron a los estudiantes con dificultades en el desarrollo de dichas competencias para darles seguimiento. Lo anterior se alinea con las ideas presentadas por Benítez Galindo (2016) que hicieron alusión a este hecho y resaltaron que:

Cuadro 10. Problemáticas identificadas por los docentes que se enfocaron en el área de matemática.

| Palabras | N | % |
|--|-----------|-------------|
| Dificultad en operaciones básicas | 26 | 37% |
| Dificultad en valor posicional | 12 | 17% |
| Dificultad en lectura y escritura de números | 11 | 15% |
| Dificultad en reconocimiento de números | 7 | 10% |
| Dificultad en conteo | 5 | 7% |
| Dificultad en valor posicional | 4 | 6% |
| Dificultad en resolución de problemas | 3 | 4% |
| Dificultad en sucesión numérica | 2 | 3% |
| Dificultad con fracciones | 1 | 1% |
| Total general | 71 | 100% |

Fuente. Elaboración propia.

“el profesor con intención y espíritu de mejorar su práctica será un riguroso investigador de sí mismo, y se pondrá en acción de manera planeada y con sustento en su propia investigación; además, desarrollará un proyecto que conlleve estrategias, actividades y acciones que transforman significativamente su quehacer diario en atención a los procesos educativos de los alumnos” (p. 45).

A través de esta experiencia de investigación acción se valoró el proceso metacognitivo y reflexivo de los docentes participantes con relación a sus propias prácticas educativas. Al respecto, Castellanos Galindo y Yaya Escobar (2013) adujeron al hecho que “explicar y problematizar la enseñanza, en un ejercicio reflexivo, es una herramienta para ampliar la mirada sobre las propias acciones y conceptualizar lo que se hace” (p. 5).

En esa misma línea argumentativa, Fourés (2011) destacó que “el uso de procesos metacognitivos ayudaría a los docentes a generar y establecer estas relaciones al lograr revisar y reconocer sus propias estrategias de conocimiento y planificación utilizadas en su práctica cotidiana” (p. 156). En ese sentido, es importante mencionar que este programa de formación proporcionó a los docentes la oportunidad de evaluar y comprender el impacto de sus métodos de enseñanza en el aprendizaje de los estudiantes. Les permitió identificar estrategias efectivas, así como cuestionar y analizar sus propias acciones, pudiendo identificar áreas de mejora.

Cuadro 11. Cambios reportados por los docentes luego de implementar las estrategias didácticas producto del proceso de investigación acción.

| Informante | Frase |
|---------------|---|
| Docente LE 2 | “Los resultados obtenidos reflejan qué los niños mejoraron en lectoescritura y les es interesante. Es por ello que las estrategias aplicadas funcionaron para 8 de los niños ya que 4 de niños están en proceso de mejorar. Los cambios que se observaron en el grupo de estudiantes son los siguientes, pueden escribir palabras y oraciones y leer con más fluidez” |
| Docente LE 3 | “Los resultados obtenidos reflejan el cambio en el desarrollo en las habilidades de vocabulario, comprensión y redacción, de los alumnos de Primer grado, Sección A. Por ello considero que la estrategia funcionó, ya que con base a la evidencia pude notar que de los 24 alumnos que participaron, 17 alumnos requerían atención y que con la estrategia aplicada se logró motivar y notar los cambios en 17 alumnos” |
| Docente LE 34 | “Los resultados obtenidos reflejan el cambio de lectura y escritura en los alumnos por ello considero que la estrategia funcionó, ya que con base a la evidencia pude notar que 28 alumnos obtuvieron el cambio y 7 estudiantes comenzaron a leer y escribir (...)” |
| Docente LE 41 | “Con la constancia se logra formar el hábito. Se puede apreciar una diferencia significativa en los resultados obtenidos en los ejercicios previos y posteriores. Se pudo verificar mejora en la velocidad de lectura, desarrollo de fluidez, así como mejoras en las demás áreas de escritura de oración, frase, ejercicios de copia y dictado. Hubo un buen desarrollo en todas las áreas de aprendizaje en el área de Comunicación y Lenguaje 1 que pide el Currículo Nacional Base” |
| Docente M 4 | “Dentro de los resultados se logró que las estrategias aplicadas fueran un éxito, porque los niños se interesaron en seguir aprendiendo y el problema detectado fue resuelto. En los conocimientos posteriores los niños evidenciaron lo aprendido a través de sus respuestas” |
| Docente M 12 | “Después de evaluar a los niños se obtienen los datos que nos llevan a conocer que la estrategia utilizada fue la herramienta mejor establecida para alcanzar el nivel satisfactorio en el aprendizaje de resolución de sumas” |
| Docente M 31 | “Los resultados fueron bastantes positivos, lo cual se evidencia en el resultado de los conocimientos posteriores. Se vio un avance considerable a través de las actividades lúdicas y el uso de material concreto” |
| Docente M 37 | “Después de haber aplicado los ejercicios que prueban los resultados, se comprobó que de 17 estudiantes evaluados 16 de ellos presentaron dominio del tema planteado anteriormente” |

Fuente. Elaboración propia.

