

CLAVIUS

Revista académica de ciencia y tecnología

año 1 / número 1
enero-junio de 2023

Artículos

Orquídeas/
cultivo *in vitro*/
biotecnología

Biodegradación/
plástico/bioplástico

Vulnerabilidad social/
pobreza/privaciones

Discursos

VII Semana Científica URL



Universidad
Rafael Landívar
Identidad Jesuita en Guatemala



Universidad
Rafael Landívar
Identidad Jesuita en Guatemala

EDITORIAL
CARA
PARENS
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

CLAVIUS

Revista académica de ciencia y tecnología

año 1 / número 1, enero-junio de 2023

VRIP

VICERRECTORÍA DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

iarna

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS NATURALES Y TECNOLOGÍA

VRAC

VICERRECTORÍA
ACADÉMICA

Facultad de Ciencias
Ambientales y Agrícolas

CLAVIUS

505

C617 Clavius. Revista académica de ciencia y tecnología. / Director : Juan Pablo Castañeda; editores: Cecilia Cleaves... [y otros 6]. -- Guatemala : Universidad Rafael Landívar, Editorial Cara Parens, 2023.

ISBN de la versión digital, PDF: 978-9929-54-557-1
x, 60 páginas ; ilustraciones en color (Año 1 / número 1, enero-junio de 2023)
Semestral

1. Ciencias – Publicaciones electrónicas
2. Plantas – Aclimatación
3. Plásticos – Biodegradación
4. Vulnerabilidad social
 - i. Castañeda Juan Pablo, director
 - ii. Cleaves, Cecilia, editora
 - iii. Sandi, Daniela, editora
 - iv. Hernández, Edson, editor
 - v. Castañeda, Juan Pablo, editor
 - vi. Estrada, Lorena Ninel, editora
 - vii. Recinos, Rocael, editor
 - viii. Universidad Rafael Landívar. Vicerrectoría de Investigación y Proyección

Clavius

Revista académica de ciencia y tecnología
año 1 / número 1, enero-junio de 2023
periodicidad semestral

ISBN de la edición digital, PDF: 978-9929-54-557-1

Universidad Rafael Landívar

Vicerrectoría de Investigación y Proyección (VRIP)
Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna)
Departamento de Tecnología

Vicerrectoría Académica
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas

Se permite la reproducción total o parcial de esta obra, siempre que se cite la fuente.

D. R. ©
Editorial Cara Parens, Universidad Rafael Landívar
Campus San Francisco de Borja S. J., ciudad de Guatemala,
Vista Hermosa III, zona 16, Edificio G, oficina 103
Apartado postal 39-C, ciudad de Guatemala, Guatemala 01016
PBX: (502) 2426 2626, extensiones 3158 y 3124
Correo electrónico: caraparens@url.edu.gt
Sitio electrónico: www.url.edu.gt

Las opiniones expresadas en cada ensayo, artículo o documento son de exclusiva responsabilidad de los(as) autores(as) y no necesariamente son compartidas por la Universidad Rafael Landívar.

Revisión y edición del texto por la Editorial Cara Parens



Grupo de
Editoriales
Universitarias
AUSJAL

CUERPO EDITORIAL

Director de la revista

Juan Pablo Castañeda (director del Iarna)

Comité editorial

Cecilia Cleaves (Iarna/VRIP/URL)

Daniela Sandi (FCAA/URL)

Edson Hernández (Iarna/VRIP/URL)

Juan Pablo Castañeda (Iarna/VRIP/URL)

Lorena Ninel Estrada (profesional independiente)

Apoyo editorial

Rocael Recinos

Equipo de diseño y diagramación

Sonia García

Cecilia Cleaves

Fotografía de portada

Gerónimo Pérez

Fotografías de portadillas interiores

Estuardo Archila

Universidad Rafael Landívar

Autoridades institucionales

RECTOR

P. Miquel Cortés Bofill, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA

Dra. Martha Pérez de Chen

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN

Dr. José Juventino Gálvez Ruano

VICERRECTOR DE IDENTIDAD UNIVERSITARIA

P. José Antonio Rubio, S. J.

VICERRECTORA ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Mgtr. Silvana Guisela Zimeri Velásquez de Celada

SECRETARIO GENERAL

Dr. Larry Andrade-Abularach

Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna)

Mgtr. Juan Pablo Castañeda

Director

Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas

Mgtr. Cristina Bailey

Decana

Contenido

PRESENTACIÓN

Juventino Gálvez Ruano, Cristina Bailey y Juan Pablo Castañeda

IX

ARTÍCULOS

Respuesta de aclimatación a invernadero de dos especies de orquídeas germinadas *in vitro*, *Guarianthe guatemalensis* y *Epidendrum macdougalli*

María Mercedes López-Selva, Juan P. Pinto y Pedro Pineda

3

Aplicación de un método para la determinación del grado de biodegradabilidad de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje

Marvin Eguizábal y Sara Fuentes

15

Vulnerabilidad social multidimensional en Guatemala: un análisis municipal basado en el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018

Michelle Tercero, Juan Carlos Rosito, Edson Hernández, Ana Cecilia Zurita y Pedro Pineda

25

DISCURSOS

Discurso de inauguración de la VII Semana Científica: «Universidad, ciencia y transformación social»

P. Miquel Cortés Bofill, S. J.

53

Presentación de la VII Semana Científica: el sistema renovado de investigación científico-crítica de la Universidad Rafael Landívar

Juventino Gálvez Ruano

55

Presentación

Clavius. Revista académica de ciencia y tecnología se promueve como una plataforma de exposición de hallazgos surgidos de los esfuerzos sistemáticos de investigación de estudiantes, profesores, investigadores y académicos en general, tanto de la Universidad Rafael Landívar (URL), como de organizaciones dedicadas a esta tentativa. Alberga, en primera instancia, trabajos apegados al rigor epistemológico, a la identidad institucional y al ordenamiento programático interno, destinados a fortalecer los procesos formativos de investigación y de proyección dirigidos a audiencias locales. No obstante, estas consideraciones de arranque albergan la pretensión de que los trabajos publicados configuren el germen de publicaciones arbitradas cuyo destino pueden ser otras revistas locales o internacionales o bien, que tal enfoque lleve a la misma revista *Clavius* a dar un salto hacia su propia acreditación internacional.

Los trabajos que publica la revista están relacionados con la estructura programática de la *Agenda Universitaria de Investigación* (AUI), especialmente con el programa que impulsa el Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna) denominado «Ecología integral en Mesoamérica: hacia la comprensión y la reconfiguración de las interacciones sociedad-naturaleza para conservar, restaurar y gestionar territorios resilientes y funcionales al bien común» y con la agenda programática, derivada de la AUI, que impulsa la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas (FCAA).

La revista, en sintonía con lo indicado anteriormente, se concentra entonces en trabajos arropados por las ciencias naturales y sus aplicaciones tecnológicas. Los marcos epistémicos que privilegian tales trabajos se derivan de esas disciplinas y su dominio empírico son territorios o fenómenos (de escala variable) donde los componentes del ambiente natural están sujetos a las dinámicas socioeconómicas y las decisiones político-institucionales que, como suele suceder, responden a concepciones dominantes acerca del mundo, mismas que encuentran síntesis en los modos de producción y las doctrinas que los guían. Frecuentemente, esas doctrinas, aferradas a paradigmas tecno-científicos, instalan la ilusión de una existencia humana sin límites, abonan un relativismo moral y, en definitiva, utilizan la técnica alejada de la ética.

Esas concepciones dan vida a fenómenos con sus respectivas escalas espaciales y temporales que explican el estado actual de las personas, sus comunidades y sus entornos. *Clavius* presentará trabajos que examinan esos fenómenos y habilitan rutas alternas a órdenes dominantes que suelen condenar a los ecosistemas y los servicios que ofrecen al agotamiento, la degradación, la contaminación y hasta la extinción, y con ello dañan la vida de familias vulnerables que dependen, esencialmente, de los bienes y servicios naturales para su sustento.

Con tales contribuciones, se busca fortalecer, universitariamente, una cultura inspirada en el bien común, el cuidado de la casa común protegiendo la vida en todas sus formas, la materialidad del bienestar (mas allá de los aspectos simbólicos), las redes de cooperación y el consenso, la solidaridad intergeneracional y la búsqueda de la factibilidad de todo lo anterior, entre otros valores y principios interpelantes.

Bajo el paraguas de la ecología integral, *Clavius* busca ampliar la comprensión rigurosa de la interacción sociedad-naturaleza bajo la perspectiva de un solo mundo complejo que requiere perspectivas de investigación interdisciplinarias, críticas e innovadoras.

En este primer número de la revista *Clavius* se presentan tres artículos científicos. El primero evalúa la respuesta de aclimatación de dos especies de orquídeas en condiciones de invernadero, utilizando factores tales como sustratos, sombras y fertilización, con el objetivo de conocer su influencia sobre el desarrollo de plantas provenientes del cultivo *in vitro*. El estudio permitió establecer que las condiciones de aclimatación posteriores al crecimiento de orquídeas *in vitro* son definitivas para la sobrevivencia y el desarrollo de las plantas. Se estableció que el proceso de aclimatación de plantas germinadas en condiciones *in vitro* no puede generalizarse para especies que pertenezcan a la misma familia. Es decir, las especies utilizan diferentes estrategias de sobrevivencia para superar el reto de adaptarse a un medio diferente de germinación.

El segundo artículo pone en contexto la importancia del uso de plásticos biodegradables para reducir los impactos ambientales y hace énfasis en la importancia de la medición del nivel de biodegradabilidad. El artículo propone un método alternativo de medición, el cual consiste en el uso de reactores y un sistema de aireación intermitente, para lo cual se emplearon bolsas de muestreo de gases para capturar el aire de escape y analizar la producción diaria de dióxido de carbono. Los resultados sugieren que el método propuesto es válido para la determinación de la biodegradabilidad de plásticos.

El tercer artículo propone una clasificación de los municipios de Guatemala a partir de un indicador de vulnerabilidad multidimensional y varios indicadores de vulnerabilidad por ámbito, los cuales se presentan en forma de mapas. La metodología integró el marco conceptual de vulnerabilidad social y el enfoque metodológico del índice de pobreza multidimensional (IPM). El estudio identificó una asociación entre la población rural y una vulnerabilidad elevada, mostrando un importante rezago de las áreas rurales de Guatemala, que carecen principalmente de acceso a salud, empleo, vivienda, servicios básicos o equipamiento. El estudio permitió establecer que la metodología aplicada es replicable a escala del sector censal, es decir, de las colonias, condominios, barrios y caseríos.

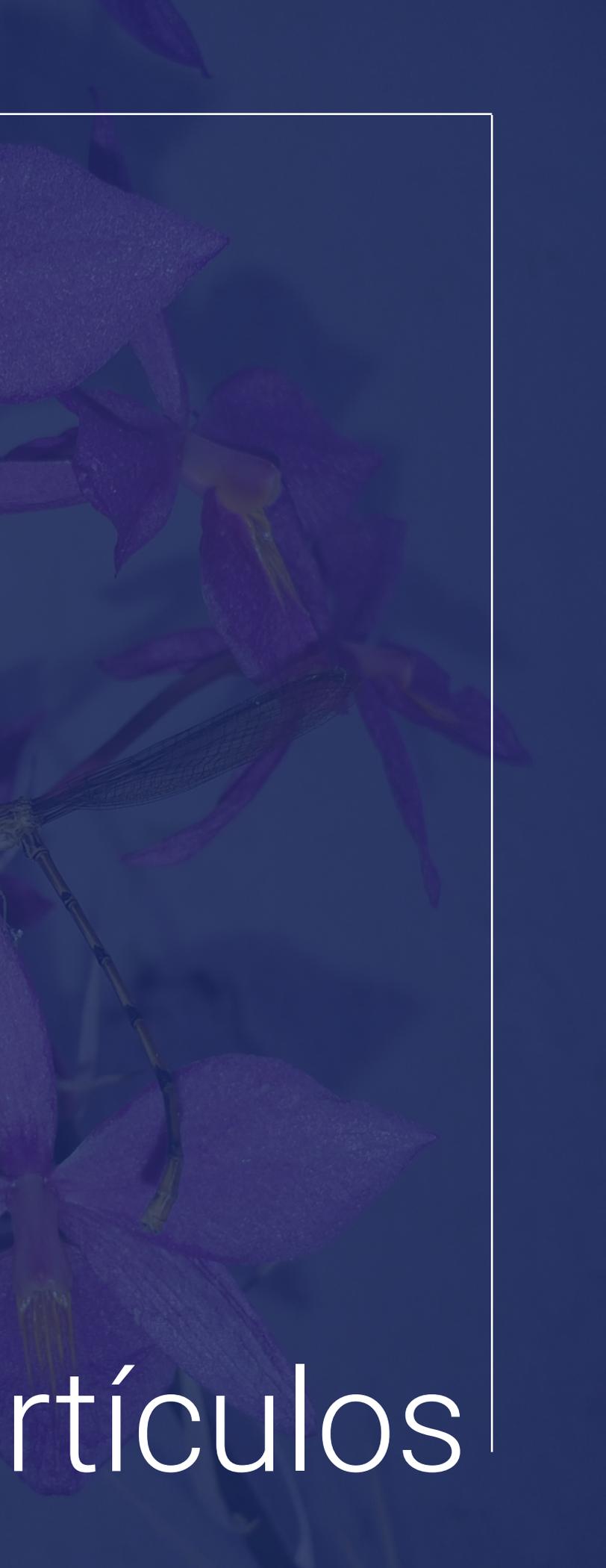
Como parte de este número de la revista *Clavius*, también se publican dos discursos que fueron presentados por el rector de la Universidad Rafael Landívar y el vicerrector de investigación y proyección durante la VII Semana Científica en 2022. Esta es una iniciativa que impulsa la Vicerrectoría de Investigación y Proyección (VRIP) desde 2016, en conjunto con la Vicerrectoría Académica (VRAC). Es uno de los mecanismos que permiten el despliegue de las políticas académicas (investigación y educación) y de proyección universitaria. Recrea condiciones para el fomento del diálogo riguroso y crítico sobre la realidad nacional, regional y global, y la recepción de retroalimentación sobre los hallazgos de investigación realizados por estudiantes, docentes e investigadores del Sistema Universitario Landivariano (SUL) y académicos invitados. *Clavius* operará sinérgicamente con la Semana Científica para dar despliegue concreto a las políticas institucionales mencionadas.

Se espera que este primer número de la revista *Clavius* marque el inicio de la construcción colectiva de formas alternas de pensar y actuar en favor de los complejos desafíos socioambientales y ojalá de una alianza efectiva entre la ciencia y la política.

Mgtr. Juan Pablo Castañeda
director
Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y
Tecnología (Iarna)

Mgtr. Cristina Bailey
decana
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas

Dr. Juventino Gálvez
vicerrector
Vicerrectoría de Investigación y Proyección
Universidad Rafael Landívar



artículos

Respuesta de aclimatación a invernadero de dos especies de orquídeas germinadas *in vitro*, *Guarianthe guatemalensis* y *Epidendrum macdougalli*

Greenhouse acclimatization response of two orchid species germinated *in vitro*, *Guarianthe guatemalensis* and *Epidendrum macdougalli*

María Mercedes López-Selva¹, Juan P. Pinto² y Pedro Pineda³

Resumen

Se evaluó la respuesta de aclimatación de dos especies de orquídeas (*Guarianthe guatemalensis* y *Epidendrum macdougalli*) en condiciones de invernadero, utilizando los factores: sustratos, sombras y fertilización; con el objetivo de conocer su influencia sobre el desarrollo de plantas provenientes del cultivo *in vitro*.

Las plantas germinaron *in vitro* y posteriormente fueron trasplantadas a condiciones de invernadero en dieciséis tratamientos que combinaron dos tipos de sustrato, dos grados de sombra y dos fertilizantes. Durante diez meses, comprendidos entre diciembre del 2014 y octubre del 2015, se registraron mediciones de cinco variables de desarrollo en las plantas: sobrevivencia, altura, número de hojas, número de raíces y número de *keikis* o hijos.

Los resultados muestran que la especie *E. macdougalli* se desarrolla mejor —en términos de altura, raíces y *keikis*— en un sustrato compuesto por 50 % de corteza de pino y 50 % de piedra pómez, con tratamientos semanales de fertilización con NPK 11.8.6 y en condiciones de sombra del 50 %. La respuesta de *G. guatemalensis* a los tratamientos utilizados no fue concluyente en cuanto a su desarrollo en términos de altura y raíces, aunque sí existió una respuesta de generación de *keikis* estadísticamente significativa al tratamiento, que consistió en sustrato compuesto por 50 % de corteza de pino y 50 % de piedra pómez, y la aplicación de tratamientos semanales de fertilización con NPK 11.8.6 y condiciones de sombra del 90 %.

Palabras clave: cultivo *in vitro*, biotecnología, orquídeas, *Guarianthe guatemalensis*, *Epidendrum macdougalli*

Abstract

The acclimatization response of two species of orchids (*Guarianthe guatemalensis* and *Epidendrum macdougalli*) was evaluated under greenhouse conditions, by means of three different factors, namely: substrates, shades and fertilization. This, in order to get insight into its influence on the development of plants from *in vitro* culture.

The plants of both species germinated *in vitro*, and then transplanted to greenhouse conditions in 16 treatments that combined two types of substrates, two degrees of shade, and two fertilizers. During 10 months, between December 2014 and October 2015, measurements of five variables of plant development were recorded: survival, height, number of leaves, number of roots, and number of *keikis* or offspring.

The results of this investigation show that the species *Epidendrum macdougalli* develops better —in terms of height, roots and *keikis*—, in a substrate composed by 50 % of pine bark and 50 % of pumice, with weekly fertilization treatments using NPK 11.8.6 and under 50 % of shade conditions. The response of *Guarianthe guatemalensis* to the treatments applied in this experiment was not conclusive regarding its development in terms of height and roots, although there was a statistically significant response to the generation of *keikis* to the treatment, which consisted of a substrate composed by 50 % of pine bark and 50 % of pumice, and the application of weekly fertilization treatments with NPK 11.8.6 and shaded conditions of 90 %.

Keywords: *in vitro* culture, biotechnology, orchids, *Guarianthe guatemalensis*, *Epidendrum macdougalli*

¹ María Mercedes López-Selva Quintana de Gálvez, investigadora del Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna) de la Universidad Rafael Landívar (URL).

² Juan Pablo Pinto Meneses, investigador ambiental independiente.

³ Pedro Arnulfo Pineda Cotzoyaj, investigador del Iarna-URL.

La familia de las orquídeas es de especial interés dentro del ámbito de la conservación biológica mundial debido a que es una de las más diversas y, al mismo tiempo, es la que cuenta con más especies amenazadas de extinción. Este grupo de plantas mantiene un alto grado de dependencia con respecto a otros organismos de su entorno con los que interactúa para completar procesos de alimentación y reproducción. Sin embargo, esta interdependencia con otras especies se traduce en desventaja debido a la acelerada degradación y desaparición de ecosistemas naturales enteros, producto de las actividades humanas y su impacto negativo sobre el ambiente natural (Swarts y Dixon, 2009).

En Guatemala, la familia *Orchidaceae* comprende al menos un millar de especies (Archila, 2017) y todas ellas están bajo una fuerte presión como resultado de la alta tasa anual bruta de deforestación del país, estimada en -3.35 % (Instituto Nacional de Bosques, 2019), y su consecuente impacto en la desaparición de los ecosistemas naturales. Ante esta realidad, el Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna) reconoció la necesidad de hacer un esfuerzo dirigido a generar nuevo conocimiento sobre la propagación asistida de las especies, utilizando técnicas *in vitro* para promover su cultivo y de esta manera contribuir a preservar la diversidad. Este esfuerzo se combina con otros componentes que forman parte de la misma línea de investigación y que están dirigidos a incrementar y divulgar el conocimiento sobre la importancia de las orquídeas, a formar profesionales de diferentes áreas de conocimiento mediante su participación en investigación y a experimentar con la reintroducción de especies en fragmentos protegidos de los ecosistemas de distribución natural de las mismas.

Dentro de la reproducción asistida, el cultivo *in vitro* es ampliamente utilizado en la industria para producir orquídeas de alto valor comercial a gran escala (Kleyn, 1996). Existe información sobre técnicas y procedimientos para cultivar orquídeas de géneros asiáticos de flores muy grandes, como *Phalaenopsis* u orquídea palomilla (novecientas a mil cuatrocientas especies); el género *Vanda* (treinta y cinco especies), de Himalaya y Malasia; y el género *Dendrobium* (cincuenta especies), proveniente de Asia, Australia y Nueva Zelanda (Royal Horticultural Society, 1995). Sin embargo, existe poca información sobre las técnicas de reproducción de especies que se distribuyen localmente, por lo que es importante desarrollar y difundir aquellas técnicas que brinden los mejores resultados en el cultivo.

Las plantas que surgen del cultivo *in vitro* deben pasar por un período de aclimatación o endurecimiento que, en el caso de las orquídeas, es largo y requiere de

cuidados específicos. Este proceso sucede cuando la planta tiene todas las estructuras desarrolladas y consiste en trasplantarla del cultivo *in vitro* a un medio con sustrato seco en condiciones de invernadero, para empezar a promover los cambios fisiológicos necesarios para su vida al aire libre (Kleyn, 1996).

Esta investigación surge de la necesidad de determinar la diferencia que tienen distintos tratamientos de aclimatación en el desarrollo de dos especies de orquídeas: *Guarianthe guatemalensis* y *Epidendrum macdougalli*.

Guarianthe guatemalensis es un híbrido natural entre *G. aurantiaca* y *G. skinneri* que se caracteriza por tener flores de una amplia gama de colores que van desde amarillo hasta rojo, incluyendo salmón, rosado y morado. Antes de reconocerse como un híbrido, se clasificó como la especie *G. pacheoi*. Las características de la planta son similares a las de ambas especies, que se parecen entre sí, aunque sus pseudobulbos tienen bases menos angostas que las de *G. aurantiaca* (Withner, 1988). *Epidendrum macdougalli* no está descrita oficialmente para Guatemala, aunque el espécimen de donde proviene la cápsula con la cual se hizo esta investigación pertenecía a una colección privada que obtuvo la planta inicial, en el departamento de San Marcos, Guatemala. Entre las características de la especie, se incluyen sus hábitos tanto terrestres como epífitos y tener tallos erectos, sencillos y verrucosos, con pequeños lunares que resaltan a la vista. La inflorescencia puede ser racemosa o paniculada y tiene entre seis y veinticinco flores rosadas de diferentes tonalidades (Epidendra, 2019).

El objetivo de la presente investigación fue estudiar el efecto de las condiciones de aclimatación que difieren en cuanto a porcentaje de sombra, tipo y composición de sustratos, así como concentración y presentación de fertilizantes, sobre la aclimatación de ambas especies germinadas *in vitro*.

Metodología

El experimento se realizó en el invernadero de aclimatación del Iarna, ubicado en el Campus San Francisco de Borja, S. J. de la Universidad Rafael Landívar, en la zona 16, ciudad de Guatemala. Se utilizaron orquídeas germinadas *in vitro* de las especies *Epidendrum macdougalli* y *Guarianthe guatemalensis*, las cuales provinieron del laboratorio de cultivo *in vitro* del Iarna, donde estuvieron nueve meses en ese estado previo a formar parte de este experimento.

Se evaluaron tres factores sobre las dos especies, a saber:

- Factor A: niveles de sombra. Se evaluó la respuesta en sombra de 50 % y 90 %, ambas creadas con sarán (malla de polipropileno) negro.
- Factor B: fórmula de la fertilización. Se evaluó la respuesta al fertilizante 1 Bayfolán: NPK 11.8.6 (marca comercial en presentación de fertilizante foliar de Proagro), y fertilizante 2 Nutrex: NPK 20.20.20 (marca comercial en presentación de fertilizante foliar de Sapecagro).
- Factor C: tipo de sustrato. Se evaluaron dos sustratos: sustrato 1 (50 % fibra de coco más 50 % de pómez) y sustrato 2 (50 % corteza de pino más 50 % de pómez).

Los tratamientos consistieron en ocho combinaciones de los tres factores en las dos especies de orquídeas, que en total sumaron dieciséis tratamientos (ver tabla 1).

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \alpha_j r_j + \beta_k + \alpha_i \beta_k + \alpha_i (r_j \beta_k) + \delta_l + \beta_k \delta_l + \alpha_i \delta_l + \alpha_i \beta_k \delta_l + \epsilon_{ijkl}$$

en donde:

Y_{ijkl} = variable de respuesta asociada a la $ijkl$ -ésima unidad experimental;

μ = media general;

α_i = efecto del i -ésimo nivel de sombra;

$\alpha_i r_j$ = término del error de la interacción de la j -ésima repetición con el i -ésimo nivel de sombra (error A);

β_k = efecto del k -ésimo tipo de fertilización;

$\alpha_i \beta_k$ = efectos de la interacción del i -ésimo nivel de sombra con el k -ésimo tipo de fertilización;

$\alpha_i (r_j \beta_k)$ = término del error de la interacción de la j -ésima repetición con el k -ésimo tipo de fertilización anidado dentro del i -ésimo nivel de sombra (error B);

δ_l = efecto del l -ésimo sustrato;

$\beta_k \delta_l$ = efecto de la interacción del k -ésimo tipo de fertilización con el l -ésimo sustrato;

$\alpha_i \delta_l$ = efecto de la interacción del i -ésimo nivel de sombra con el l -ésimo sustrato;

$\alpha_i \beta_k \delta_l$ = efecto de la interacción triple del i -ésimo nivel de sombra con el k -ésimo tipo de fertilización y el l -ésimo sustrato; y

ϵ_{ijkl} = error experimental asociado a la $ijkl$ -ésima unidad experimental.

Tabla 1

Matriz de tratamientos en experimentación

Tratamiento	Especie de orquídea	Factor A: Sombra	Factor B: Fertilización	Factor C: Sustrato
1	<i>E. macdougalli</i>	50 %	fertilizante 1 (11.8.6)	sustrato 1 (coco+pómez)
2				sustrato 2 (pino+pómez)
3			fertilizante 2 (20.20.20)	sustrato 1 (coco+pómez)
4				sustrato 2 (pino+pómez)
5		90 %	fertilizante 1 (11.8.6)	sustrato 1 (coco+pómez)
6				sustrato 2 (pino+pómez)
7			fertilizante 2 (20.20.20)	sustrato 1 (coco+pómez)
8				sustrato 2 (pino+pómez)
9	<i>G. guatemalensis</i>	50 %	fertilizante 1 (11.8.6)	sustrato 1 (coco+pómez)
10				sustrato 2 (pino+pómez)
11			fertilizante 2 (20.20.20)	sustrato 1 (coco+pómez)
12				sustrato 2 (pino+pómez)
13		90 %	fertilizante 1 (11.8.6)	sustrato 1 (coco+pómez)
14				sustrato 2 (pino+pómez)
15			fertilizante 2 (20.20.20)	sustrato 1 (coco+pómez)
16				sustrato 2 (pino+pómez)

Fuente: elaboración propia

Para medir los efectos de los tratamientos, se eligieron cinco variables de desarrollo de plantas:

- (1) altura;
- (2) sobrevivencia;
- (3) número de hojas;
- (4) raíces; y
- (5) *keikis*.

Durante diez meses, comprendidos entre diciembre del 2014 a octubre del 2015, se registraron las mediciones de las cinco variables. Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza cuando así lo permitieron. La normalidad de los datos se corroboró mediante la prueba Shapiro-Wilks. En los casos en donde no se encontró normalidad, los datos se transformaron en al menos tres funciones para ajustarla y cuando los datos no fueron susceptibles de normalidad, se realizó el análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis).

Cuando se observaron diferencias significativas como resultado de las pruebas descritas, se realizaron análisis de medias múltiples con la finalidad de establecer la superioridad de tratamientos. Los datos correspondientes a la variable de altura se trataron mediante un análisis de covarianza para ajustar el error proveniente de la diferencia natural de altura de las plantas al inicio del experimento.

Resultados y discusión

Los resultados se presentan por especie y por cada variable de respuesta estudiada (altura, número de hojas, supervivencia, raíces y *keikis*).

Resultados para la especie *Epidendrum macdougalli*

Altura. Las interacciones de los factores que dieron como resultado plantas con mayor altura fueron el uso del sustrato 2 (piedra pómez y corteza de pino) y la fertilización 1: NPK 11.8.6. Esta doble interacción mostró una diferencia estadísticamente significativa, incluso al compararla con interacciones más complejas (tabla 2). La prueba de medias confirma que el crecimiento que se alcanzó en los tratamientos con esa interacción es mayor en comparación con el resto. Dichos tratamientos fueron T2 y T6 (tabla 3).

Número de hojas. Todos los valores *p* del análisis de varianza aplicado a la variable de número de hojas fueron mayores que 0.05; la única variable en donde fue menor a 0.05 o estadísticamente significativa fue el sustrato (tabla 4). Sin embargo, la prueba de medias (tabla 5) fue concluyente con respecto a la inexistencia de una diferencia significativa entre sustratos.

Tabla 2

Resultado de la prueba de análisis de covarianza (Ancova) para la variable de altura

Fuente de variación	SC	gL	CM	F	p-valor
Y_{ijkl}	3098.87	44	70.43	2.86	<0.0001
α_i : sombra	16.34	1	16.34	0.33	0.5731
$\alpha_i r_j$: sombra (repetición)	892.57	18	49.59	2.01	0.0141
β_k : fertilización	123.13	1	123.13	5.28	0.0338
$\alpha_i \beta_k$: fertilización*sombra	60.89	1	60.89	2.61	0.1235
$\alpha_i (r_j \beta_k)$: fertilización*repetición (sombra)	419.69	18	23.32	0.95	0.5258
δ_j : sustrato	0.37	1	0.37	0.02	0.9025
$\beta_k \delta_j$: fertilización*sustrato	199.57	1	199.57	8.10	0.0052
$\alpha_i \delta_j$: sombra*sustrato	0.40	1	0.40	0.02	0.8991
$\alpha_i \beta_k \delta_j$: sombra*sustrato*fertilización	9.97	1	9.97	0.40	0.5260
Altura_inicial	328.07	1	328.07	13.31	0.0004
ϵ_{ijkl} : error	2833.62	115	24.64		
total	5932.49	159			

Nota. Abreviaturas: SC: suma de cuadrados; gL: grados de libertad; CM: cuadrado medio; F: Prueba de Fisher; p: valor de probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3

Prueba de medias de la variable de altura

Interacciones	Media	N	E. E.
sustrato corteza/pómez + fertilización NPK 11.8.6	12.02	40	0.82 A
sustrato coco/pómez + fertilización NPK 11.8.6	10.36	40	0.80 A B
sustrato coco/pómez + fertilización NPK 11.8.6	9.62	40	0.83 B C
sustrato corteza/pómez + fertilización NPK 20.20.20	7.77	40	0.83 C

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Abreviaturas: N: tamaño de la muestra; E. E.: error estándar. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4

Resultado de la prueba de análisis de varianza (Andeva) para la variable de número de hojas

Fuente de variación	SC	gL	CM	F	p-valor
Y_{ijkl}	1582.10	43	36.79	1.91	0.0034
α_i : sombra	168.10	1	168.10	4.38	0.0507
$\alpha_i r_j$: sombra (repetición)	690.40	18	690.40	1.99	0.0154
β_k : fertilización	25.60	1	25.60	1.34	0.2618
$\alpha_i \beta_k$: fertilización*sombra	19.60	1	19.60	1.03	0.4767
$\alpha_i (r_j \beta_k)$: fertilización*repetición (sombra)	343.30	18	19.07	0.99	0.2665
δ_j : sustrato	24.02	1	24.02	1.25	0.0002
$\beta_k \delta_j$: fertilización*sustrato	275.62	1	275.62	14.30	0.1853
$\alpha_i \delta_j$: sombra*sustrato	34.22	1	34.22	1.78	0.1853
$\alpha_i \beta_k \delta_j$: sombra*sustrato*fertilización	1.22	1	1.22	0.06	0.8014
ϵ_{ijkl} : error	2235.90	116	19.28		
total	3818.00	159			

Nota. Abreviaturas: SC: suma de cuadrados; gL: grados de libertad; CM: cuadrado medio; F: Prueba de Fisher; p: valor de probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5

Resultado de medias para la variable de número de hojas

Interacción sustrato	Media	N	E. E.
sustrato corteza/pómez	8.64	80	0.49 A
sustrato coco/pómez	7.86	80	0.49 A

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Abreviaturas: N: número de muestra; E. E.: error estándar. Fuente: elaboración propia.

Supervivencia. La supervivencia se registró a través de dos valores: 1 (viva) y 0 (muerta). Se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existía diferencia significativa entre tratamientos (tabla 6). La prueba de medias mostró que los tratamientos T6, T2 y T7 fueron significativamente superiores en comparación con los otros (tabla 7).

Raíces. Esta variable se registró con base en la presencia (o ausencia) de raíces nuevas y los datos se analizaron a través de una prueba Kruskal-Wallis, a partir de la cual se encontraron diferencias significativas (tabla 8). El resultado de la prueba de medias mostró que el tratamiento 2 (sustrato: pino/pómez; fertilizante NPK 11.8.6; sombra 50 %) tuvo mayor producción de raíces nuevas (tabla 9).

Keikis. Esta variable se registró como presencia (1) o ausencia (0) de nuevo keiki. Los datos se analizaron utilizando una prueba de Kruskal-Wallis, que mostró que sí hubo diferencias significativas entre tratamientos (tabla 10). Los resultados de la prueba de rangos de media mostraron que los tratamientos T6, T2 y T7 tuvieron mayor desarrollo de keikis (tabla 11).

Tabla 6

Resultado de prueba Kruskal-Wallis para la variable de supervivencia

T	Descripción	N	Media	D. E.	Mediana	H	p
3	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; F 20.20.20	20	0.85	0.37	1.00	14.24	0.0001
1	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; F 11.8.6	20	0.65	0.49	1.00		
5	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; F 11.8.6	20	1.00	0.00	1.00		
7	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.75	0.44	1.00		
4	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; F 20.20.20	20	0.50	0.51	0.50		
6	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	1.00	0.00	1.00		
2	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.75	0.44	1.00		
8	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	20	1.00	0.00	1.00		

Nota. Abreviaturas: T: tratamiento; N: tamaño de la muestra; D. E.: desviación estándar; H: estadístico de prueba; p: valor de probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 7

Resultado de prueba de medias de tratamientos sobre la variable de supervivencia

Tratamiento	Descripción del tratamiento	Rango
4	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	55.50 A
1	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	67.50 A B
8	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	75.50 A B
5	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	75.50 A B
3	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	83.50 A B
6	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	95.50 B
2	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	95.50 B
7	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	95.50 B

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Fuente: elaboración propia.

Tabla 8

Resultado de prueba Kruskal-Wallis para la variable de raíces

T	Descripción del tratamiento	N	Media	D. E.	Mediana	H	p
3	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.30	0.47	0.00	24.97	<0.0001
1	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.50	0.51	0.50		
7	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.35	0.49	0.00		
5	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.65	0.49	1.00		
4	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.30	0.47	0.00		
2	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.85	0.37	1.00		
8	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.10	0.31	0.00		
6	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.65	0.49	1.00		

Nota. Abreviaturas: T: tratamiento; N: tamaño de la muestra; D. E.: desviación estándar; H: estadístico de prueba; p: valor de probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 9

Resultado de los rangos de medias de raíces por tratamiento

Tratamiento	Descripción	Rango
8	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	51.50 A
3	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	67.50 A B
4	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	67.50 A B
7	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	71.50 A B
1	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	83.50 B C
6	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	95.50 B C
5	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	95.50 B C
2	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	111.50 C

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Fuente: elaboración propia.