Los docentes reconocieron la importancia de ajustar su práctica para satisfacer las necesidades cambiantes de los estudiantes lo cual es esencial para mejorar la calidad educativa, impulsar el desarrollo profesional y garantizar una adaptación efectiva a las demandas de sus propios contextos educativos. Además, los docentes que participaron en el programa de formación destacaron tres aspectos principales: la importancia de la formación docente continua, la importancia del desarrollo de competencias didácticas y la

importancia del desarrollo de competencias en investigación basado en dar respuesta a las necesidades identificadas de sus estudiantes.

Reconocemos que este análisis parte de una percepción de los docentes y su forma de ver los resultados o cambios respecto del uso de estrategias para abordar una brecha identificada. No se tuvieron datos que nos permitirían verificar el cambio o resultados que mencionaron. Se limita que la

aplicación del proceso de reflexión y uso de estrategias para abordar las problemáticas educativas en el aula, se dieron mientras los docentes participaron en el programa y no se informará sobre la adopción del cambio a su práctica docente regular.

Discusion

La inmersión en el proceso de investigación acción propició espacios para que los docentes mostraran una mayor conciencia de las dificultades específicas de sus estudiantes en las áreas de lectoescritura y matemática, y desarrollaron habilidades para planificar e implementar estrategias didácticas adaptadas a las necesidades específicas de estos. Del mismo modo, reconocieron la importancia del monitoreo y la evaluación como ejes centrales para el seguimiento efectivo del desarrollo de competencias en estas áreas curriculares.

Se destaca el papel fundamental que desempeña la investigación acción como catalizador para la mejora continua en el aula. Los docentes abordaron las problemáticas identificadas, e integraron los procesos de planificación, reflexión y acción en sus prácticas docentes. En ese sentido, se propició un ambiente de aprendizaje dinámico y adaptativo, donde los docentes están constantemente evaluando y ajustando sus métodos didácticos en función de la retroalimentación y los resultados observados. Además, se evidencia un aumento en la confianza y autoeficacia de los docentes participantes. Esta autoconfianza se refleja en la implementación de estrategias derivadas de la investigación y en la disposición de los docentes a compartir sus experiencias y aprendizajes con sus pares, fomentando así una cultura colaborativa en sus comunidades educativas.

Los resultados de este estudio sugieren que el desarrollo de habilidades en investigación, mediante un programa de formación centrado en la investigación acción, puede ser un catalizador efectivo para la reflexión de la labor docente, influyendo en la identificación de brechas de aprendizaje y abordando estas con estrategias seleccionadas. Este enfoque no solo puede ser efectivo para abordar problemas en lectoescritura y matemática, sino que también promueve una cultura de mejora continua, autonomía y colaboración entre los docentes. Además, estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el diseño de programas de formación docente que buscan impactar positivamente la calidad de la entrega educativa, especialmente en contextos complejos como los de Guatemala.

Informados por esta experiencia, sugerimos dos posibles caminos para la extensión e institucionalización de prácticas de investigación-acción para docentes en Guatemala. La primera es a través del sistema de supervisión y apoyo a los docentes en servicio, por ejemplo, agregando un módulo adicional en las capacitaciones regulares que se realizan con

los docentes. El segundo es su institucionalización dentro de las universidades como parte de sus clases de formación inicial de docentes. En ambos casos, fortaleciendo prácticas de investigación-acción iniciando con algo sencillo, como revisar los resultados de pruebas formativas y reflexionar qué destrezas podrían ser enfatizadas por el docente en su próxima lección. Como observamos con el presente estudio, valorizando los procesos reflexivos y motivando la curiosidad es un camino viable para que los docentes se sientan empoderados para mejorar su propia práctica educativa.

Declaración de disponibilidad de datos

Los datos que respaldan el estudio actual están disponibles a través de los autores previa solicitud razonable.