Tabla 10

Resultado de prueba Kruskal-Wallis para la variable de keikis o hijos

T	Descripción del tratamiento	N	Media	D. E.	Mediana	H	p
3	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.65	0.49	1.00	11.46	0.0121
1	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización 11.8.6	20	0.65	0.49	1.00		
7	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.90	0.31	1.00		
5	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.60	0.50	1.00		
4	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.40	0.50	0.00		
2	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.85	0.37	1.00		
8	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.65	0.49	1.00		
6	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.85	0.37	1.00		

Nota. Abreviaturas: N: tamaño de la muestra; D. E.: desviación estándar; H: estadístico de prueba; p: valor de probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 11

Resultado de rangos de los tratamientos con base en el desarrollo de keikis o hijos

Tratamiento	Descripción	Rango
4	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	57.00 A
5	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	73.00 A B
8	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	77.00 A B
3	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	77.00 A B
1	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	77.00 A B
6	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	93.00 B
2	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	93.00 B
7	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	97.00 B

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Fuente: elaboración propia.

Resumen de resultados de los tratamientos en la especie *Epidendrum macdougalli*. Los resultados por tratamiento, resumidos en la tabla 12, muestran que los mejores efectos de desarrollo, en función de las variables altura, supervivencia, raíces y

keikis, se obtuvieron con el tratamiento T2 (sustrato pino/pómez; sombra a 50 % y fertilización NPK 11.8.6). El segundo mejor tratamiento fue el T6 (sustrato pino/pómez; sombra a 90 %; fertilización NPK 20.20.20).

Tabla 12

Resumen de resultados de los tratamientos utilizados para la especie *E. macdougalli*

T	Descripción	Altura	n.º de hojas	Super- vivencia	Raíces	<i>Keikis</i>
1	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	0	0	0	0	0
2	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	1	0	1	1	1
3	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	0	0	0	0	0
4	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	0	0	0	0	0
5	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	0	0	0	0	0
6	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	1	0	1	0	1
7	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	0	0	1	0	1
8	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	0	0	0	0	0

Nota. 1: tratamientos con efecto estadísticamente significativo sobre el factor referido; 0: tratamientos sin efecto estadísticamente significativo sobre el factor referido. Fuente: elaboración propia.

Resultados para la especie *Guarianthe guatemalensis*

Altura. El resultado del análisis de covarianza para los datos de la variable de altura muestra que ninguno de los tratamientos produjo un valor «p» menor que 0.05 (tabla 13), por lo que se concluye que ninguna de las variables de los tratamientos (sombra,

sustrato, fertilizante) ni sus interacciones tuvieron un efecto significativo sobre la altura de la planta.

Número de hojas. Los resultados de la prueba de análisis de varianza de los datos sobre número de hojas confirman que ningún tratamiento tuvo un efecto sobre el número de hojas por planta (tabla 14).

Tabla 13

Prueba de Ancova para la variable de altura

Fuente de variación	SC	gL	CM	F	p-valor
Y_{ijkl}	493.94	44	11.23	1.44	0.0642
α_i : sombra	32.63	1	32.63	4.39	0.0505
$\alpha_i r_j$: sombra (repetición)	133.71	18	7.43	0.95	0.5192
β_k : fertilización	10.44	1	10.44	1.62	0.2189
$\alpha_i \beta_k$: fertilización*sombra	2.14	1	2.14	0.33	0.5715
$\alpha_i (r_j \beta_k)$: fertilización*repetición (sombra)	115.83	18	6.43	0.82	0.6681
δ_j : sustrato	0.79	1	0.79	0.10	0.7504
$\beta_k \delta_j$: fertilización*sustrato	6.52	1	6.52	0.84	0.3626
$\alpha_i \delta_j$: sombra*sustrato	0.71	1	0.71	0.09	0.7639
$\alpha_i \beta_k \delta_j$: sombra*sustrato*fertilización	1.07	1	1.07	0.14	0.7119
altura_inicial	79.51	1	79.51	10.19	0.0018
error	897.29	115	7.80		
total	1391.24	159			

Nota. Abreviaturas: SC: suma de cuadrados; gL: grados de libertad; CM: cuadrado medio; F: Prueba de Fisher; p: valor de probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 14

Prueba de Andeva para la variable de número de hojas

Fuente de variación	SC	gL	CM	F	p-valor
Y_{ijkl}	133.15	43	3.10	1.26	0.1658
α_i : sombra	2.50	1	2.50	0.73	0.4032
$\alpha_i r_j$: sombra (repetición)	61.40	18	3.41	1.39	0.1497
β_k : fertilización	7.23	1	7.23	2.60	0.1244
$\alpha_i \beta_k$: fertilización*sombra	4.23	1	4.23	1.52	0.2336
$\alpha_i (r_j \beta_k)$: fertilización*repetición(sombra)	50.05	18	2.78	1.13	0.3304
δ_j : sustrato	0.63	1	0.63	0.25	0.6148
$\beta_k \delta_j$: fertilización*sustrato	4.90	1	4.90	2.00	0.1604
$\alpha_i \delta_j$: sombra*sustrato	0.63	1	0.63	0.25	0.6148
$\alpha_i \beta_k \delta_j$: sombra*sustrato*fertilización	1.60	1	1.60	0.65	0.4211
ε_{ijkl} : error	284.75	116	2.45		
total	417.90	159			

Nota. Abreviaturas: SC: suma de cuadrados; gL: grados de libertad; CM: cuadrado medio; F: Prueba de Fisher; p: valor de probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Variable de supervivencia. Los datos de esta variable se analizaron a través de la prueba Kruskal-Wallis. El resultado de la prueba confirma que ningún tratamiento tuvo resultados estadísticamente significativos sobre la sobrevivencia de la especie (tabla 15).

Raíces. La prueba estadística de Kruskal-Wallis aplicada a los datos de medición de esta variable confirma que no hubo diferencia significativa (p -valor > 0.05) en el desarrollo de nuevas raíces como consecuencia de los tratamientos aplicados (tabla 16).

Keikis. Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para los datos de esta variable confirman

que sí existió una diferencia estadísticamente significativa (p -valor < 0.05) entre tratamientos (tabla 17). La prueba de medias (tabla 18) confirma que el tratamiento T14 tuvo más crecimiento de *keikis* nuevos en comparación con los demás tratamientos.

Resumen de los resultados de la especie *Guarlanthe guatemalensis*. El tratamiento T14, que consistió en 90 % de sombra, sustrato 2 (pino más pomez) y fertilizante NPK 11.8.6 fue el que obtuvo mejores resultados en cuanto al desarrollo de las plantas, medido en términos de número de hijos (tabla 19). No se observó diferencia significativa en las variables de supervivencia, altura y número de raíces como resultado de los tratamientos aplicados.

Tabla 15

Resultado de prueba Kruskal-Wallis para la variable de sobrevivencia

T	Descripción del tratamiento	N	Media	D. E.	Mediana	H	p
11	sustrato: coco/pomez; sombra 50%; fertilización NPK 20.20.20	20	0.85	0.37	1.00	4.45	0.1579
9	sustrato: coco/pomez; sombra 50%; fertilización NPK 11.8.6	20	0.85	0.37	1.00		
15	sustrato: coco/pomez; sombra 90%; fertilización NPK 20.20.20	20	0.85	0.37	1.00		
13	sustrato: coco/pomez; sombra 90%; fertilización NPK 11.8.6	20	0.90	0.31	1.00		
12	sustrato: pino/pomez; sombra 50%; fertilización NPK 20.20.20	20	0.70	0.47	1.00		
10	sustrato: pino/pomez; sombra 50%; fertilización NPK 11.8.6	20	0.65	0.49	1.00		
16	sustrato: pino/pomez; sombra 90%; fertilización NPK 11.8.6	20	0.95	0.22	1.00		
14	sustrato: pino/pomez; sombra 90%; fertilización NPK 11.8.6	20	0.90	0.31	1.00		

Nota. Abreviaturas: N: tamaño de la muestra; D. E.: desviación estándar; H: estadístico de prueba; p: valor de probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 16

Resultado de la prueba de Kruskal-Wallis para la variable de raíces

T	Descripción del tratamiento	N	Media	D. E.	Mediana	H	p
11	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.15	0.37	0.00	4.70	0.2793
9	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.15	0.37	0.00		
15	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.15	0.37	0.00		
13	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.20	0.41	0.00		
12	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.20	0.41	0.00		
10	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.25	0.44	0.00		
16	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.40	0.50	0.00		
14	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.40	0.50	0.00		

Nota. Abreviaturas: N: tamaño de la muestra; D. E.: desviación estándar; H: estadístico de prueba; p: valor de probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 17

Resultado de la prueba de Kruskal-Wallis para la variable de keikis o hijos

T	Descripción del tratamiento	N	Media	D. E.	Mediana	H	P
11	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.40	0.50	0.00	12.50	0.0124
9	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.65	0.49	1.00		
15	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.50	0.51	0.50		
13	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.70	0.47	1.00		
12	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	20	0.65	0.49	1.00		
10	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.45	0.51	0.00		
16	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.80	0.41	1.00		
14	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	20	0.90	0.31	1.00		

Nota. Abreviaturas: N: tamaño de la muestra; D. E.: desviación estándar; H: estadístico de prueba; p: valor de probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 18

Resultado de la prueba de medias para la variable de keikis

Tratamiento	Descripción	Rango
11	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	62.00 A
10	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	66.00 A B
15	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	70.00 A B
9	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	82.00 A B C
12	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	82.00 A B C
13	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	86.00 A B C
16	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	94.00 B C
14	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	102.00 C

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Fuente: elaboración propia.

Tabla 19Resumen de los resultados de los tratamientos aplicados en *Guarianthe guatemalensis*

T	Descripción	Altura	n.º de hojas	Supervivencia	Raíces	Keikis
10	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 11.8.6	0	0	0	0	0
11	sustrato: coco/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	0	0	0	0	0
12	sustrato: pino/pómez; sombra 50 %; fertilización NPK 20.20.20	0	0	0	0	0
13	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	0	0	0	0	0
14	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	0	0	0	0	1
15	sustrato: coco/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	0	0	0	0	0
16	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 11.8.6	0	0	0	0	0
9	sustrato: pino/pómez; sombra 90 %; fertilización NPK 20.20.20	0	0	0	0	0

Nota. 1: tratamientos con efecto estadísticamente significativo sobre el factor referido; 0: tratamientos sin efecto estadísticamente significativo sobre el factor referido. Fuente: elaboración propia.

Las dos especies analizadas difieren entre sí en cuanto a sus características morfológicas y se evidencia que también se distinguen en cuanto a su desarrollo y aclimatación post *in vitro*, ya que cada una requiere de condiciones específicas para la obtención de plantas vigorosas y capaces de sobrevivir por sí mismas en espacios naturales, sobre todo en el caso de *Epidendrum macdougalli*.

Los resultados de *E. macdougalli* muestran que se trata de una especie que responde a condiciones de sombra, sustrato y fertilización con mayor o menor desarrollo de raíces, altura y número de hijos. Incluso, la supervivencia de la especie se ve afectada por cambios en las variables utilizadas en el experimento. Para esta especie, los mejores resultados de desarrollo y, por ende, de aclimatación a condiciones de invernadero se obtuvieron con una sombra del 50 %, sustrato de corteza de pino y piedra pómez y fertilizante con proporciones NPK 11.8.6 (T2). Al comparar la respuesta a este tratamiento con los otros dos tratamientos que tuvieron los siguientes mejores resultados (T6 y T7), se evidencia que la especie se beneficia de sustratos con alto grado de drenaje y requiere de fertilización en bajas concentraciones.

El único parámetro de desarrollo que tuvo una respuesta estadísticamente superior como consecuencia de los tratamientos aplicados a la especie *Guarianthe guatemalensis* fue el de nuevos hijos o *keikis*. Las variables de desarrollo de nuevas raíces, supervivencia y altura de las plantas no mostraron diferencias significativas.

La variable de número de hojas desarrolladas no respondió de forma diferente ante ninguno de los tratamientos en ninguna de las dos especies. El número de hojas en orquídeas es constante en plantas sanas

de acuerdo a la especie. *Guarianthe guatemalensis* se caracteriza por tener dos hojas gruesas por planta, mientras que *Epidendrum macdougalli* presenta numerosas hojas por planta que se pierden para regenerarse nuevamente.

Conclusiones

Las condiciones de aclimatación posteriores al crecimiento de orquídeas germinadas *in vitro* son definitivas para la supervivencia y el desarrollo de las plantas. La especie *Epidendrum macdougalli* se desarrolla mejor –en términos de altura, raíces y *keikis*– en un sustrato compuesto por un 50 % de corteza de pino y otro 50 % de piedra pómez, con tratamientos semanales de fertilización NPK 11.8.6 y en condiciones de sombra del 50 %.

La respuesta de *Guarianthe guatemalensis* a los tratamientos utilizados en este experimento no fue contundente en cuanto al desarrollo de altura y raíces. No obstante, sí existió una respuesta de generación de *keikis* estadísticamente significativa al tratamiento, que consistió en un sustrato compuesto por 50 % de corteza de pino y 50 % de piedra pómez, tratamientos semanales de fertilización NPK 11.8.6 y condiciones de sombra del 90 %.

El proceso de aclimatación de plantas germinadas en condiciones *in vitro* no puede generalizarse para especies que pertenezcan a la misma familia. Las especies utilizan diferentes estrategias de supervivencia para superar el reto de adaptarse a un medio diferente al de germinación. En este caso en particular, la especie *Guarianthe guatemalensis* tuvo una reacción de adaptación que se basó en la generación de nuevas plantas hijas. Por el contrario, la estrategia de adaptación de *Epidendrum macdougalli*

consistió en el desarrollo de las plantas germinadas *in vitro*.

Referencias

- Archila, F. (2017). Listado de orquídeas de Guatemala. *Guatemalensis*, 17(2), 32-71.
- Epidendra. (27 de junio de 2019). *The global orchid taxonomic network*. Epidendra. <http://epidendra.org/taxones/Epidendrum/Epidendrum%20maccougalli/index.html>
- Instituto Nacional de Bosques. (2019). *Cobertura forestal de Guatemala 2016 y dinámica de cobertura forestal 2010-2016*. <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/06/folleto-dinamica-cobertura-forestal-2010-2016LR.pdf>
- Kleyn, K. L. (1996). *Plants from test tubes* (3.^a ed.). Timber Press.
- Royal Horticultural Society. (1995). *Manual of Orchids* (J. S. Griffiths, ed.). Timber Press.
- Swarts, N. D. y Dixon, K. D. (2009). Terrestrial orchid conservation in the age of extinction. *Annals of Botany*, 104, 543-556.
- Withner, C. L. (1988). *The cattleyas and their relatives* (vol. 1). Timber Press.

Aplicación de un método para la determinación del grado de biodegradabilidad de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje

Application of a method to determine the degree of biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions

Marvin Eguizábal y Sara Fuentes¹

Resumen

El uso de plásticos ha aumentado durante décadas debido a las ventajas que tiene con respecto a otros materiales. Esta situación ha generado la acumulación de residuos, afectando al ambiente. Se han identificado microplásticos en diversos ecosistemas y a distintos niveles de la cadena alimenticia, comprometiendo la calidad del ambiente y la salud humana. Una posible solución es la utilización de plásticos biodegradables.

Para evaluar la biodegradabilidad de materiales plásticos se emplean métodos estandarizados, como las normas ASTM D5338 e ISO 14855, que se aplican mediante el método de evolución de dióxido de carbono. Dichas normas requieren la construcción de sistemas complejos y de amplitud de espacio disponible en laboratorio.

Esta investigación propone un método alternativo basado en la normativa ASTM D5338-98. Se construyeron reactores y un sistema de aireación intermitente y se emplearon bolsas de muestreo de gases para capturar el aire de escape y analizar la producción diaria de dióxido de carbono.

Se pusieron a prueba tres materiales comercializados como biodegradables: dos tipos de película (A y B) y un plato desechable. Las muestras fueron incubadas por cuarenta y cinco días. En cuanto a los controles, el filtro de papel presentó una biodegradación de 78.25 % y el polipropileno de 0.18 %. Con relación a las muestras evaluadas, las películas A y B, así como el plato, alcanzaron una biodegradación de 6.69 %, 17.61 % y 23.81 %, respectivamente. Los resultados sugieren que el método propuesto es válido para la determinación de la biodegradabilidad de plásticos.

Palabras clave: plástico, biodegradación, dióxido de carbono, bioplástico, método ASTM D5338-98

Abstract

The use of plastics has raised during decades due to its advantages vis-a-vis other materials. However, this situation has brought waste accumulation, affecting the environment. That is why microplastics have been identified in different ecosystems and in different food-chain levels, which is alarming because of their potential impacts in the environment and human health. One of the possible solutions to this problem is the use of biodegradable plastics.

To evaluate the biodegradability of plastic materials, standardized methods are used, like the ASTM D5338 and ISO 14855 which are applied during carbon dioxide evolution method. Those require complex systems construction and huge space available in the laboratory.

In this investigation, an alternative method based in the ASTM D5338-98 is proposed. There were built reactors, as well as an intermittent aeration system using laboratory filter paper as positive control and polypropylene as negative control, and gas sampling bags to capture escape air and analyze the daily carbon dioxide production.

Three commercialized-as-biodegradable materials were tested, namely: two film types (A and B) and a disposable plate. The samples were incubated for 45 days. Regarding control, the paper filter presented 78.25 % biodegradation and polypropylene 0.18 %. Regarding the evaluated samples, the A and B samples, and the plate got 6.69 %, 17.61 % and 23.8 % biodegradation, respectively. The results suggest that the proposed method is valid for biodegradability determination in plastics.

Keywords: plastic, biodegradation, carbon dioxide, bioplastic, test method ASTM D5338-98

¹ Integrantes del equipo de investigación del Departamento de Tecnología del Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), Universidad Rafael Landívar.

Los plásticos son polímeros sintéticos que son transformados para cumplir una amplia gama de aplicaciones. Están compuestos por materiales ligeros, químicamente estables y resistentes a las condiciones ambientales; por consiguiente, han sustituido al papel, aluminio y vidrio en diversos casos (Cristan, Ize y Gavilan, 2003). El manejo deficiente de los residuos plásticos ha generado su acumulación en distintos ecosistemas —tales como ríos, lagos, suelos y océanos—. Se estima que la masa de los plásticos en los océanos pronto será mayor a la de toda la fauna marina (Dalgaard, 2017).

El consumo y la producción de plásticos ha aumentado significativamente en los últimos años. En 1950, menos de dos millones de toneladas fueron producidas; pero, para el 2018, la producción alcanzó la cifra de 359 millones de toneladas (Chidambarampadmavathy, Karthikeyan y Heimann, 2017; Plastics Europe y EPRO, 2020). Las tendencias sugieren que su producción seguirá al alza; en consecuencia, el manejo de los residuos plásticos será un reto por abordar (Ahmed *et al.*, 2018).

Comúnmente, se considera que los microplásticos son fragmentos que miden de uno a cinco milímetros (Westphalen y Abdelrasoul, 2018). Una preocupación creciente en la actualidad es la presencia constante de este tipo de plásticos en diversos lugares, ya que se han encontrado en ambientes naturales, tales como agua superficial oceánica, sedimentos marinos, lagos, ríos, glaciares polares, suelos y en la atmósfera (Li, Feng, Zhang, Ma y Shi, 2020).

En un estudio realizado por Lozoya *et al.* (2016), se observaron microplásticos en la playa Punta del Este en Uruguay: se identificaron fragmentos de polipropileno (PP), poliestireno (PS), polivinil cloruro (PVC), polietileno (PE) y polietileno tereftalato. Se estima que al menos 63 000 toneladas de este tipo de plásticos entran al suelo anualmente en Europa debido al uso de cubiertas plásticas de uso agrícola, cuyo destino es la acumulación en el suelo o su transporte a cuerpos de agua por medio de la escorrentía (Gomiero, Strafella y Fabi, 2019).

Se ha descubierto que los microplásticos liberan algunos compuestos tóxicos y adsorben otros en su superficie, lo cual ha despertado preocupación por las posibles implicaciones para los ecosistemas. Algunos aditivos estabilizantes, antioxidantes y otros productos utilizados en la fabricación de plásticos no suelen estar enlazados de forma covalente a los polímeros, lo que hace posible la liberación de compuestos tóxicos desde el plástico hacia el medio (Gomiero *et al.*, 2019). Por otra parte, se ha identificado que

los microplásticos adsorben compuestos orgánicos persistentes, tales como bifenilos policlorados (PCS, por sus siglas en inglés), pesticidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PHA, por sus siglas en inglés) (Gewert, Plassmann y Macleod, 2015; Soares, Pinheiro, Oliveira y Vieira, 2020). Por lo tanto, podrían funcionar como vehículos para sustancias tóxicas y entrar en la cadena alimenticia. Se ha encontrado microplásticos en peces y mamíferos marinos, los cuales han inducido alteraciones patológicas en los mismos (Gomiero *et al.*, 2019).

La exposición humana a los microplásticos ha sido detectada por medio de diversos productos marinos: uno de los más comunes es la sal de mesa. Un reciente estudio realizado en Portugal identificó su presencia en todas las muestras de sal de mesa que analizaron; dichas muestras provenían de siete regiones distintas del país (Soares *et al.*, 2020). Otro estudio realizado en China se enfocó en el análisis del alga nori, comúnmente utilizada para cocinar sushi, cuyos resultados evidencian la identificación de microplásticos en veintitrés de veinticuatro marcas comerciales diferentes (Li *et al.*, 2020). Los efectos en la salud humana debido a la exposición a plásticos y microplásticos siguen bajo investigación; sin embargo, es una preocupación que ha cobrado relevancia en las ciencias de la salud. Una revisión exhaustiva sobre los potenciales peligros para la salud humana se encuentra en Godswill y Godspel (2019).

Se estima que del total de residuos plásticos generados globalmente, el 55 % se ha descartado en rellenos sanitarios, el 20 % ha sido reciclado y un 25 % fue incinerado (Geyer, Jambeck y Law, 2017). Estos son los tres métodos más utilizados para el manejo de residuos plásticos desde 1980. En las últimas dos décadas, ha aumentado la recuperación de residuos plásticos en Europa, alcanzado un total de 29.1 toneladas, de las cuales el 42.6 % se ha utilizado para producir energía, 32.5 % ha sido reciclado y 24.9 % se ha descartado en rellenos sanitarios (Plastics Europe y EPRO, 2020). En el 2018, Suiza, Austria y Holanda evitaron por completo el descarte en rellenos sanitarios mediante su recuperación para reciclaje o producción de energía (Plastics Europe y EPRO, 2020).

Una de las alternativas propuestas para la reducción de la generación de residuos plásticos ha sido el desarrollo de plásticos biodegradables (Calabrò y Grosso, 2018). De acuerdo con Ross, Ross y Tighe (2017), la biodegradación es el proceso mediante el cual la estructura molecular de un material es descompuesta a través de procesos enzimáticos o metabólicos. Con el avance en el desarrollo

de los plásticos biodegradables, ha surgido una distinción entre «biodegradable» y «compostable». Lo primero se refiere al proceso de degradación por la acción de microorganismos, produciendo agua, dióxido de carbono y metano como subproductos (Wahyuningtiyas y Suryanto, 2017). Por su parte, los plásticos compostables comparten las mismas propiedades, pero el ritmo de la biodegradación debe ser similar al de otros materiales compostables y no deben dejar residuos visuales ni tóxicos (Kale *et al.*, 2007). En tal sentido, los plásticos compostables son biodegradables, pero no todos los plásticos biodegradables son compostables.

La terminología usada en el campo de los plásticos biodegradables se ha desarrollado durante los últimos años. De acuerdo con European Bioplastics (2017), el término «bioplástico» es aplicable a aquellos plásticos que: (1) tienen una base biológica, (2) son biodegradables, o (3) ambos. Por lo tanto, existen tres categorías de bioplásticos según su base: (1) total o parcialmente biológica, que no son biodegradables, (2) biológica, que son biodegradables y (3) de origen fósil, también biodegradables (European Bioplastics, 2017).

Los plásticos oxodegradables son otra categoría ampliamente distribuida de forma comercial. Durante los primeros esfuerzos por promover la biodegradación, se utilizaron aditivos prooxidativos en los plásticos convencionales, los cuales promueven la fragmentación y degradación de los plásticos en presencia de rayos UV y calor (Aldas, Paladines, Valle, Pazmiño y Quiroz, 2018). Diversos estudios han encontrado que, a pesar de que los aditivos prooxidativos aceleran la fragmentación y degradación de los plásticos, estos no se consideran biodegradables o compostables, debido a su pobre desempeño al ser expuestos a condiciones de biodegradación (Arias-Villamizar y Vázquez-Morillas, 2018; Portillo, Yashchuk y Hermida, 2016; Thomas, Clarke, McLauchlin y Patrick, 2012). Por otro lado, se ha identificado que los aditivos prooxidativos disminuyen la calidad del plástico reciclado (Aldas *et al.*, 2018; Thomas *et al.*, 2012). Los plásticos oxodegradables no presentan un desempeño ambiental superior al de los plásticos convencionales.

Dentro de la categoría de bioplásticos, el ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés) ha sido uno de los más exitosos (Babu, O'Connor y Seeram, 2013). Es biodegradable, se produce con fuentes renovables (Muller, González-Martínez y Chiralt, 2017) y es

utilizado para la producción de películas, empaquetado de alimentos, contenedores de bebidas, además de emplearse exitosamente en aplicaciones médicas, como suturas y cápsulas (Chidambarampadmavathy *et al.*, 2017).

El almidón es uno de los biopolímeros más abundantes en la naturaleza, producido por fuentes renovables y es biodegradable (Muller *et al.*, 2017; Wahyuningtiyas y Suryanto, 2017). Los plásticos a base de almidón se han utilizado como sustitutos biodegradables y han sido sujeto de investigación desde hace décadas². Entre sus aplicaciones se encuentra la elaboración de bolsas, películas de cobertura de suelo agrícola, empaquetado y productos de higiene personal (Babu *et al.*, 2013).

La disciplina de los bioplásticos³ ha desarrollado diversos materiales capaces de sustituir a los plásticos convencionales (European Bioplastics, 2017). Actualmente, algunos de estos han entrado en el mercado para distintas aplicaciones; sin embargo, representan solamente el 1 % de la producción total de plásticos (Rujnić-Sokele y Pilipović, 2017).

Los bioplásticos varían por su biodegradabilidad según su composición química y el medio al que son expuestos (Adamcová *et al.*, 2017). Se han desarrollado métodos estandarizados para determinar la biodegradabilidad en medios tales como suelo, compost y ambientes acuáticos (Harrison, Boardman, O'Callaghan, Delort y Song, 2018; Ruggero, Gori y Lubello, 2019). Los parámetros utilizados para medir la biodegradabilidad se clasifican en tres categorías: (1) pérdida de masa, (2) evolución de dióxido de carbono o metano, y (3) espectroscopía infrarroja (Gu, 2017).

El primer método consiste en medir la masa de una muestra de plástico antes y después de exponerla a un medio en particular (Ruggero *et al.*, 2019). La principal objeción hacia esta metodología es el hecho de que fragmentos pequeños de las muestras podrían no recuperarse del medio; en consecuencia, la medición de biodegradabilidad se sobreestimaría (Gu, 2017). No obstante, dicho método se ha utilizado para la determinación de la biodegradabilidad de plásticos (Adhikari, Mukai, Kubota, Kai y Kaneko, 2016; Vaverková, Toman, Adamcová y Kotovicová, 2012; Vaverková y Adamcová, 2015).

El método de evolución de dióxido de carbono o metano consiste en la medición de la conversión del carbono orgánico a dióxido de carbono (ambiente

² Por ejemplo, el Centro Nacional para la Investigación de Utilización Agrícola inició su investigación en plásticos a base de almidón en 1970 (Steinbichel y Steinbüchel, 1992).

³ Una revisión exhaustiva de los distintos bioplásticos utilizados en la actualidad se encuentra en Babu *et al.* (2013).

aeróbico) o metano (ambiente anaeróbico), como resultado de la asimilación del material por parte de microorganismos (Kale *et al.*, 2007) en un ambiente cerrado y controlado. Se pueden utilizar métodos estandarizados para aplicarlo en ambientes aeróbicos –tales como compost– y ambientes anaeróbicos –como lodos de plantas de tratamiento de agua residual– (Briassoulis, Mistriotis, Mortier y Tosin, 2020; Harrison *et al.*, 2018).

En el caso de ambientes aeróbicos, las normas ASTM D5338 e ISO 14855 son las más utilizadas para determinar la biodegradabilidad mediante el método de evaluación de dióxido de carbono (Kale *et al.*, 2007). Es necesario construir un sistema que provea aire humidificado y libre de dióxido de carbono. Los plásticos deben ser expuestos al medio en recipientes cerrados que han de mantenerse a una temperatura constante de cincuenta y ocho grados centígrados, más o menos dos grados centígrados, por un período mínimo de cuarenta y cinco días (ASTM, 2003; Funabashi, Ninomiya y Kunioka, 2009). De acuerdo con las normas, la medición de las emisiones de dióxido de carbono se puede realizar de dos maneras: (1) mediante un sistema de captura de dióxido de carbono con una solución alcalina, tal como hidróxido de sodio, y (2) midiendo directamente el aire de escape con un detector infrarrojo o por cromatografía de gases (ASTM, 2003; Kale *et al.*, 2007).

El sistema que se debe construir para ejecutar el método conforme a las normas anteriormente mencionadas tiene un alto grado de complejidad y requiere de una amplia disponibilidad de espacio en laboratorio. Sin embargo, el presente trabajo propone un método modificado para la determinación de la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en condiciones de compostaje controlado, que consiste en una adaptación de la norma ASTM 5338-98, reduciendo el tamaño de los recipientes para los reactores y la cantidad de material que se agrega dentro de ellos; asimismo, se implementó un sistema de aireación intermitente y un método alternativo para la captura del aire de escape para la medición de emisiones de dióxido de carbono.

Metodología

Se pusieron a prueba tres materiales plásticos comercializados como biodegradables: dos películas distintas y un plato desechable (ver tabla 1), todos de composición química desconocida. De acuerdo con la norma ASTM D5338-98, se debe utilizar celulosa

grado analítico como control positivo. Sin embargo, en el presente estudio, se usó papel filtro de laboratorio con un contenido de celulosa mayor al 95 % y poros entre cinco a ocho micrómetros (Sartorius Stedim Biotech, 2011). La misma norma establece el uso de polietileno virgen como control negativo; pero en este caso se empleó polipropileno, el cual también es un plástico no biodegradable (de Carvalho y Rosa, 2016).

Tabla 1

Materiales plásticos analizados en el experimento

Código	Descripción	Carbono elemental (%)
celulosa	papel filtro	42.80
PP	cuchillo desechable de polipropileno	91.87
plato	plato biodegradable	58.84
película A	película biodegradable	64.58
película B	película biodegradable	74.95

Fuente: adaptado de Eguizábal (2019)

A continuación, se detallan los pasos metodológicos del estudio.

Preparación de las muestras

Todos los materiales fueron cortados en fragmentos menores a cuatro centímetros cuadrados de área, de acuerdo con la norma ASTM D5338-98.

Preparación del compost

Se tomó una muestra en la pila de compost de residuos vegetales de un restaurante, la cual tenía dos meses de proceso. El material fue tamizado con una malla de cinco por cinco milímetros. La humedad del compost se ajustó con agua destilada hasta llegar al 50 % (base seca). El compost preparado fue activado agregando quince gramos del mismo en treinta recipientes de doscientos cincuenta mililitros de vidrio ámbar, los cuales se mantuvieron en baño de María a cincuenta grados centígrados por veinticuatro horas. El sistema fue aireado dos veces durante ese período. Durante todo el experimento, se agregó agua destilada según fuera necesario para mantener la humedad.

El contenido de ceniza del compost fue de 56.56 % en peso (%m/m⁴), el pH⁵ de 7.7 y la relación carbono/nitrógeno fue de 8.

⁴ Esta es una medida de la concentración que se utiliza para medir el peso de soluto por cada cien unidades de peso de una solución.

⁵ Medida que se emplea para calcular el nivel de acidez o alcalinidad de una disolución, haciendo referencia al potencial de hidrógeno.

Preparación de reactores

Posterior a la activación del compost, se agregaron dos gramos de material de prueba a cada recipiente, según el tratamiento asignado. Cinco recipientes contenían el papel filtro, cinco el polipropileno, cinco la película A, cinco la película B, cinco las muestras del plato y cinco solamente compost.

Sistema de biodegradación

El sistema de biodegradación consistió en treinta reactores de vidrio ámbar de doscientos cincuenta mililitros, que corresponden a dos materiales de control y tres de prueba, con cinco repeticiones cada uno; así como cinco que contenían solamente compost. Los reactores se mantuvieron en baño de María a una temperatura constante de cincuenta grados centígrados. La norma establece que la temperatura se debe mantener a cincuenta y ocho grados centígrados; sin embargo, los materiales de prueba presentaron cambios físicos al ser expuestos a dicha temperatura. En casos especiales, la norma permite la modificación de la temperatura (ASTM, 2003).

El sistema de aireación suministraba aire libre de dióxido de carbono a los reactores y era alimentado por una bomba de aire. Primero, el aire pasaba por un recipiente de cuatro litros de vidrio ámbar que contenía una solución de hidróxido de sodio a dos molar⁶, la cual cumplía la función de captura del dióxido de carbono que pudiese contener el aire ambiental. Seguidamente, el aire pasaba a un recipiente de 2.5 litros de vidrio ámbar con agua destilada, a fin de aumentar su humedad. El aire húmedo y libre de dióxido de carbono se distribuía hacia los treinta reactores simultáneamente por medio de un sistema de mangueras. Cada reactor estaba conectado a otro recipiente de vidrio ámbar de doscientos cincuenta mililitros, que funcionaba como deshumidificador del aire de escape, lo cual era necesario para evitar errores en la medición de dióxido de carbono como producto de la humedad del aire. Finalmente, el aire de escape de cada reactor era capturado en una bolsa de muestreo de gases de marca Restek de diez litros.

La aireación se realizó dos veces al día, una a las 10:00 a. m. y otra a las 6:00 p. m. Cada aireación consistió en aproximadamente cinco litros de flujo de aire para cada reactor.

Figura 1

Toma del sistema de biodegradación luego de la segunda aireación diaria



Fuente: tomada de Eguizábal (2019)

Medición de dióxido de carbono

Las mediciones de dióxido de carbono se realizaron mediante el aire capturado en las bolsas de muestreo de gases. Luego de la segunda aireación diaria, cada bolsa fue examinada con un analizador de gases modelo EAGLE II fabricado por RKI Instruments, el cual está equipado con un sensor infrarrojo para dióxido de carbono y un sensor de oxígeno. Al terminar el análisis de gases, las bolsas fueron vaciadas con la ayuda de una bomba de vacío para ser nuevamente conectadas a los reactores. Este procedimiento se realizó diariamente durante todo el experimento.

Cálculo de la biodegradación

El primer paso fue la determinación del volumen de dióxido de carbono (CO₂) en mililitros. Debido a que el análisis de gases se realizó luego de la segunda aireación diaria (cuando las bolsas estaban llenas), es válido asumir que el volumen total de aire dentro de la bolsa era de diez mil mililitros.