Bibliografía

- Ambrosy Velarde, I. L., Cruz Grunebaum, A. A., Maldonado Bode, S. V., & Gálvez-Sobral, J. A. (2024). El papel de los Fondos de Conocimiento en la Educación. Enfoque educativo que promueve la paz. *Revista Latinoamericana De Estudios Educativos*, 54(2), 41-62.
<https://rlee.ibero.mx/index.php/rlee/article/view/625/1867>
<https://doi.org/10.48102/rlee.2024.54.2.625>
- Aranguren Peraza, G. (2007). La investigación-acción sistematizadora como estrategia de intervención y formación del docente en su rol de investigador. *Revista de Pedagogía*, 28(82), 173-195.
<https://www.redalyc.org/pdf/659/65908202.pdf>
- Arias Ortiz, E., Soledad Bos, M., Giambruno, C., & Zoido, P. (2023, 5 de diciembre). PISA 2022: ¿Cómo le fue a América Latina y el Caribe? *Enfoque de Educación*, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
<https://blogs.iadb.org/educacion/es/pruebas-pisa-2022-america-latina-caribe/> <https://doi.org/10.18235/0005318>
- Banco Mundial. (2021) *Actuemos ya para proteger el capital humano de nuestros niños: Los costos y la respuesta ante el impacto de la pandemia de COVID-19 en el sector educativo de América Latina y el Caribe*.
<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/01e12f4e-e6a2-50fd-b929-02d5e4307c6f>
- Benítez Galindo, L. (2016). Evaluación e intervención pedagógica en la formación de docentes: Una acción reflexiva en el aula de clases. *Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, 7(12), 42-51.
https://www.rediech.org/ojs/2017/index.php/ie_rie_rediech/article/view/81/75 https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.7712.81
- Bergmark, U. (2022). The role of action research in teachers' efforts to develop research-based education in Sweden: Intentions, outcomes, and prerequisite conditions [El papel de la investigación-acción en los esfuerzos de los docentes para desarrollar una educación basada en la investigación en Suecia: Intenciones, resultados y condiciones previas]. *Educational Action Research*, 30(3), 427-444. <https://doi.org/10.1080/09650792.2020.1847155>
- Campbell, S., Greenwood, M., Prior, S., Shearer, T., Walkem, K., Young, S., Bywaters, D., & Walker, K. (2020). Purposive sampling: Complex or simple? Research case examples [Muestreo intencional: ¿complejo o simple? Ejemplos de casos de investigación]. *Journal of Research in Nursing*, 25(8), 652-661.
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1744987120927206>
<https://doi.org/10.1177/1744987120927206>
- Castellanos Galindo, S. H., & Yaya Escobar, R. E. (2013). La reflexión docente y la construcción de conocimiento: Una experiencia desde la práctica. *Sinéctica*, 41, 1-18. <https://www.scielo.org.mx/pdf/sine/n41/n41a6.pdf>
- Catalán Cueto, J. P. (2020). La investigación acción como estrategia de revisión de la práctica pedagógica en la formación inicial de profesores de educación básica. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, 15(4), 2768-2776.
<https://www.redalyc.org/journal/6198/619867501018/619867501018.pdf>

- Clark, J. S., Porath, S., Thiele, J., & Jobe, M. (2020). *Action research*. NPP eBooks, 34. <https://newprairiepress.org/ebooks/34>
- Cochran-Smith, M., & Lytle, S. L. (2009). *Inquiry as stance: Practitioner research for the next generation* [La investigación como postura: Investigaciones por practicantes para la próxima generación]. Teachers College Press.
- Crawford, R. (2022). Action research as evidence-based practice: Enhancing explicit teaching and learning through critical reflection and collegial peer observation. *The Australian Journal of Teacher Education*, 47(12), 53-75. <https://ro.ecu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=6065&context=ajte> <https://doi.org/10.14221/1835-517X.6065>
- Day, C. (2005). *Formar docentes: Cómo, cuándo y en qué condiciones aprende el profesorado* (P. Manzano Bernárdez, traductor). Narcea.
- Dirección General de Evaluación e Investigación Educativa (DIGEDUCA) del Ministerio de Educación de Guatemala (MINEDUC). (2021). *Memoria de labores 2021*. https://edu.mineduc.gob.gt/digeduca/documents/memoriaLabores/Memoria_Labores_2021.pdf
- Edwards, E. (2016). The impact of action research on teachers' continuous professional development [El impacto de la investigación-acción en el desarrollo profesional continuo de los docentes]. *ELT Research*, 31(February), 3-6. https://resig.weebly.com/uploads/2/6/3/6/26368747/edwards_2016.pdf
- El Instituto de Estadística de la UNESCO (UIS) (2013) *Clasificación Internacional Normalizada de la Educación CINE 2011*. <https://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/international-standard-classification-of-education-isced-2011-sp.pdf>
- Fourés, C. I. (2011). Reflexión docente y metacognición: Una mirada sobre la formación de formadores. *Zona Próxima*, 14 (2011), 150-159. <https://www.redalyc.org/pdf/853/85320028010.pdf>
- Fullan, M. (2010). *All systems go: The change imperative for whole system reform* [Todos los sistemas en marcha: El imperativo del cambio para una reforma integral del sistema]. Sage. <https://doi.org/10.4135/9781452219554>
- Greenwood, D. J., & Levin, M. (2007). *Introduction to action research*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781412984614>
- Hawley, W. D., & Valli, L. (1999). The essentials of effective professional development: A new consensus. [Los elementos esenciales para un desarrollo profesional eficaz: Un nuevo consenso] In L. Darling-Hammond & G. Sykes (Eds.), *Teaching as the learning profession: Handbook of policy and practice* (pp. 127-150). Jossey-Bass.
- Manfra, M. M. (2019). Action research and systematic, intentional change in teaching practice [Investigación-acción y cambio sistemático e intencional en la práctica docente]. *Review of Research in Education*, 43(1), 163-196. <https://doi.org/10.3102/0091732X18821132>
- Mann, J. (2020, 30 de abril). *How did the pandemic change the education system? ¿Cómo cambió la pandemia el sistema educativo?* Cambridge Partnership for Education. <https://www.cambridge.org/partnership/research/How-did-the-pandemic-change-the-education-system>
- Mertler, C. A. (2021). Action research as teacher inquiry: A viable strategy for resolving problems of practice [La investigación-acción como consulta docente: Una estrategia viable para resolver problemas de la práctica]. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 26, 19. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1314304.pdf>
- Messikh, D. (2020). A systematic review of the outcomes of using action research in education [Una revisión sistemática de los resultados del uso de la investigación-acción en la educación]. *Arab World English Journal*, 11(1), 482-488. <https://doi.org/10.24093/awej/vol11no1.32>
- Mills, G. (2017). *Action research: A guide for the teacher researcher* [Investigación-acción: Una guía para el docente investigador] (6th ed.). Pearson Education.
- Montealegre, R., & Forero, L. A. (2006). Desarrollo de la lectoescritura: Adquisición y dominio. *Acta Colombiana de Psicología*, 9(1), 25-40. <https://www.redalyc.org/pdf/798/79890103.pdf>
- Morán Oviedo, P. (2004). La docencia como recreación y construcción del conocimiento: Sentido pedagógico de la investigación en el aula. *Perfiles Educativos*, 26(105-106), 41-72. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s0185-26982004000100003&script=sci_arttext
- Moscoso-Ramírez, M. J., & Carpio Cordero, L. E. (2022). Estudio de las competencias investigativas del docente investigador de la Universidad del Azuay. *UDA AKADEM*, 1(9), 178-209. <https://revistas.uazuay.edu.ec/flip/udaakadem/09/uazuay-udaakadem-09-06.pdf> <https://doi.org/10.33324/udaakadem.v1i9.482>
- Muñoz Giraldo, J. F., Quintero Corzo, J., & Munévar Molina, R. A. (2001). *Competencias investigativas para profesionales que forman y enseñan*. Editorial Magisterio.
- Muñoz Martínez, M., & Garay Garay, F. (2015). La investigación como forma de desarrollo profesional docente: Retos y perspectivas. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, 41(2), 389-399. <https://www.scielo.cl/pdf/estped/v41n2/art23.pdf> <https://doi.org/10.4067/S0718-07052015000200023>
- Núñez-Rojas, N., Orrego-Zapo, J., Noriega, C. A., & Alejandría, Y. (2021). Formación de competencias docentes desde la investigación acción. *Formación Universitaria*, 14(4), 133-142. <https://www.scielo.cl/pdf/formuniv/v14n4/0718-5006-formuniv-14-04-133.pdf> <https://doi.org/10.4067/S0718-50062021000400133>
- O'Connor, K. A., Greene, H. C., & Anderson, P. J. (2006). Action research: A tool for improving teacher quality and classroom practice [Investigación-acción: Una herramienta para mejorar la calidad docente y la práctica en el aula]. *Ontario Action Researcher*, 9(1), article 1. https://eric.ed.gov/?q=o%27connor&ff1=disince_2003&pg=54&id=EJ814908
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2004). *Guía metodológica de sistematización*. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) en Centroamérica. <https://www.fao.org/3/at773s/at773s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2020). *La educación en un mundo tras la COVID: Nueve ideas para la acción pública*. Comisión Internacional sobre los Futuros de la Educación. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373717_spa
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education* [Reimaginar nuestro futuro juntos: Un nuevo contrato social para la educación]. <https://doi.org/10.54675/ASRB4722>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2022). *Reporte nacional de resultados de escritura ERCE 2019*. https://edu.mineduc.gob.gt/digeduca/documents/erce/2023/ReporteERC_E19_Guate_Escritura.pdf
- Orrantia, J. (2006). Dificultades en el aprendizaje de las matemáticas: Una perspectiva evolutiva. *Revista Psicopedagogía*, 23(71), 158-180. <https://cdn.publisher.gn1.link/revistapsicopedagogia.com.br/pdf/v23n71a10.pdf>
- Palacios Mosquera, J. A., & Palacios Scarpeta, N. L. (2023). Impacto de la pandemia en la calidad del sistema educativo colombiano. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 7(5), 5816-5840. https://doi.org/10.37811/d_rcm.v7i5.8178
- Palencia Salas, V. (2020). La investigación en la práctica educativa de los docentes. *Educación y Ciudad*, 38(38), 107-117. <https://doi.org/10.36737/01230425.n38.2020.2321>
- Paredes-Chi, A. A., & Castillo-Burguete, M. T. (2021). Research development policy and its practice in Mexican teacher training schools [La política del desarrollo de la investigación y su práctica en las escuelas normales mexicanas]. *Journal of Teacher Education and Educators*, 10, 75-97. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1310774.pdf>
- Pérez Gómez, A. I. (2013). ¿Qué docente? ¿Para qué escuela? La formación del pensamiento práctico. *Ponencias del Seminario Internacional, Santiago, Chile* (pp. 12-33). Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI). <https://oei.int/downloads/blobs/eyJmcmFpbHMiOnsibWVzc2FnZSI6IkBaHBBaTBJiwiZXhwIjpudWxsLCJwdXkiOiJibG9iX2IkdW9132b5349281e8be061a122fe278686ed230ea/Formaci%C3%B3n%20Continua%20y%20Desarrollo%20Profesional%20Docente.pdf>
- Phillips, D. K., & Carr, K. (2013). *Becoming a teacher through action research: Process, context, and self-study* [Convertirse en docente a través de la investigación-acción: Proceso, contexto y autoestudio]. (3rd ed.). Routledge.