El volumen de dióxido de carbono emitido diariamente se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{CO}_2 \text{ ml} = \frac{\text{CO}_2 \% * 10\ 000 \text{ ml}}{100} \quad (1),$$

donde CO₂ ml es el volumen de dióxido de carbono en mililitros, CO₂ % es el porcentaje de dióxido de carbono detectado por el analizador de gases y 10 000 ml es el volumen total del aire en la bolsa de muestreo de gases.

⁶ Medida de concentración que expresa el número de moles disueltos por litro de disolución.

El siguiente paso fue la conversión del volumen de dióxido de carbono a masa. Esto se realizó al multiplicar el volumen de dióxido de carbono por su densidad corregida por presión y temperatura. La corrección de presión se realizó por medio de la siguiente ecuación:

$$P = P_o e^{-\frac{\mu gh}{RT}} \quad (2),$$

donde P es la presión corregida por la altitud, P_o es la presión barométrica al nivel del mar, μ es la masa molar del aire, g es la aceleración de la gravedad, h es la altitud del laboratorio (mil quinientos metros sobre el nivel del mar), R es la constante universal de gases para el aire terrestre y T es la temperatura al momento de la medición de dióxido de carbono.

La densidad del dióxido de carbono fue corregida por medio de la siguiente ecuación:

$$d_1 = d_2 * \frac{P_1 * T_2}{P_2 * T_1} \quad (3),$$

donde d_1 es la densidad corregida por presión y temperatura, d_2 es la densidad del dióxido de carbono en condiciones estándar, P_1 es la presión calculada en la ecuación (2), P_2 es la presión estándar, T_1 es la temperatura al momento de análisis de dióxido de carbono y T_2 es la temperatura estándar.

La masa de dióxido de carbono se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$CO_2 g = \rho CO_2 g/ml * CO_2 ml \quad (4),$$

donde $CO_2 g$ es la masa de dióxido de carbono, ρCO_2 es la densidad del dióxido de carbono calculada con la ecuación (3) y $CO_2 ml$ es el volumen de dióxido de carbono calculado en la ecuación (1).

Para determinar la cantidad teórica de generación de dióxido de carbono, se utilizó el método establecido en la norma ASTM D5338-98, por medio de la siguiente ecuación:

$$YgCO_2 = \frac{XgC * 44gCO_2}{12gC} \quad (5),$$

donde $YgCO_2$ es la cantidad teórica de dióxido de carbono que se produciría si todo el carbono orgánico fuese transformado, XgC es la cantidad de carbono total agregado a los reactores, $44gCO_2$ es el peso molecular del dióxido de carbono y $12gC$ es el peso molecular del carbono.

El porcentaje de biodegradación se estimó como la proporción de dióxido de carbono producida en función de la cantidad teórica calculada con la ecuación (5). De acuerdo con la norma ASTM D5338-98, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%B = \frac{\text{promedio}C_g(\text{material}) * \text{promedio}C_g(\text{compost})}{C_i} * 100 \quad (6),$$

donde $\%B$ es el porcentaje de biodegradación, C_g es la cantidad de dióxido de carbono producido y C_i es la cantidad teórica de producción de dióxido de carbono. El porcentaje de biodegradación se calculó diariamente y fue acumulativo para generar la curva de evolución de dióxido de carbono para cada material.

Tiempo de incubación

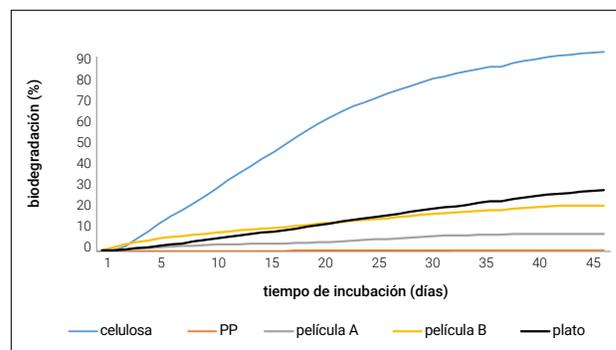
El tiempo de incubación fue de cuarenta y cinco días, de acuerdo con la norma ASTM D5338-98.

Resultados y discusión

El sistema de biodegradación se construyó con base en los principios establecidos en la norma ASTM D5338-98. Se realizaron modificaciones al tamaño de los reactores, así como a la cantidad de compost y material que se agrega a los mismos. De acuerdo con la norma, los reactores deben tener entre dos y cinco litros de capacidad, se deben agregar seiscientos gramos de compost seco y la cantidad de material de prueba es de cien gramos (ASTM, 2003). A pesar de que los reactores utilizados en el presente ensayo fueron de menor tamaño, la cantidad de dióxido de carbono producido fue suficiente para ser detectable.

Figura 2

Evolución del grado de biodegradación promedio de los materiales de prueba en condiciones controladas de compostaje, en función del tiempo



Fuente: adaptado de Eguizábal (2019)

Como control positivo, se utilizó papel filtro de laboratorio, el cual contiene un 95 % de celulosa. Luego de cuarenta y cinco días, alcanzó una biodegradación de 78.25 %. De acuerdo con el estándar, el control positivo debe alcanzar un mínimo de 70 % de biodegradación para que el ensayo sea válido (ASTM, 2003). Los resultados obtenidos son consistentes con los hallazgos de Leejarkpai, Suwanmanee, Rudeekit y

Munghcharoen (2011), Cadar, Paul, Roman, Miclean y Majdik (2012) e Intaraksa *et al.* (2012), quienes utilizaron diferentes versiones de la norma ISO 14855, la cual es homóloga a la norma ASTM D5338-98. En los tres estudios se empleó celulosa microcristalina como control positivo y todos alcanzaron una biodegradación mayor a 70 %.

La figura 2 muestra que durante los primeros dos días, la biodegradación del filtro de papel no fue significativa, debido al período de latencia; sin embargo, a partir del tercer día se registró un aumento. Durante los días 4 a 22 se presentó la tasa de biodegradación más alta, con un promedio de 2.81 % de biodegradación diaria. A partir del día 23 hasta el día 37, la tasa se redujo aproximadamente a la mitad del período inicial, con un promedio de 1.25 % diario. Los últimos ocho días de incubación presentaron nuevamente una reducción en la tasa (aproximadamente de la mitad del período anterior), con un promedio de 0.56 % diario. La tasa de biodegradación del filtro de papel es la más alta debido a que la celulosa es una molécula fácilmente hidrolizable, por lo tanto, el carbono se vuelve disponible rápidamente para los microorganismos en el medio (Leejarkpai *et al.*, 2011).

Se utilizó un cuchillo desechable de polipropileno como control negativo. De acuerdo a la norma, se debe usar polietileno (ASTM, 2003). Luego de cuarenta y cinco días, se obtuvo una biodegradación de 0.18 %. En su estudio, Leejarkpai *et al.* (2012) obtuvieron 0.56 % de biodegradación, luego de noventa días de utilizar polietileno. En ambos casos, el control negativo presentó una biodegradación despreciable. De acuerdo con la figura 2, la biodegradación del polipropileno se mantuvo casi encima del eje de las abscisas y se registró únicamente en los días 18, 19 y 21, con porcentajes del 0.09 %, 0.05 % y 0.05 %, respectivamente. Los datos demuestran que el polipropileno exhibe un comportamiento similar al polietileno como control negativo.

Entre los materiales de prueba, la película A presentó el nivel de biodegradabilidad más bajo (con 6.69 %) y su nivel máximo ocurrió en el día 39. El comportamiento de la biodegradación fue relativamente constante durante los treinta y ocho días que registraron producción de dióxido de carbono, con un promedio diario de 0.18 % entre los días 2 y 39, y 0 % en el resto de los días de incubación. En el caso de la película B, la biodegradación alcanzada fue de 17.61 % y su nivel máximo se obtuvo en el día 41, con un promedio diario de 0.43 % y 0 % durante los últimos cuatro días de incubación. El comportamiento de la biodegradación fue constante durante los cuarenta y un días en los que se registró producción de dióxido de carbono.

El plato obtuvo el nivel de biodegradación más alto, con un 23.81 %. Dicho material tuvo una tasa de biodegradación constante hasta el día 41 (con un promedio diario de 0.55 %). Sin embargo, a partir de los últimos cuatro días, comenzó a disminuir a un promedio de 0.36 % diario.

Para que un plástico concluya satisfactoriamente la prueba de biodegradación mediante el método de evolución de dióxido de carbono, es necesario que alcance un porcentaje mínimo. En el caso de plásticos compuestos por un solo tipo de polímero (homopolímero), el mínimo a alcanzar es del 60 %, pero este porcentaje debe ser del 90 % en copolímeros —una mezcla de polímeros o aditivos de bajo peso molecular— (Kale *et al.*, 2007). En tal sentido, la tasa de biodegradación mínima que deberían presentar los materiales de prueba es del 1.3 % diario en el caso de un homopolímero o 2 % diario para los plásticos combinados. Por lo tanto, ninguno de los materiales probados en este estudio alcanzó el mínimo de biodegradabilidad, ni una tasa aceptable para concluir el ensayo de manera satisfactoria.

Conclusiones

Los resultados obtenidos de la experimentación sugieren que el método modificado para la determinación de la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en condiciones de compostaje controlado es funcional para la evaluación de plásticos biodegradables. La utilización de recipientes de vidrio ámbar de doscientos cincuenta mililitros es válida para crear reactores funcionales. Un sistema de aireación intermitente con dos corridas al día parece ser suficiente para mantener las condiciones aeróbicas dentro de los reactores. La captura del aire diariamente en bolsas de muestreo de gases es una alternativa funcional para determinar la cantidad de dióxido de carbono producido. El papel filtro de laboratorio es un material válido para utilizar como control positivo y el polipropileno es apropiado como control negativo. Ninguno de los materiales de prueba presentó un grado o tasa de biodegradación suficiente para ser considerados biodegradables.

Reconocimientos

Este trabajo fue asesorado y supervisado por el Mgtr. Eduardo Sacayón. Se extiende un agradecimiento y reconocimiento al Departamento de Tecnología del Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología, el cual proporcionó fondos para la ejecución de la experimentación. Asimismo, se agradece a los Mgtr. Luis Núñez y Gamaliel Zambrano, para la elaboración del presente proyecto.

Referencias

- Adamcová, D., Elbl, J., Zloch, J., Vaverková, M. D., Kintl, A., Juříčka, D., Hladký, J. y Brtnický, M. (2017). Study on the (bio)degradation process of bioplastic materials under industrial composting conditions. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 65(3), 791-798. <https://doi.org/10.11118/actaun201765030791>
- Adhikari, D., Mukai, M., Kubota, K., Kai, T. y Kaneko, N. (2016). Degradation of bioplastics in soil and their degradation effects on environmental microorganisms. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 5(1), 23-34. <https://doi.org/10.4236/jacen.2016.51003>
- Ahmed, T., Shahid, M., Azeem, F., Rasul, I., Shah, A. A., Noman, M., Hameed, A., Manzoor, N., Manzoor, I. y Muhammad, S. (2018). Biodegradation of plastics: Current scenario and future prospects for environmental safety. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8), 7287-7298. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1234-9>
- Aldas, M., Paladines, A., Valle, V., Pazmiño, M. y Quiroz, F. (2018). Effect of the prodegradant-additive plastics incorporated on the polyethylene recycling. *International Journal of Polymer Science*, 2018(1), 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/2474176>
- Arias-Villamizar, C. A. y Vázquez-Morillas, A. (2018). Degradation of conventional and oxodegradable high density polyethylene in tropical aqueous and outdoor environments. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 137-147. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.12>
- ASTM. (2003). ASTM D5338-11. Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions, incorporating thermophilic temperatures. En *ASTM International, West Conshohocken* (vol. 98). <https://doi.org/10.1520/D5338-11>
- Babu, R. P., O'Connor, K. y Seeram, R. (2013). Current progress on bio-based polymers and their future trends. *Progress in Biomaterials*, 2(1), 8. <https://link.springer.com/article/10.1186/2194-0517-2-8>
- Briassoulis, D., Mistriotis, A., Mortier, N. y Tosin, M. (2020). A horizontal test method for biodegradation in soil of bio-based and conventional plastics and lubricants. *Journal of Cleaner Production*, 242(1), 118392. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118392>
- Cadar, O., Paul, M., Roman, C., Miclean, M. y Majdik, C. (2012). Biodegradation behaviour of poly(lactic acid) and (lactic acid-ethylene glycol-malonic or succinic acid) copolymers under controlled composting conditions in a laboratory test system. *Polymer Degradation and Stability*, 97(3), 354-357. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.12.006>
- Calabrò, P. S. y Grosso, M. (2018). Bioplastics and waste management. *Waste Management*, 78, 800-801. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.054>
- Chidambarampadmavathy, K., Karthikeyan, O. P. y Heimann, K. (2017). Sustainable bio-plastic production through landfill methane recycling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 555-562. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.083>
- Cristan, A., Ize, I. y Gavilan, A. (2003). La situación de los envases de plástico en México. *Gaceta Ecológica*, (69), 67-82. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906905>
- Dalgaard, J. Z. (2017). On the subject of the environmental problem of plastic pollution of our oceans. *Environmental Risk Assessment and Remediation*, 1(1). <https://www.alliedacademies.org/articles/on-the-subject-of-the-environmental-problem-of-plastic-pollution-of-our-oceans.pdf>
- de Carvalho, C. L. y Rosa, D. S. (2016). Polypropylene biodegradation. En P. Garcia (ed.), *Polypropylene: Properties, uses and benefits*. Nova Science Publishers, Incorporated.
- Eguizábal, M. (2019). *Consumo de carbono de tres productos de plástico biodegradable en condiciones de compostaje* [tesis de licenciatura, Universidad Rafael Landívar]. <http://bibliod.url.edu.gt/Tesis/wevg/2019/06/15/Eguizabal-Marvin.pdf>
- European Bioplastics. (2017). *BIOPLASTICS facts and figures*. European Bioplastics. http://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf
- Funabashi, M., Ninomiya, F. y Kunioka, M. (2009). Biodegradability evaluation of polymers by ISO 14855-2. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(8), 3635-3654. <https://doi.org/10.3390/ijms10083635>
- Gewert, B., Plassmann, M. M. y Macleod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 17(9), 1513-1521. <https://doi.org/10.1039/c5em00207a>

- Geyer, R., Jambeck, J. R. y Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Godswill, A. C. y Godspel, A. C. (2019). Physiological effects of plastic wastes on the endocrine system (bisphenol A, phthalates, bisphenol S, PBDEs, TBBPA). *International Journal of Bioinformatics and Computational Biology*, 4(2), 11-29.
- Gomiero, A., Strafella, P. y Fabi, G. (2019). From macroplastic to microplastic litter: Occurrence, composition, source identification and interaction with aquatic organisms. Experiences from the Adriatic Sea. En A. Gomiero (ed.), *Plastics in the Environment* (pp. 1-20). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.81534>
- Gu, J. (2017). Biodegradability of plastics: The pitfalls. *Applied Environmental Biotechnology*, 2(1), 49-51. <https://doi.org/10.26789/AEB.2017.01.006>
- Harrison, J. P., Boardman, C., O'Callaghan, K., Delort, A. M. y Song, J. (2018). Biodegradability standards for carrier bags and plastic films in aquatic environments: A critical review. *Royal Society Open Science*, 5(5). <https://doi.org/10.1098/rsos.171792>
- Intaraksa, P., Rudeekit, Y., Siriyota, P., Chaiwutthinan, P., Tajan, M. y Leejarkpai, T. (2012). The ultimate biodegradation of the starch based biodegradable plastics. *Advanced Materials Research*, 506, 327-330. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.506.327>
- Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S. E. y Singh, S. P. (2007). Compostability of bioplastic packaging materials: An overview. *Macromolecular Bioscience*, 7(3), 255-277. <https://doi.org/10.1002/mabi.200600168>
- Leejarkpai, T., Suwanmanee, U., Rudeekit, Y. y Mungcharoen, T. (2011). Biodegradable kinetics of plastics under controlled composting conditions. *Waste Management*, 31(6), 1153-1161. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.12.011>
- Li, Q., Feng, Z., Zhang, T., Ma, C. y Shi, H. (2020). Microplastics in the commercial seaweed nori. *Journal of Hazardous Materials*, 388(15), 122060. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122060>
- Lozoya, J. P., Teixeira de Mello, F., Carrizo, D., Weinstein, F., Olivera, Y., Cedrés, F., Pereira, M. y Fossati, M. (2016). Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este (Uruguay): Unseen critical residents? *Environmental Pollution*, 218, 931-941. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.041>
- Muller, J., González-Martínez, C. y Chiralt, A. (2017). Combination of poly(lactic) acid and starch for biodegradable food packaging. *Materials*, 10(8), 952. <https://doi.org/10.3390/ma10080952>
- Plastics Europe y EPRO. (2020). *Plastics – the Facts 2019*. Plastics Europe. <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
- Portillo, F., Yashchuk, O. y Hermida, É. (2016). Evaluation of the rate of abiotic and biotic degradation of oxo-degradable polyethylene. *Polymer Testing*, 53, 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.04.022>
- Ross, G., Ross, S. y Tighe, B. J. (2017). Bioplastics: New routes, new products. En *Brydson's Plastics Materials* (8.ª edición, pp. 631-652). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35824-8.00023-2>
- Ruggero, F., Gori, R. y Lubello, C. (2019). Methodologies to assess biodegradation of bioplastics during aerobic composting and anaerobic digestion: A review. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 37(10), 959-975. <https://doi.org/10.1177/0734242X19854127>
- Rujnić-Sokele, M. y Pilipović, A. (2017). Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 35(2), 132-140. <https://doi.org/10.1177/0734242X16683272>
- Sartorius Stedim Biotech. (2011). *Filter Papers for the Laboratory and Industry*. <https://www.sartorius.com/resource/blob/444508/ff21a5f8bc5a7a735bb97c25f480c843/broch-filter-papers-sl-1537-e-data.pdf>
- Soares, A. S., Pinheiro, C., Oliveira, U. y Vieira, M. N. (2020). Microplastic pollution in Portuguese saltworks. En A. Devlin (ed.), *Inland Waters. Dynamics and ecology* (pp. 1-15). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91476>
- Steinbichel, A. y Steinbüchel, A. (1992). Biodegradable plastics. *Current Opinion in Biotechnology*, 3(3), 291-297. [https://doi.org/10.1016/0958-1669\(92\)90107-T](https://doi.org/10.1016/0958-1669(92)90107-T)
- Thomas, N. L., Clarke, J., McLaughlin, A. R. y Patrick, S. G. (2012). Oxodegradable plastics: Degradation, environmental impact and recycling. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management*, 165(3), 133-140. <https://doi.org/10.1680/warm.11.00014>

- Vaverková, M. y Adamcová, D. (2015). Biodegradability of bioplastic materials in a controlled composting environment. *Journal of Ecological Engineering*, 16(3), 155-160. <https://doi.org/10.12911/22998993/2949>
- Vaverková, M., Toman, F., Adamcová, D. y Kotovicová, J. (2012). Study of the biodegradability of degradable/biodegradable plastic material in a controlled composting environment. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 19(3), 347-358. <https://doi.org/10.2478/v10216-011-0025-8>
- Wahyuningtiyas, N. E. y Suryanto, H. (2017). Analysis of biodegradation of bioplastics made of cassava starch. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 1(1), 40-53. <http://journal2.um.ac.id/index.php/jmest/article/view/1207>
- Westphalen, H. y Abdelrasoul, A. (2018). Challenges and treatment of microplastics in water. En M. Glavan (ed.), *Water Challenges of an Urbanizing World* (pp. 71-83). InTech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71494>

Vulnerabilidad social multidimensional en Guatemala: un análisis municipal basado en el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018

Multidimensional social vulnerability in Guatemala: A municipality-based analysis derived from the National Census 2018

Michelle Tercero¹, Juan Carlos Rosito², Edson Hernández³, Ana Cecilia Zurita⁴ y Pedro Pineda⁵

Resumen

Guatemala mantiene altos índices de pobreza y desigualdad en diferentes ámbitos como la educación, la salud y el ingreso económico. La falta de oportunidades y acceso a recursos vuelven a la población frágil y vulnerable ante eventos cotidianos y extraordinarios, como inundaciones, sequías o un aumento del desempleo, como el generado por la pandemia de la COVID-19. Detectar a las poblaciones más vulnerables permite generar intervenciones que disminuyan los impactos negativos de eventos adversos.