- Pine, G. J. (2008). *Teacher action research: Building knowledge democracies* [Investigación Acción Docente: Construyendo democracias del conocimiento]. SAGE Publications, Inc.
- Putnam, R. T., & Borko, H. (2000). What do new views of knowledge and thinking have to say about research on teacher learning? [¿Qué dicen las nuevas visiones del conocimiento y del pensamiento sobre la investigación sobre el aprendizaje docente?]. *Educational Researcher*, 29(1), 4-15. <https://doi.org/10.3102/0013189X029001004>
- Riel, M., & Lepory, K. (2014) Analysis of reflections of action researchers [Análisis de las reflexiones de la investigación acción]. *Educational Research for Social Change (ERSC)*, 3(1), 52-74. http://ersc.nmmu.ac.za/articles/Vol_3_no_1_Riel_pp_52-74_April_2014.pdf
- Rincón González, S., & Mujica Chirinos, N. (2022). Las competencias investigativas en docentes de las universidades particulares de Panamá. *Revista Oratores*, 1(16), 25-47. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/328/3283333002/3283333002.pdf> <https://doi.org/10.37594/oratores.n16.687>
- Rubio Hernández, F. J., & Olivo-Franco, J. L. (2020). Dificultades del profesorado en sus funciones docentes y posibles soluciones: Un estudio descriptivo actualizado. *Ciência & Educação (Bauru)*, 4(2), 7-25.
- Sanahuja, A., Moliner, L., & Benet, A. (2020). Análisis de prácticas inclusivas de aula desde la investigación-acción participativa: Reflexiones de una comunidad educativa. *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social*, 9(1), 125-143. <https://revistas.uam.es/riejs/article/view/riejs2020.9.1.006> <https://doi.org/10.15366/riejs2020.9.1.006>
- Sanchez Mediola, M., Torres Carrasco, R., & Martínez Cuevas, G. (2023). ¿Qué es la formación docente y cuál es su importancia para las universidades? En M. Melchor Sánchez, A. M. de P. Martínez Hernández, & R. Torres Carrasco (Eds.), *Formación docente en las universidades* (pp. 19-32). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). <https://cuaieed.unam.mx/publicaciones/libro-formacion-docente-universidades/pdf/eBook-PDF-Formacion-Docente-en-las-Universidades.pdf>
- Simbaña-Haro, M. P., Piyahuaje-Siquihua, L. E., González-Romero, M. G., & Mena-Riera, S. A. (2023). Funciones básicas: Elementos claves para la lectoescritura. *593 Digital Publisher CEIT*, 8(3), 652-663. <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.3.1720>
- Ureta, F.; Espinoza, E. & Mó, R. (2019). *Evaluación del desempeño docente: mitos y realidades*. Guatemala: Dirección General de Evaluación e Investigación Educativa, Ministerio de Educación. <https://edu.mineduc.gob.gt/digeduca/documents/investigaciones/2019/Evaluacion-del-desempeno-docente.pdf>
- Vives Varela, T., & Hamui Sutton, L. (2021). La codificación y categorización en la teoría fundamentada: Un método para el análisis de los datos cualitativos. *Investigación en Educación Médica*, 10(40), 97-104. <https://www.scielo.org.mx/pdf/iem/v10n40/2007-5057-iem-10-40-97.pdf> <https://doi.org/10.22201/im.20075057e.2021.40.21367>
- Zetina Pérez, C. D., Magaña Medina, D. E., & Avendaño Rodríguez, K. C. (2017). Enseñanza de las competencias de investigación: Un reto en la gestión educativa. *Revista Atenas*, 1(37), 1-8. <https://www.redalyc.org/journal/4780/478055147001/478055147001.pdf>

RESEÑA DE LIBRO

DERECHO Y BIOÉTICA, Cuestiones jurídicas y éticas de la biomedicina y la biotecnología

Itziar de Lecuona (Coord.), Eleonora Lamm, Fabiola Leyton, María José Plana

Derecho y ciencia política

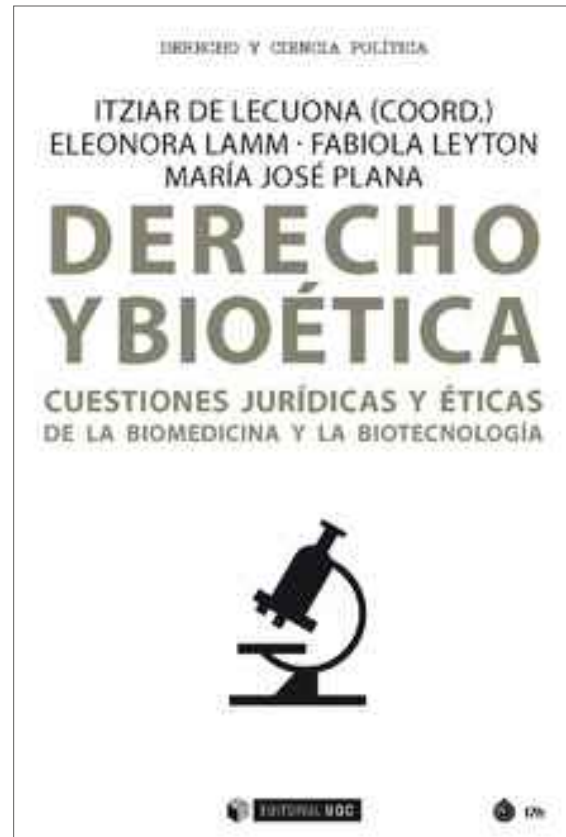
Editorial UOC

ISBN 978-84-9180-579-3

Número de catalogación biblioteca UVG: 92367 KKT 3115.D48 2019

Reseña elaborada por:

Ingrid Vanessa Granados Barnéond - Catedrática del curso de bioética y legislación, Facultad de Ciencias y Humanidades de la Universidad del Valle de Guatemala



La obra aborda la relación entre el derecho y la bioética, un campo en constante evolución debido a los avances científicos y tecnológicos de la biomedicina y la biotecnología, dos áreas que han revolucionado el ámbito de la salud en los últimos años. Este libro analiza cómo los marcos jurídicos deben responder a los dilemas que surgen con las nuevas tecnologías y como deberían adaptarse y evolucionar conjuntamente a una velocidad más rápida.

Esta propuesta toca temas que van desde la investigación biomédica, la reproducción asistida, el uso de células madre y la clonación examinando las consideraciones éticas y las normativas de respuesta en torno a estos temas en un mundo cada día más globalizado, invitando así al lector a reflexionar sobre como los desafíos de la técnica imponen una revisión de los marcos legales en todo el mundo.

La autora muestra cómo el progreso biotecnológico puede generar incertidumbre jurídica y social, dado que las leyes y normativas suelen avanzar más lentamente que los avances de la ciencia. Este hecho hace más importante actuar para que el derecho responda de una forma más pronta y eficaz a los dilemas bioéticos que surgen con las tecnologías modernas.

El libro aborda cuestiones sobre la investigación biomédica y la protección de la privacidad con relación a la información genética de cada persona. La autora argumenta que, a pesar de la existencia de convenios internacionales, como la Declaración de Helsinki o el Convenio de Oviedo, todavía existen desafíos éticos y legales no resueltos. Además, pone en la mesa la lista de dificultades que enfrentan los legisladores al tratar de regular tecnologías de ingeniería genética que plantean interrogantes sobre la identidad humana, el mejoramiento genético y las posibles consecuencias a largo plazo de la manipulación del ADN.

La obra enfatiza como la legislación y la ética debe considerarse en la nueva era de avances de la biotecnología reproductiva, donde muchas de las prácticas están reguladas solamente en algunos países. El libro expone los dilemas éticos relacionados con el acceso a las tecnologías reproductivas, la comercialización del cuerpo humano, la equidad en el tratamiento de los pacientes y las consideraciones éticas y legales que se hacen necesarias en un mundo donde la adopción, el matrimonio igualitario y la subrogación entran con fuerza al escenario con los avances biotecnológicos.

El principal aporte de este libro es la conexión de normas legales con los principios bioéticos fundamentales de ***no maleficencia, beneficencia, autonomía y justicia***; haciendo reflexión de cómo las regulaciones deben adaptarse para responder a la protección de humanos, animales y medio ambiente.

El libro se divide en 6 capítulos:

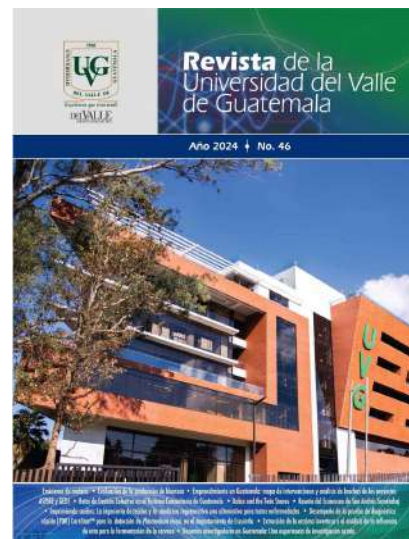
- **Capítulo I: Bioética (o bioéticas) y derecho.** En este capítulo se tocan temas de contexto, definiciones, así como la presentación de textos, declaraciones y convenios de la bioética en los últimos 70 años.
- **Capítulo II: Comités de ética y bioética.** Este capítulo describe la información necesaria para conocer sobre cómo deben ser constituidos y cuál es el ámbito de acción de los comités de ética y de bioética en la investigación.
- **Capítulo III: Bioética y ética médica.** Este capítulo toca temas importantes sobre los derechos de la intimidad y la confidencialidad de los datos personales de salud de las personas, la analítica de datos masivos aplicada al ámbito sanitario, las decisiones de voluntad anticipada, trasplante y donación de órganos, entre otros.
- **Capítulo IV: Bioética e investigación en seres humanos y animales.** En este capítulo se hace referencia a las normativas y regulación de los ensayos clínicos en humanos y las consideraciones legales y éticas necesarias para el cuidado y la utilización de animales en la investigación.
- **Capítulo V: Técnicas de reproducción asistida.** En este capítulo se presentan temas sobre la filiación y la legislación de la asistencia a la reproducción humana, la gestación por sustitución, la personalidad jurídica del embrión y los marcos regulatorios más relevantes.

- **Capítulo VI: Bioética y sistemas alimentarios.** En este capítulo se reflexiona sobre la soberanía alimentaria frente a la globalización y la agricultura intensiva de los últimos siglos, así como la implicación legal y ética de los nuevos alimentos producidos a partir de la biotecnología.