El presente estudio tuvo como objetivo clasificar a los municipios del país en una escala de vulnerabilidad social multidimensional, así como definir en qué ámbito es más vulnerable la población guatemalteca en términos de demografía, salud, empleo, vivienda, acceso a servicios o equipamiento. La metodología integró el marco conceptual de vulnerabilidad social y el enfoque metodológico del índice de pobreza multidimensional (IPM). El estudio generó un indicador de vulnerabilidad multidimensional y varios indicadores de vulnerabilidad por ámbito, los cuales se presentan en forma de mapas. Los resultados indican que el 41 % de la población del país vive en municipios con índices de vulnerabilidad altos o muy altos, el 26 % en municipios de vulnerabilidad media y el 33 % en municipios de vulnerabilidad baja o muy baja. Los municipios con mayor vulnerabilidad mostraron tener una mayoría de habitantes rurales y los de menor vulnerabilidad mostraron ser casi completamente urbanos. Los ámbitos en los que se detectó mayor vulnerabilidad entre la población fueron los de educación, servicios básicos y equipamiento.

Palabras clave: vulnerabilidad social, pobreza, privaciones, mapa de pobreza, Centroamérica

Abstract

Guatemala has persistently high rates of poverty and inequalities in areas such as health, education and income, among others. The lack of opportunities and access to resources make its population fragile and vulnerable to both everyday and extraordinary events such as floods, droughts or an increase in unemployment, such as the one generated by the COVID-19 pandemic. The identification of the most vulnerable populations enables the creation of interventions to reduce the negative impacts of adverse events.

The purpose of this study was to classify the country's municipalities on a multidimensional scale of social vulnerability, as well as to define their most vulnerable areas in terms of demographics, health, employment, housing, access to services or equipment. The methodology integrated the social-vulnerability conceptual framework and the methodological approach of the Multidimensional Poverty Index (MPI). Based on the study, a multidimensional vulnerability index was created, as well as some vulnerability indicators by area, which are presented as maps. According to these results, 41 % of the country's population lives in municipalities with high or very high vulnerability rates, 26 % in municipalities with medium-vulnerability and 33 % in municipalities with low or very low vulnerability. The municipalities with the greater vulnerability were composed mostly by rural inhabitants, whereas the less vulnerable municipalities are almost entirely urban. The population showed more vulnerability in areas such as education, basic services and equipment.

Keywords: social vulnerability, poverty, deprivation, poverty map, Central America

¹ Investigadora del Departamento de Tecnología del Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna) de la Universidad Rafael Landívar (URL).

² Investigador del Departamento de Tecnología del Iarna.

³ Coordinador del Departamento de Tecnología del Iarna.

⁴ Investigadora asociada de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la URL.

⁵ Coordinador del Departamento de Ciencias Ambientales del Iarna.

Desde comienzos del presente siglo, la vulnerabilidad de la población se constituyó en un atributo dominante en la región latinoamericana. La implementación de políticas públicas insostenibles, la globalización, el libre comercio, así como el incumplimiento de las funciones del Estado que garanticen la vida digna a todas y todos los ciudadanos han provocado un cambio de envergadura en las relaciones socioeconómicas de la población y en las instituciones, dejando a amplias capas de población de ingresos medios y bajos expuestas a la inseguridad (Pizarro, 2001).

Bajo este contexto relativamente desfavorable, a partir del primer trimestre del 2020 se generó una crisis económica y social derivada de la pandemia por la COVID-19. Dicho evento no tiene precedentes recientes y probablemente propicie los efectos más disruptivos desde la Gran Depresión (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal] y Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2020). En Guatemala, se estima que este evento representó una caída de 3.5 puntos en el crecimiento del PIB en el 2020 (Banco Mundial, 2021) y exacerbó la alta vulnerabilidad social (Cepal y OPS, 2020), así como en otros países de Latinoamérica, que también cuentan con grandes desafíos estructurales de pobreza, una profunda desigualdad en diferentes dimensiones y debilidad en los sistemas de protección social y de salud. Consecuentemente, se requiere que los gobiernos y la sociedad identifiquen e implementen medidas que atiendan adecuadamente a aquellas personas o comunidades con mayor vulnerabilidad social (Cepal, 2020).

El concepto de vulnerabilidad se ha constituido en una poderosa herramienta analítica para describir estados de susceptibilidad al daño e impotencia de los sistemas físicos y sociales, y para orientar políticas y acciones que permitan la reducción del riesgo a desastres (Adger, 2006). Para que una población sufra un impacto negativo, deben combinarse tres factores: un evento adverso, la incapacidad de hacer frente a tal evento y la inhabilidad para adaptarse a la nueva realidad. Las dos últimas señalan la vulnerabilidad de una población, o sea, la condición interna afectada por una amenaza. La identificación de poblaciones vulnerables permite delimitar a los grupos con más probabilidades de ser afectados por eventos nocivos. Cuando existe una población vulnerable y una o varias amenazas, se crea el riesgo, definido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) como «el grado de pérdida previsto, debido a un fenómeno natural determinado y en función tanto del peligro natural como de la vulnerabilidad» (Foschiatti, 2004, p. 5).

Según Foschiatti (2004), la vulnerabilidad está vinculada a las dimensiones económica, de hábitat y de capital humano, por lo que la pobreza forma parte de sus componentes; a su vez, es mayor en los hogares pobres, ya que poseen menor capacidad para prevenir y enfrentar las amenazas. La pobreza puede entenderse y medirse de diversas formas (Sen, 1992): las metodologías van desde la capacidad de consumo —como la línea de pobreza—, hasta otras más complejas, como la pobreza multidimensional —que identifica carencias en los ámbitos de salud, educación y nivel de vida—, o el índice de necesidades básicas insatisfechas (NBI) —que integra los ámbitos de vivienda, servicios básicos, educación básica y capacidad económica— (Pérez, 2020).

Así como las diferentes formas de medir la pobreza aportan datos relevantes para conocer la realidad, la vulnerabilidad social permite acceder a la realidad cuantificando otros indicadores. La vulnerabilidad social tiene por objeto de estudio el sistema social y está determinada por los contextos sociales, tanto por factores individuales como colectivos. Sus causas subyacentes son los procesos económicos, demográficos y políticos que afectan la asignación y distribución de los recursos entre los diferentes grupos sociales y que reflejan las relaciones de poder que se generan entre ellos (Golovanevsky, 2007).

El índice de pobreza multidimensional (IPM) en Guatemala, formulado por el Ministerio de Desarrollo Social e Iniciativa sobre la Pobreza y Desarrollo Humano de Oxford (Rosales, Lemus, García, Carbajal y Pinilla, 2018), utiliza los datos más recientes de la *Encuesta Nacional de Vivienda* del 2014, que son a nivel nacional (con una distinción entre población urbana y rural), sin comparar municipios entre sí. Según dicha encuesta, el 61.6 % de la población guatemalteca vive en condiciones de pobreza multidimensional; además, estas personas están privadas de casi la mitad de los diecisiete indicadores analizados (Rosales, Lemus, García, Carbajal y Pinilla, 2018).

A pesar de que es posible encontrar algunos artículos relativos al tema de vulnerabilidad en Guatemala, estos se abordan desde el punto de vista de amenazas específicas, como la sísmica (Monzón-Despang, 1996) o la alimentaria (Guardiola, González y Vivero, 2006). No existe una evaluación sobre la vulnerabilidad social multidimensional a escala municipal en el país. Por esa razón, el presente estudio desarrolla un ejercicio de clasificación y jerarquización de los municipios del país, con el fin de contribuir a la caracterización y territorialización de la población con mayor vulnerabilidad social en Guatemala, identificando

a las personas más propensas ante amenazas económicas, sociales y/o naturales que comprometen el desarrollo humano presente y futuro. Para ello, se integró el marco conceptual de vulnerabilidad social local y el enfoque metodológico del IPM, haciendo uso de la información y datos oficiales más recientes y confiables respecto de hogares, incluidos en el *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018*.

Marco conceptual

Vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad ha evolucionado a lo largo del tiempo y hoy va más allá de ser una medida de exposición al riesgo a desastres o enlazado al concepto de pobreza, que se utiliza para comprender los procesos e impactos del subdesarrollo. Desde una concepción más amplia, la vulnerabilidad se ha considerado más apropiada para la formulación de políticas públicas (Bankoff, Frerks y Hilhorst, 2004). Según Foschiatti (2004), la vulnerabilidad se genera a partir de fenómenos como la inestabilidad económica, la fragmentación social y la incapacidad de la población de defenderse ante las amenazas; es una noción que indaga acerca de las causas que llevan a la pobreza según los activos y recursos que los hogares disponen para su desempeño social. Asimismo, la vulnerabilidad está vinculada a las dimensiones

económica, de hábitat y de capital humano. En este sentido, se entiende que no todas las personas en estado de pobreza son vulnerables a los desastres y tampoco todas las personas son vulnerables de la misma manera.

Existe una amplia gama de metodologías e indicadores que se han utilizado para medir la vulnerabilidad social, algunas de estas se presentan en la tabla 1.

La vulnerabilidad social puede estudiarse según las siguientes dimensiones: composición y dinámicas familiares, hábitat, capital humano (salud y educación), trabajo, protección social y capital social (Golovanevsky, 2007). Es un fenómeno complejo y multifactorial, ya que un sistema no vive o sufre una sola vulnerabilidad, sino que existen en este diferentes factores que, al converger, pueden generar desastres aumentados (Anand y Sen, 1997).

Índice de pobreza multidimensional (IPM)

La pobreza suele ser parte importante de la vulnerabilidad de un sistema socioambiental. Según las características de la vulnerabilidad social, la aplicación del enfoque de análisis y medición de la pobreza multidimensional es útil, ya que ofrece una mirada de las personas y hogares bajo diferentes factores de riesgo. La pobreza multidimensional es una condición que trasciende el ingreso, abarcando

Tabla 1

Ejemplos de metodologías e indicadores para la medición de la vulnerabilidad social

Nombre	Descripción	Fuente
vulnerabilidad a la línea de pobreza (LP)	Se calcula que existe entre un 10 % y 30 % de hogares medidos por arriba de la LP, que son vulnerables a caer debajo de la misma.	Pritchett <i>et al.</i> (1999), como se citó en Golovanevsky (2007)
suma ponderada de indicadores del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)	Se compone de cinco dimensiones: el analfabetismo de la población adulta, la desnutrición de la niñez, la pobreza de consumo en los hogares, el riesgo de mortalidad en menores de un año y la presencia de comunidades étnicas rurales. Este índice fue creado para identificar territorialmente a la población más vulnerable y poder crear políticas de protección social.	Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador (SIISE) (2002), como se citó en Golovanevsky (2007)
marco de vulnerabilidad de activos	Incluye indicadores de trabajo, capital humano (salud y educación), activos (vivienda), relaciones del hogar (mecanismos para unir ingresos y compartir gastos) y capital social (reciprocidad entre comunidades según lazos sociales de confianza).	Moser (1998)
enfoque AVEO (activos, vulnerabilidad y estructura de oportunidades)	Muestra el desajuste entre los activos y la estructura de oportunidades en tres ámbitos: mercado, Estado y comunidad.	Filgueira (1999, 2001) y Katzman <i>et al.</i> (1999), como se citó en Golovanevsky (2007)

Fuente: elaboración propia

múltiples dimensiones del desarrollo, como la educación, la vivienda, el entorno comunitario y el acceso a servicios básicos. La generación del IPM permite considerar esas múltiples aristas del desarrollo humano, teniendo en cuenta las privaciones en distintas dimensiones que afectan aquello que las personas pueden ser y hacer con su vida (Barraza, Barrientos, Díaz, Pleitez y Víctor, 2020).

El IPM en Guatemala se compone de cinco dimensiones: salud y seguridad alimentaria y nutricional, educación, empleo digno, acceso a servicios y vivienda. Este enfoque permite identificar sectores de la población que pueden ser más susceptibles a las pérdidas económicas (Rosales *et al.*, 2018).

La construcción de indicadores para la medición de la vulnerabilidad social

No existe un marco universalmente aceptado de indicadores para la medición de la vulnerabilidad social, sino que este se construye más bien a partir de la información disponible que permite identificar a la población más susceptible a verse afectada y a no poder recuperarse ante una amenaza: «la vulnerabilidad es compleja, multicausal, tiene varias dimensiones analíticas [...], un enfoque polisémico y da lugar a múltiples enfoques metodológicos» (Busso, 2002, como se citó en Golovanevsky, 2007, p. 56).

Represa, Porta y Sánchez (2018) crearon un índice de vulnerabilidad social a partir de indicadores del *Censo Nacional de Vivienda y Hogares de Argentina* del 2010. Tras realizar una revisión bibliográfica y definir las categorías de análisis, dichos autores elaboraron diecinueve indicadores utilizando proporciones relativas, con el fin de evitar que las áreas con mayor población fueran siempre las más vulnerables. Para la selección de indicadores, los autores consideraron múltiples factores, expuestos a continuación.

- Acceso limitado a recursos económicos: la pobreza aumenta la vulnerabilidad social y, a su vez, incide en las capacidades de los colectivos sociales para acceder a las tecnologías de comunicación.
- Acceso limitado a las políticas públicas y a la representación política: esto se hace notable en la ausencia de servicios como la educación, agua potable, salud y servicios sanitarios. La falta de representación política en los espacios de decisión gubernamental mantiene una correlación con la vulnerabilidad de la población.

- Mala calidad de infraestructuras edilicias: los materiales de construcción precarios y el hacinamiento son factores que inciden en la salud de la población.
- Características sociodemográficas: las personas de la tercera edad, niños y niñas requieren de un cuidado que incrementa la vulnerabilidad del grupo social al que pertenecen, así como las identidades sociales minoritarias que están expuestas a la marginalidad social y económica. La violencia de género y el acceso desigual a recursos generan una mayor vulnerabilidad en Latinoamérica.

Metodología

La metodología seleccionada permite utilizar los datos más recientes recabados en el país para medir una vulnerabilidad multicausal y, a través de la agrupación y categorización de indicadores, estimarla ante eventos específicos: crisis económicas, eventos climáticos, crisis sanitarias, entre otros. Se utilizaron los datos del *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018* de Guatemala; sin embargo, una de las limitaciones de la base de datos seleccionada fue la carencia de información detallada sobre oportunidades, instituciones y relaciones sociales; datos que pueden inferirse a partir de algunos indicadores de este censo que se mencionarán más adelante.

Las nueve fases metodológicas del presente estudio se describen a continuación.

Fase I. Selección de indicadores

Se tomaron como referencia los indicadores elaborados por Represa *et al.* (2018) y, a partir de ellos, se identificaron aquellos disponibles en el *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018* de Guatemala (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2019) y que mostraran vulnerabilidad. Se tomó en cuenta cómo estaban organizados en ámbitos y la clasificación de las variables dentro de cada uno, según si correspondían a una población vulnerable o no (tabla 2).

Para la ponderación de indicadores,⁶ se seleccionó como referente la línea base del proyecto *Construyendo redes de investigación-acción para el desarrollo territorial y la adaptación al cambio climático en Guatemala (2020)*, ejecutado por el Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna) de la Universidad Rafael Landívar, con el apoyo financiero de la Agencia Sueca de Desarrollo

⁶ La ponderación de los indicadores es pertinente para identificar a la población más susceptible a las amenazas económicas, sanitarias y climáticas, ya que permite dar más peso a las características que revelan mayor vulnerabilidad.