El libro DERECHO Y BIOÉTICA: cuestiones jurídicas y éticas de la biomedicina y la biotecnología de Itziar de Lecuona, es una obra para quienes buscan profundizar o comprender los retos que plantean los adelantos biotecnológicos en cuanto a su regulación y su uso. Esta propuesta es de valor académico y educativo con utilidad también para legisladores, bioeticistas y profesionales del ámbito biomédico que deseen profundizar en la relación entre derecho y biotecnología.

La ética debe ser multidisciplinaria y debe ir de la mano con la legislación, la cual debería ir avanzando con la técnica. Lo anterior debido a que uno de los puntos centrales del estudio filosófico / ético es *evaluar si todo lo técnicamente posible es éticamente aceptable*. El libro supone para el lector una reflexión sobre cómo las normativas pueden adaptarse para proteger los derechos de los humanos, a las poblaciones animales y al medio ambiente en un contexto de constante innovación - Lo que recuerda al enfoque de "Una Salud" o "One Health".

Revista de la Universidad del Valle de Guatemala



Información general

El objetivo de la Revista de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) es el de divulgar los hallazgos de estudios realizados dentro de la actividad académica, entre los que se encuentran opiniones, resultados de investigación, ensayos y revisiones sobre temas específicos.

Los artículos se aceptarán en el entendido que no han sido publicados con antelación.

1. La revista considera para publicación:

- 1.1 Artículos con los resultados de proyectos de investigación que se hayan llevado a cabo, en la Universidad del Valle de Guatemala, o en asociación con ésta.
- 1.2 Artículos invitados solicitados directamente al autor por el Editor o el Comité Editorial, uno por número de Revista editada.
- 1.3 Artículos de síntesis y opinión que unifiquen e interpreten el avance del conocimiento en un tema, uno por número de Revista editada.
- 1.4 Ensayos y trabajos de crítica y creaciones literarias.
- 1.5 Resúmenes y acotaciones sobre conferencias, seminarios, talleres, foros y coloquios desarrollados en la Universidad del Valle de Guatemala.
- 1.6 Comentarios sobre libros recibidos en Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala.

En los *números especiales* patrocinados por un proyecto podrán publicarse los artículos en el idioma inglés.

Procedimiento editorial

El Editor convocará a la familia universitaria a elaborar un resumen del artículo propuesto cuyo contenido deberá incluir:

- A. Título
- B. Autor principal y coautores
- C. Nombre del centro/laboratorio/departamento/facultad y/o instituto
- D. Objetivos del trabajo (3 líneas máximo), y
- E. Relevancia e impacto del estudio (5 líneas máximo).

El Consejo Editorial evaluará los resúmenes recibidos de acuerdo a contenido y relevancia.

El Editor informará a los autores de la aprobación del resumen e indicará fecha límite para entregar artículo completo.

El Editor enviará los artículos a revisión. Se comunicará a los autores de la decisión de los revisores. Se informará de fecha límite para recibir manuscritos corregidos.

Artículo de investigación

El cuadro siguiente contiene las características de los elementos que conforman un artículo.

| | |
|--------------------------------|---|
| Secciones | Título (español e inglés) Autores Resumen (español e inglés) Palabras clave (español e inglés) Introducción Materiales y métodos Resultados y discusión Conclusiones Agradecimiento Bibliografía |
| Cantidad de páginas | <20, Times New Roman 11, espaciamiento entre líneas de 1.5 emplear Word (incluye cuadros, gráficas y bibliografía) |
| Cuadros | Usar accesorio de Word |
| Gráficas | Alta resolución, incluyen fotografías y diagramas |
| Cantidad de cuadros y gráficas | Nueve en total en cualquier combinación |
| Bibliografía | <30, citadas en texto por obligación |
| División de texto | En secciones identificadas con subtítulos. No deben numerarse |

A continuación se encuentra la descripción de cada elemento en particular.

- **Título:** en dos líneas como máximo, debe, por un lado, enfocarse sobre el tema particular de la investigación, y por el otro, ser lo suficientemente original y conspicuo para captar la atención del lector potencial.
- **Resumen:** no debe ser mayor de 250 palabras a punto y seguido. No debe contener expresiones generales, ni abreviaturas y referencias. Debe estructurarse en tres partes. La primera, de tres o cuatro oraciones, se refiere a la introducción. Es decir, informa de los antecedentes, el tema principal, los particulares y la hipótesis. La segunda se refiere a los experimentos realizados y en dos o tres oraciones ofrecen una visión general de los mismos. La última está dedicada a los resultados obtenidos y su discusión. En ella deben resaltar 1-2 resultados principales basados en una sólida justificación basada en los resultados experimentales, su interpretación, su novedad relativa al desarrollo del conocimiento en el tema tratado, su impacto potencial e importancia para el país. La parte novedosa de los resultados debe expresarse en forma afirmativa... "En este trabajo demostramos que..." "Por primera vez encontramos una correlación significativa entre..." "El modelo matemático desarrollado mejora substancialmente la predicción de..."

(El párrafo anterior consta de 155 palabras)

- **Introducción:** de una longitud máxima de dos páginas, debe empezar exponiendo en forma clara y concisa el problema abordado. Luego, una descripción plenamente documentada de los antecedentes sobre la problemática actual y el estado del conocimiento del tema específico de investigación. Es imprescindible citar referencias de revistas de corriente principal

de los últimos años. Debe evitarse el empleo de citas de internet. Si fuese necesario, las mismas deben ser referidas con una nota a pie de página y no en la bibliografía al final del artículo. En el último párrafo de esta sección debe exponerse en forma sucinta el objetivo general del trabajo efectuado.

- **Materiales y métodos:** sección en la que debe detallarse la metodología experimental empleada, incluyendo los pormenores de los materiales, el equipo principal y los métodos analíticos, el diseño de experimentos, y las herramientas matemáticas de análisis de los datos. La redacción debe realizarse tomando en cuenta a un futuro lector que desee emplear dicha información, de manera que es necesario describir hasta el más mínimo detalle de los procedimientos.
- **Resultados y discusión:** describe empleando cuadros y gráficas, usadas con recato en la cantidad permitida, la información generada en los experimentos. No debe existir duplicidad, datos de un cuadro no deben ser usados para construir un diagrama. Sin embargo es válido ilustrar en una gráfica el resultado de la evaluación matemática de los datos contenidos en un cuadro. Los resultados deben de presentarse en secciones siguiendo una lógica de principio a fin. La significancia de los datos debe evaluarse en cada sección seguida de una discusión que conlleve a especulaciones, conjeturas y conclusiones.
- **Conclusiones:** circunscritas en los datos experimentales obtenidos y no en generalidades. Deben de listarse en orden de importancia.
- **Bibliografía:** contiene las referencias en orden alfabético citadas en el texto como más adelante se detalla.
- **Gráficas y cuadros:** deben numerarse correlativamente aparezcan en el texto empleando números cardinales. Por ejemplo, citadas en texto,... "la gráfica 3 presenta"...en el "cuadro 4 se incluyen"... (notar minúsculas para referirse en el texto a gráficas y cuadros). Puede substituirse tabla por cuadro, y figura por gráfica, sin embargo, no deben mezclarse. Las gráficas pueden subdividirse, empleando la nomenclatura siguiente, gráfica 1a, gráfica 1b, etc., pero cada una cuenta por separado en la estimación de la cantidad permitida. Las gráficas deben presentarse por aparte en formato .jpg con una resolución de 1200dpi preferiblemente (resolución mínima aceptada de 600dpi). Sin embargo, debe indicarse en el texto en donde se encuentran localizadas. Los cuadros deben insertarse en el artículo en el lugar cercano a su cita en el texto. Todas las gráficas y los cuadros deben de tener un enunciado, frase de dos líneas máximo. Si es necesario debe incluirse en el enunciado la identificación de símbolos y caracteres especiales usados. No se aceptan pie de notas en cuadros y gráficas. Si se necesitan deben incluirse en el enunciado. Ejemplos:

Gráfica 3. Perfil de la hidrólisis de la biomasa. Círculos identifican datos a 40 °C. Triángulos datos a 60 °C.

Cuadro 2. Peso promedio de 100 partículas, densidad aparente y cantidad de flotadoras. Nota: Las partículas de diferentes sitios fueron seleccionadas siguiendo criterios de forma y color según ASTM (1984).

Cita de bibliografía en el texto: ejemplos:

De acuerdo con Salazar y colaboradores (2004).

Resultados previos similares han sido informados en la literatura (Espino, 2004; Ortega y Lemus, 2007; Rossiter et al, 2012).

Estilo de las referencias en la bibliografía: ejemplos:

Bruins ME, Sanders JPM (2012) *Small-scale processing of biomass for biorefinery* Biofuels Bioprod Bioref 6: 135-145

Alker HR, Gurr TR, Kumar R (2001) *Journeys through Conflicts: Narratives and Lessons* Rowman & Littlefield Publishers

Lienev IE (1989) *Antinutritional Factors* En: RH Mathews (ed) *Legumes. Chemistry Technology and Human Nutrition* Marcel Dekker pp 339-382

Artículo de revisión

La presentación es de libre contexto de acuerdo a la especialidad. La exposición debe dividirse en secciones con subtítulos de acuerdo a la narrativa. Referencias <100. No existe limitación en la cantidad de cuadros y gráficas permitidas. La bibliografía citada en texto debe cumplir con los requisitos antes mencionados.

Ensayos y Artículos de Opinión

La presentación es de libre contexto de acuerdo a la especialidad. La exposición debe dividirse en secciones con subtítulos de acuerdo a la narrativa. Pueden emplearse citas a pie de nota o acumuladas al final del texto. Las gráficas, fotos, diagramas y reproducciones deben identificarse con números cardinales. La bibliografía citada en texto debe cumplir con los requisitos antes mencionados.

CAMPUS SUR
Universidad del Valle de Guatemala
www.campusur.uvg.edu.gt



km. 92.5 Finca Comanulul Carretera
a Mazatenango, Santa Lucía
Cotzumalguapa, Escuintla.
Teléfono: 7955-2800
www.campusur.uvg.edu.gt

ALTIPLANO
Universidad del Valle de Guatemala
www.altiplano.uvg.edu.gt



Km. 137 Cantón El Xolbé,
Aldea El Tablón, Solalá.
Teléfonos: 7931-0814
www.altiplano.uvg.edu.gt



Universidad del Valle de Guatemala

18 Avenida 11-95, Zona 15, Vista Hermosa III, Zona 15.
01015 Guatemala, Guatemala, C.A.