Internacional (ASDI). Dicho estudio utilizó el IPM como base para analizar y ponderar once indicadores agrupados en cuatro ámbitos (tabla 3). Por otra parte, dado que el *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018* de Guatemala (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2019) recaba información directa acerca de los ingresos económicos de las personas,

el estudio propone utilizar la pregunta PCP26 de dicho censo (persona que ha utilizado celular durante los últimos tres meses), para medir la capacidad de ingreso. Asimismo, el estudio validó la importancia del análisis de materiales de construcción de la vivienda, nivel de escolaridad, servicios básicos y hacinamiento como indicadores para evaluar la vulnerabilidad.

Tabla 2

Indicadores construidos para evaluar la vulnerabilidad social según Represa et al. (2018)

Indicador	Descripción
régimen de propiedad de la vivienda y el terreno	ocupación por préstamo, trabajo u otra situación temporal
dependencia de jóvenes	proporción de la población menor a 14 respecto a la población de 15-64 años
dependencia de adultos mayores	proporción de la población mayor a 65 respecto a la población de 15-64 años
analfabetismo	proporción de la población mayor a 14 años que no lee ni escribe
desocupación	proporción de la población desocupada sobre la población activa
necesidades básicas insatisfechas	proporción de la población con alguna necesidad básica insatisfecha
calidad de los materiales	proporción de viviendas con materiales precarios
carencia de teléfono en la vivienda	proporción de viviendas sin teléfono
carencia de heladera (refrigerador) en la vivienda	proporción de viviendas sin heladera (refrigerador)
provisión de agua potable	proporción de viviendas con agua fuera de la vivienda o del terreno
combustible utilizado para cocinar en la vivienda	proporción de viviendas que utilizan leña, carbón u otro combustible alternativo para cocinar
tipo de desagüe del baño de la vivienda	proporción de viviendas sin desagüe a red pública, a cámara séptica o pozo ciego
carencia del baño de la vivienda	proporción de vivienda sin baño interno
vivienda compartida	proporción de viviendas con dos o más hogares en la misma vivienda

Fuente: adaptada de Represa *et al.* (2018)

Tabla 3

Indicadores de aproximación de los ámbitos del índice de pobreza multidimensional y la ponderación asignada a cada uno según la línea base del proyecto del Iarna (2020)

Ámbito	Indicadores	Ponderación	Descripción
salud	nutrición	20	Se mide si la familia tuvo o no suficiente comida y si el tipo de alimentos era nutritivo.
	mortalidad infantil	10	Si la pareja tiene o no hijos que han muerto antes de 1 año de edad.
educación	años de escolaridad	5	Mide si el promedio de los años de escolaridad de los miembros del hogar es de 18 o más.
	asistencia a la escuela	15	Mide si el hogar tiene niños en edad escolar (7 a 12 años) y todos asisten a la escuela.

Continúa

Ámbito	Indicadores	Ponderación	Descripción
calidad de vida	combustible para cocinar	5	Si el hogar utiliza estufa eléctrica o de gas para cocinar sus alimentos, obtendrá la nota máxima; si utiliza algún otro combustible, obtendrá cero puntos.
	saneamiento	4	Si el hogar tiene inodoro conectado a red de drenaje, fosa séptica o excusado lavable, obtendrá la nota máxima; si no tiene ninguno de estos tres, obtendrá cero puntos.
	agua	5	Si el hogar recibe agua entubada adentro de su propiedad y si ya llega tratada para beber, obtiene la nota máxima; si solo recibe el agua entubada adentro de su propiedad, pero no está tratada para beber, obtiene cuatro puntos; si el agua que utiliza es recolectada de la lluvia, obtiene tres puntos; y si la obtiene de cualquiera otra forma, obtiene cero puntos.
	electricidad	4	Si el hogar tiene acceso a electricidad de cualquiera de las siguientes fuentes: red eléctrica, paneles solares, planta eléctrica o aerogenerador, obtiene la nota máxima; si no tiene acceso a electricidad de ninguno de estos tipos, obtiene cero puntos.
	vivienda	4	Las características para una nota máxima son: <ul style="list-style-type: none"> • material de piso: que sea de torta de cemento, ladrillo de cemento, ladrillo de arcilla, granito o cerámico; • material de paredes: que sean de ladrillo o de <i>block</i>; • material de techo: que sea de concreto, teja o fibrocemento (duralita).
ingreso	activos	3	Si se tiene posesión de título de propiedad del terreno que ocupa la casa, obtiene la nota máxima; si no tiene, obtiene cero puntos.
	capacidad de ingreso	30	Capacidad de ingreso medido según cantidad de miembros del hogar, cuartos disponibles en el hogar, tipo de servicio sanitario, tipo de energía para cocinar, si posee o no refrigerador, ⁷ licuadora, plancha eléctrica, celular, televisor con cable, bicicleta o automóvil.
total	100		

Fuente: adaptada de Iarna (2020)

En un primer paso, se analizó la base de datos del censo. Se utilizó la escala municipal, ya que permite identificar límites estables en el tiempo y comparar la evolución, al disponer de nuevos censos de vivienda y población. Asimismo, permite identificar potenciales carencias de ciertas administraciones que podrían ser susceptibles a recibir apoyo de sectores gubernamentales y no gubernamentales. Se ubicaron las preguntas que correspondían a los indicadores encontrados en la bibliografía revisada. Posteriormente, se definió otra información que

podría ser proporcionada por el censo para evaluar la vulnerabilidad de la población con al menos una dificultad físico-cognitiva y la población en búsqueda de empleo, cesante o aspirante.

Se seleccionaron quince cuadros del censo que permitieron identificar a la población vulnerable. Luego, se determinaron cuáles variables de cada cuadro correspondían a una población más vulnerable y cuáles a la menos vulnerable. Posteriormente, los indicadores⁸ fueron agrupados en seis ámbitos.

⁷ García (2020) analiza diferentes variables del XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018 para determinar privaciones. Tras un análisis de regresión logística, logra resaltar la importancia de la tenencia de un refrigerador, mostrando la relación de esta con mejores condiciones de vida, educación y cuidado personal. Según este autor, los grupos mayas y xinka tienden a carecer de este tipo de electrodoméstico.

⁸ Es importante notar algunas limitantes de los indicadores utilizados. Por ejemplo, el servicio básico de acceso al agua no cuenta con información acerca de la calidad de este recurso. El ámbito de vivienda no considera, por ejemplo, el indicador de riesgo por ubicación de las viviendas en una pendiente o por su cercanía a un cuerpo de agua, lo cual podría representar riesgos por deslave o inundación. El ámbito de empleo no considera al sector de empleo informal o al subempleo, por lo que no toda la población que dice estar empleada escapa de ser vulnerable en el aspecto económico. Estos datos, por lo general, no forman parte de los datos recolectados por los censos nacionales y no están disponibles a escala nacional para el mismo año, por lo que no fueron considerados en el presente estudio.

- (1) Características sociodemográficas: la edad y las capacidades físico-cognitivas condicionan el acceso a empleo de las y los habitantes y generan, por lo general, la necesidad de cuidados de otras personas, haciendo al grupo familiar más vulnerable. Por otra parte, la Cepal (2012) afirma que la exclusión estructural afecta más fuertemente a las mujeres indígenas y afrodescendientes. En un estudio reciente, la etnia⁹ demostró ser un factor que condiciona el acceso a equipamiento, por lo que este indicador también fue considerado bajo el ámbito sociodemográfico (García, 2020).
- (2) Privación de educación: la privación del acceso a una educación adecuada limita las oportunidades laborales futuras de las y los habitantes de una población; además, es un factor ligado a las decisiones nutricionales y reproductivas de las familias, que pueden incrementar la vulnerabilidad del núcleo familiar. En este caso, se consideró el acceso a la educación formal.
- (3) Privación de empleo: el acceso a empleo es una variable que puede indicar pobreza y se constituye en un indicador de vulnerabilidad. Dicha variable es considerada por múltiples índices de pobreza, como el de pobreza multidimensional (Alkire y Foster, 2011).
- (4) Privación de vivienda: la tenencia de vivienda y su calidad representan vulnerabilidad, ya que este factor puede influir en que sus habitantes sean más propensos a enfermedades y se expongan ante eventos naturales. El hacinamiento también constituye una privación de un lugar seguro y digno para vivir. No hay un estándar aceptado universalmente para evaluarlo, sin embargo, este debe medirse según los niveles apropiados de densidad habitacional y la privacidad que proporciona la vivienda (Villatoro, 2017). Para el presente estudio, se seleccionó un indicador complementario de hacinamiento, que intenta medir una aproximación al espacio en la vivienda que consiste en contar o no con un cuarto exclusivo para cocinar. Esto, debido a que lo que se busca es poder contar efectivamente los cuartos disponibles, empleados adecuadamente y de uso exclusivo, así como referenciarlos con base en el hogar o la vivienda.
- (5) Acceso a servicios básicos: se consideran como servicios básicos el acceso seguro a agua, energía y servicios sanitarios. La medición de pobreza mediante las necesidades básicas insatisfechas considera el acceso a estos entre sus cuatro categorías de variables (Feres y Mancero, 2001).
- (6) Privación de equipamiento: dado que el censo no cuenta con datos sobre ingresos, se utilizó el acceso a equipamiento como un indicador de la capacidad adquisitiva del hogar.

La tabla 4 muestra los ámbitos de estudio, sus indicadores y la clasificación de las variables que determinan la población vulnerable y menos vulnerable. Los cuadros del *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018* a partir de los cuales fueron extraídos los datos se muestran en el apéndice 1.

Tabla 4

Ámbitos e indicadores seleccionados del XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018 de Guatemala para medir la vulnerabilidad social multidimensional y su ponderación

Ámbito	Indicador	Variables de población vulnerable	Variables de población menos vulnerable
(A) características sociodemográficas	(A.1) población menor a 14 años	• < 14 años	• entre 15 y 59 años: población en edad de generar ingresos
	(A.2) población mayor a 60 años	• > 60 años	
	(A.3) población con alguna dificultad	• población con al menos una dificultad físico-cognitiva	• población sin dificultades físico-cognitivas
	(A.4) etnia	• idiomas mayas, garífuna, xinka y otro	• español e inglés

Continúa

⁹ En el contexto de la modernidad, un análisis del PNUD (2005) indica que la etnicidad suele constituir un referente de los conflictos sobre la distribución de los recursos. Este factor ha sido utilizado por ideologías racistas para excluir a ciertos grupos sobre la base del color, la cultura o estereotipos físicos, lo cual ha desencadenado movimientos forzados de poblaciones enteras y genocidios, entre otros. Es por ello que, considerando que las etnias no ladinas tienden a sufrir discriminación en diferentes ámbitos de la sociedad, se consideró el factor étnico como parte de la vulnerabilidad.

Ámbito	Indicador	VARIABLES DE POBLACIÓN VULNERABLE	VARIABLES DE POBLACIÓN MENOS VULNERABLE
(B) privación de educación	(B.1) población por grado máximo de educación alcanzado	<ul style="list-style-type: none"> no estudió no terminó la primaria únicamente completó la primaria comenzó o completó el nivel medio 	<ul style="list-style-type: none"> con licenciatura con maestría con doctorado
	(B.2) población que no asiste a un centro educativo	<ul style="list-style-type: none"> falta de dinero debe trabajar no hay centros educativos los padres no lo permiten quehaceres del hogar no les gusta 	<ul style="list-style-type: none"> ya terminó sus estudios otra causa no declara
	(B.3) población analfabeta	<ul style="list-style-type: none"> personas analfabetas 	<ul style="list-style-type: none"> personas alfabetas
(C) privación de empleo	(C.1) tasa de desempleo	<ul style="list-style-type: none"> cesante y aspirante 	<ul style="list-style-type: none"> ocupada
	(C.2) población económicamente activa	<ul style="list-style-type: none"> población económicamente inactiva (PEI) 	<ul style="list-style-type: none"> población económicamente activa (PEA)
(D) privación de vivienda	(D.1) materiales del piso	<ul style="list-style-type: none"> tierra 	<ul style="list-style-type: none"> ladrillo cerámico ladrillo de cemento ladrillo de barro torta de cemento parqué o vinil madera otro
	(D.2) material de la pared	<ul style="list-style-type: none"> lámina metálica bajareque lepa, palo, caña material de desecho otro ignorado 	<ul style="list-style-type: none"> ladrillo block concreto adobe madera
	(D.3) material del techo	<ul style="list-style-type: none"> paja, palma material de desecho otro ignorado lámina metálica 	<ul style="list-style-type: none"> concreto asbesto o cemento teja
	(D.4) hacinamiento	<ul style="list-style-type: none"> no cuenta con un cuarto exclusivo para cocinar 	<ul style="list-style-type: none"> sí cuenta con un cuarto exclusivo para cocinar
	(D.5) tenencia de vivienda	<ul style="list-style-type: none"> alquila prestada propiedad comunal otra 	<ul style="list-style-type: none"> propia

Continúa

Continuación tabla 4

Ámbito	Indicador	VARIABLES DE POBLACIÓN VULNERABLE	VARIABLES DE POBLACIÓN MENOS VULNERABLE
(E) acceso a servicios básicos	(E.1) acceso al agua	tubería fuera de la vivienda chorro público agua de lluvia río o lago manantial o nacimiento camión o tonel otro	tubería dentro de la vivienda pozo perforado
	(E.2) acceso al alumbrado	gas corriente candela otro	red eléctrica panel solar/eólico
	(E.3) acceso a energía segura para cocinar	leña carbón otra gas corriente no cocina	gas propano electricidad
	(E.4) acceso a servicio sanitario	conectado a fosa excusado lavable letrina o pozo no tiene	inodoro conectado a red de drenajes
(F) privación de equipamiento	(F.1) acceso a refrigerador	no tiene refrigerador	tiene refrigerador
	(F.2) acceso a celular	no usa celular	usa celular

Fuente: elaboración propia con base en INE (2019)

Fase II. Exploración de datos

La exploración de datos se realizó por medio de un análisis geográfico y uno numérico, desplegados en tablas de datos.

Fase III. Tabulación y análisis de datos

Se tabularon los datos en hojas de cálculo para poder agrupar las variables de cada indicador que reflejaban vulnerabilidad (ver columna 3, tabla 4) y, a partir de esto, se calculó el porcentaje de población vulnerable por municipio para cada indicador.

Al contar con veinte indicadores, cada uno con un valor máximo de 1 (porcentaje de población vulnerable), la suma más alta de indicadores podría cobrar un valor de veinte puntos. De esa forma, los municipios que más se acercaran a los veinte puntos serían los más vulnerables, y los que menos puntos obtuvieran, revelarían un menor porcentaje de población vulnerable y podrían considerarse menos vulnerables.

Fase IV. Ponderación de los indicadores seleccionados para cada ámbito

Siguiendo la metodología Alkire-Foster (Alkire, s. f.), tras definir los ámbitos y los indicadores, se ponderó cada ámbito y cada indicador, de tal manera que la suma de estos fuera de cien puntos. Se tomó como referente el estudio del Iarna (2020), mostrado en la tabla 3; sin embargo, en este caso, se dio relevancia a la privación de servicios básicos (agua, energía eléctrica y servicio sanitario) con una ponderación total de treinta puntos, sabiendo que la carencia de cualquiera de estos atenta contra la salud y supervivencia de las personas.

Por otra parte, la Declaración de Incheon (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura *et al.*, 2015) destaca que «la educación de calidad propicia el desarrollo de las competencias, los valores y las actitudes que permiten a los ciudadanos llevar vidas saludables y plenas» (p. 2), por lo que se consideró que este ámbito aporta información acerca

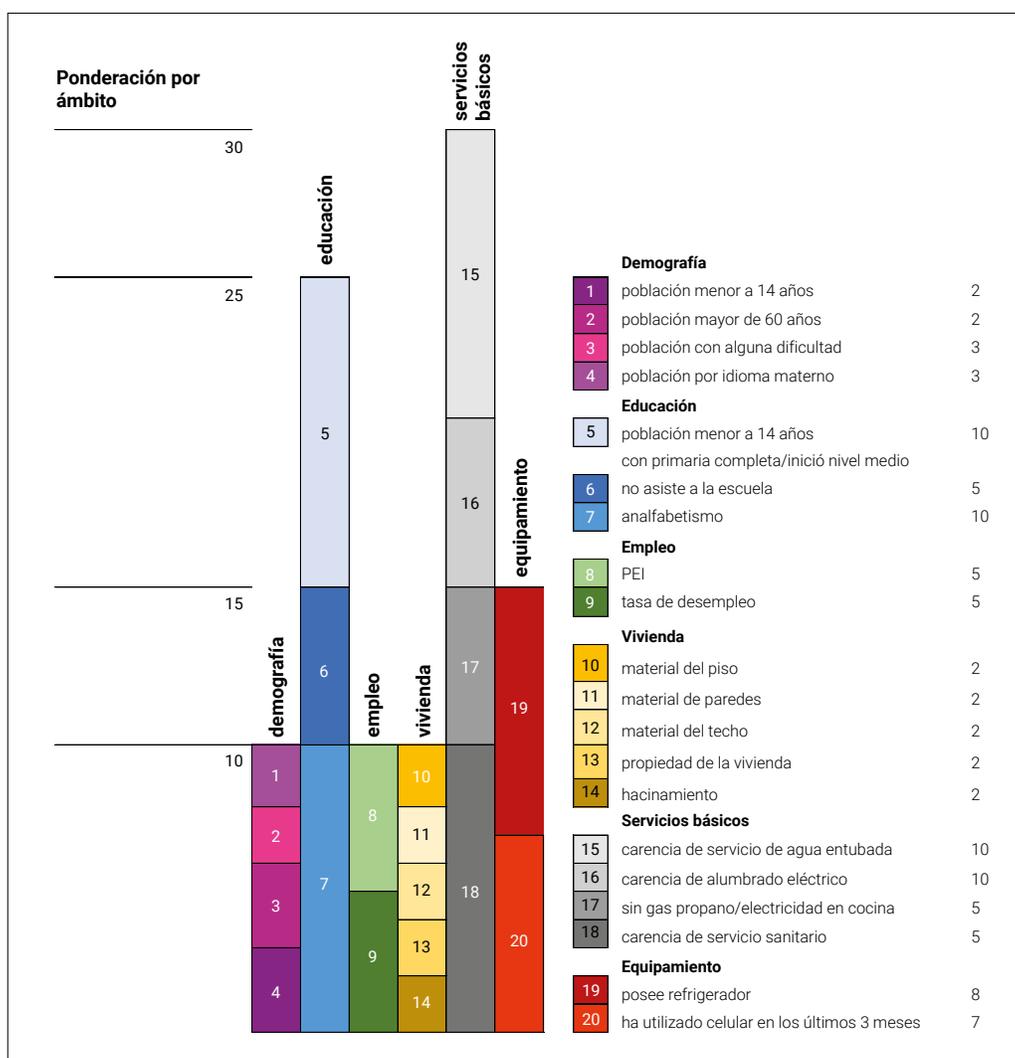
del estado de salud de las personas, así como de sus posibilidades de ingreso en un mercado laboral. Es por ello que se dio relevancia al ámbito de privación de educación, asignándole una ponderación de veinticinco puntos. El ámbito de equipamiento se ponderó con quince puntos, esto, debido a que se consideró que el acceso a la tecnología constituye una aproximación a la cantidad de ingresos de un hogar y estos son un determinante básico de la capacidad de soportar o reponerse tras un evento adverso. Por último, los indicadores de características sociodemográficas, privación de empleo y privación de vivienda se ponderaron cada uno con diez puntos, considerando que estos tienen una misma capacidad de revelar vulnerabilidad.

Tras ponderar cada ámbito, se ponderó cada indicador que lo conformaba por medio de la consulta a personas expertas. La figura 1 muestra la ponderación de los ámbitos y de cada indicador.

Fase V. Cálculo del índice de vulnerabilidad de cada ámbito de acuerdo con la ponderación

Tras ponderar los indicadores, se multiplicó el valor de cada indicador, igual al porcentaje de población vulnerable en cada municipio, por la ponderación asignada en el paso anterior. Esta vez, la suma máxima sería de cien puntos, siendo los municipios más vulnerables los que más puntos acumularon.

Figura 1
Ponderación de los indicadores que construyen cada ámbito



Fuente: elaboración propia

Fase VI. Análisis de los datos de manera espacial y territorialización del índice de vulnerabilidad ponderado

La tabla de datos fue importada a ArcGIS Pro para realizar el análisis espacial y territorializar los datos.

Fase VII. Definición del número de clases y método de discretización de datos del mapa de la suma final ponderada, con base en el método estadístico

Los resultados de la suma final ponderada de los porcentajes de población estaban comprendidos en el rango de 14.24 a 63.28, sobre un total de cien puntos. De acuerdo con el análisis estadístico de definición de número de clases para datos agrupados, el rango final debería organizarse en diez categorías de un ancho de intervalo de 4 %, pero, para términos prácticos de visualización en un mapa, se redujo a cinco clases, con un ancho de intervalo de 10 %.

Al no haber valores menores de 14.24, se optó por que los intervalos comenzaran a partir de los veinte puntos, de manera que se pudieran incluir los municipios que obtuvieron menos de este puntaje en la suma final, ponderados con muy bajo índice de vulnerabilidad.

Los siguientes rangos fueron de veinte a treinta (vulnerabilidad baja), treinta a cuarenta (media), cuarenta a cincuenta (alta) y de cincuenta puntos o más (muy alta). Este tipo de discretización de datos permitió la creación de clases con una cantidad de valores similar en cada categoría y con una diferencia significativa entre estas.

Fase VIII. Creación de un mapa de vulnerabilidad por ámbito utilizando el método de discretización seleccionado para el mapa final

Luego de utilizar el mismo número de clases y método de discretización de los datos, se creó un mapa por ámbito y un mapa final de la suma ponderada de todos los ámbitos. La tabla 5 muestra los rangos definidos para cada clase según el valor final del ámbito considerado en la ponderación.

Fase IX. Análisis e interpretación de los datos

Cada municipio obtuvo una valoración por ámbito y otra según la suma final ponderada de todos los ámbitos. La puntuación de cada municipio sería mayor mientras más alto fuera el porcentaje de su población vulnerable, o bien, entre más vulnerabilidades presentara la población del mismo.

Tabla 5

Valores para la clasificación de municipios según su vulnerabilidad, por ámbito

Ámbito	Valor máximo	Puntuación para establecer rango de vulnerabilidad				
		muy baja	baja	media	alta	muy alta
demografía	10	< 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 10
educación	25	< 5	5 a 7.5	7.5 a 10	10 a 12.5	12.5 a 25
empleo	10	< 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 10
vivienda	10	< 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 10
servicios básicos	30	< 6	6 a 9	9 a 12	12 a 15	15 a 30
equipamiento	15	< 3	3 a 4.5	4.5 a 6	6 a 7.5	7.5 a 15

Fuente: elaboración propia

Resultados y discusión

A continuación, se presentan los mapas creados para cada ámbito (figura 2) y el mapa final según la suma ponderada (figura 3). La figura 4 analiza los municipios de acuerdo con su índice de vulnerabilidad social, así como la cantidad de población urbana y rural que allí habita. El apéndice 2 presenta todos los municipios ordenados según vulnerabilidad total y por ámbito.

En la figura 2 se puede apreciar que, en general, la población del país es altamente vulnerable en los

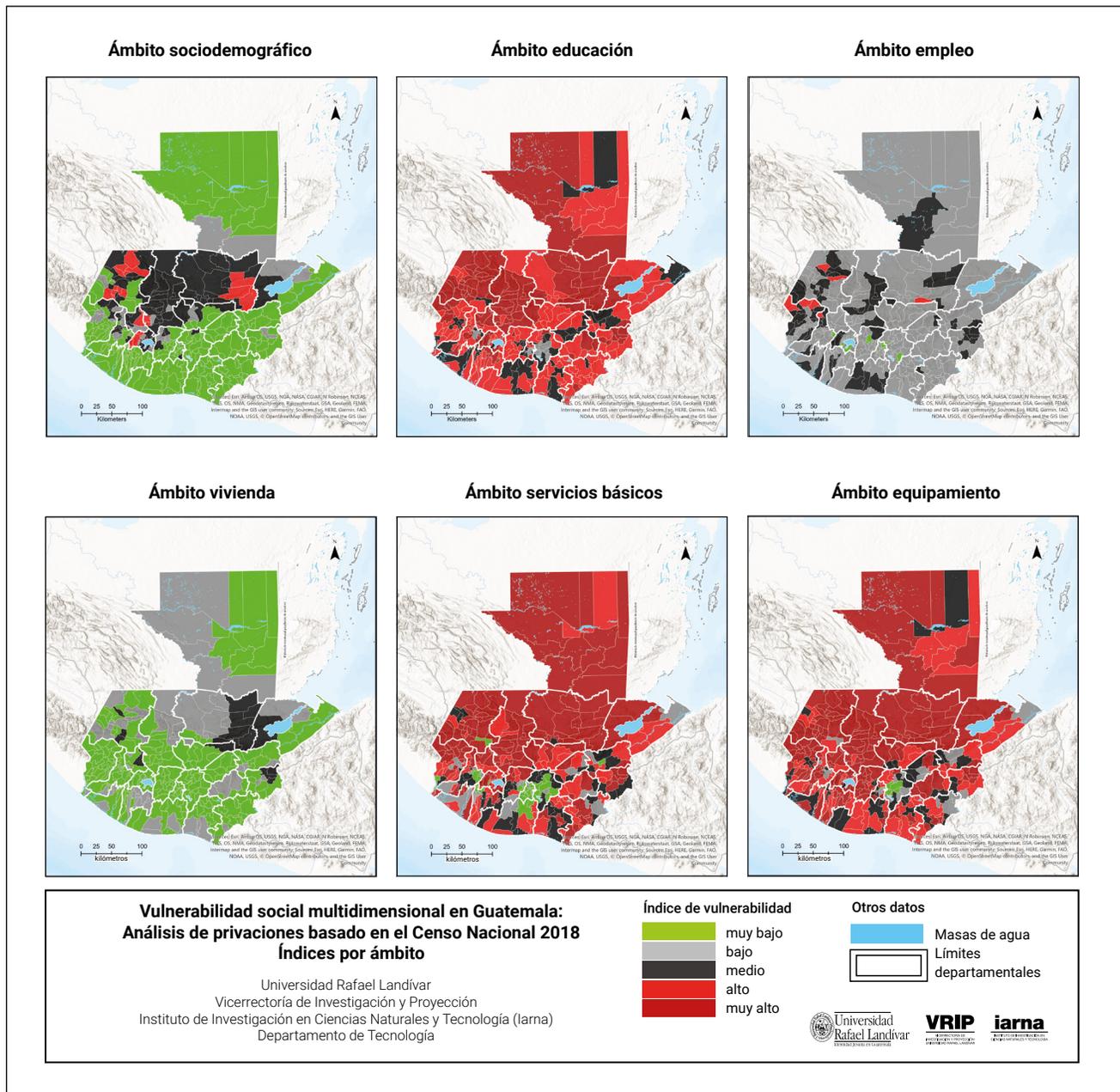
ámbitos de educación, acceso a servicios básicos (agua, energía y alcantarillado) y equipamiento (celular y refrigerador). Los valores más bajos de vulnerabilidad se observan en los mapas de los ámbitos sociodemográfico y vivienda; en el ámbito sociodemográfico, los departamentos de Alta Verapaz, Quiché y Huehuetenango son los más vulnerables. El ámbito de empleo muestra una vulnerabilidad media a baja.

En cuanto al ámbito de educación, se percibe una vulnerabilidad muy alta y alta a nivel nacional, pero

destacan los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Totonicapán, Alta Verapaz y Petén. Por otra parte, se percibe una vulnerabilidad baja en los municipios de Guatemala, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Nueva, Fraijanes, San Lucas Sacatepéquez, Jocotenango, San Bartolomé Milpas Altas, Antigua Guatemala, Quetzaltenango, La Esperanza y Santa María Visitación. Llama la atención que la mayoría de los municipios fronterizos con México tienen una vulnerabilidad muy alta y en los fronterizos con Honduras y El Salvador, es alta.

En cuanto al ámbito de empleo, la vulnerabilidad es baja en la mayoría de los municipios del país (catorce), solamente siete municipios tienen vulnerabilidad alta, y setenta y seis media. Por otra parte, el ámbito de vivienda destaca por reflejar baja y muy baja vulnerabilidad en más de dos tercios de los municipios (doscientos sesenta); sin embargo, en diecisiete, la vulnerabilidad es media (ubicados en su mayoría al este de Alta Verapaz, oeste de Izabal, noreste de Chiquimula, algunas áreas centrales de Huehuetenango y noreste de Totonicapán).

Figura 2
Índice de vulnerabilidad municipal por ámbito



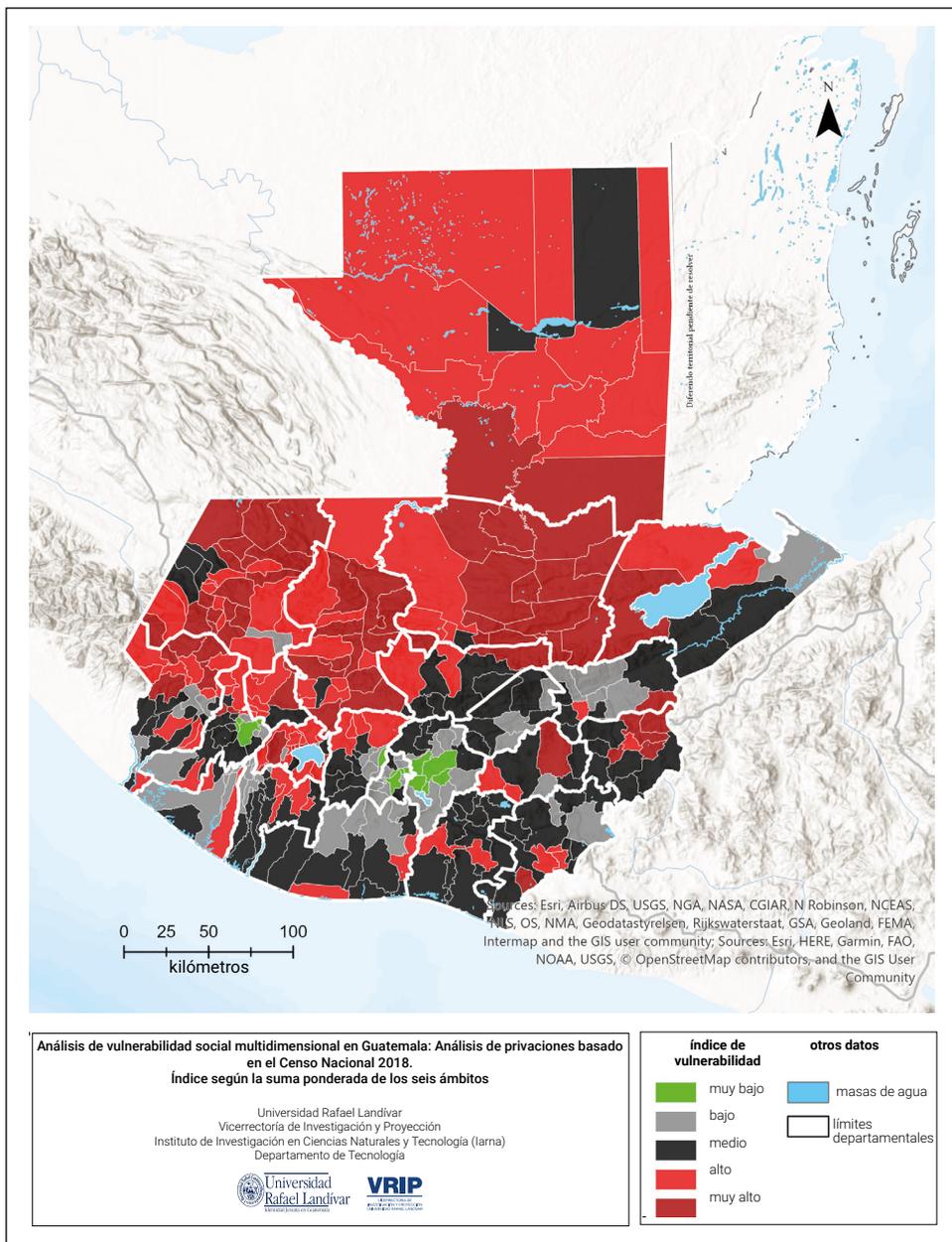
Fuente: elaboración propia con base en datos del INE (2019)

En el caso de los servicios básicos, de los trescientos cuarenta municipios, ciento cuarenta y uno reflejan un índice de vulnerabilidad muy alto, mientras que en setenta y tres, es alto. Dichos índices se encuentran en todos los municipios de Alta y Baja Verapaz y en la mayoría de los de Petén, Quiché, Huehuetenango, Izabal, Totonicapán y San Marcos. Únicamente setenta y ocho cuentan con un índice de vulnerabilidad bajo y muy bajo, la mayoría de los cuales se encuentran en los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez. Además, destacan otros polos de desarrollo, rodeando las cabeceras departamentales

de Escuintla y Quetzaltenango. En Chimaltenango, el acceso a los servicios básicos se percibe sobre todo en los municipios cercanos al departamento de Sacatepéquez.

En cuanto al ámbito de equipamiento, ciento sesenta y ocho municipios presentan un índice de vulnerabilidad muy alto y en ochenta y cinco, es alto. Únicamente treinta municipios cuentan con un índice bajo o muy bajo de vulnerabilidad (Guatemala, Mixco, Villa Nueva, Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, San Lucas Sacatepéquez y Jocotenango). Como se puede ver

Figura 3
Índice de vulnerabilidad municipal según suma ponderada de datos



Fuente: elaboración propia con base en datos del INE (2019)

en los mapas, los municipios vulnerables en cuanto a servicios básicos tienen una alta correspondencia con los que son vulnerables por falta de equipamiento. En este caso, los servicios básicos —especialmente el servicio de energía— son prioritarios y esenciales para que la población pueda tener acceso a equipamiento.

La figura 3 refleja la vulnerabilidad total según los seis ámbitos evaluados. Algunos hallazgos destacables se listan a continuación.

- A nivel nacional, sesenta y cuatro municipios tienen un índice de vulnerabilidad general muy alto.
- Todos los municipios de Alta Verapaz muestran una vulnerabilidad muy alta o alta.
- Los municipios de los departamentos de Quiché, Huehuetenango, Totonicapán, Sololá, Baja Verapaz, Izabal, Chiquimula, Jalapa y Petén presentan, en su mayoría, un índice de vulnerabilidad muy alto o alto, con pocos municipios de vulnerabilidad media y únicamente los municipios de Huehuetenango, Panajachel, Santa María Visitación, Puerto Barrios y Monjas cuentan con una vulnerabilidad baja.
- Los departamentos de Jutiapa, Jalapa, Zacapa y San Marcos presentan una mezcla de municipios con muy alta, alta y media vulnerabilidad.
- Las condiciones de vulnerabilidad del departamento de Santa Rosa van de media a alta.
- Los departamentos de Suchitepéquez y Escuintla tienen municipios con vulnerabilidad alta, media y baja.

- El departamento de El Progreso muestra únicamente municipios con media y baja vulnerabilidad.
- Los departamentos de Chimaltenango y Quetzaltenango tienen municipios con vulnerabilidad muy baja (El Tejar, Quetzaltenango, Salcajá y La Esperanza), aunque también cuentan con otros con vulnerabilidad baja, media y alta.
- Los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez parecen ser los menos vulnerables, siendo los únicos que cuentan únicamente con municipios de vulnerabilidad muy baja y baja y pocos de vulnerabilidad media.

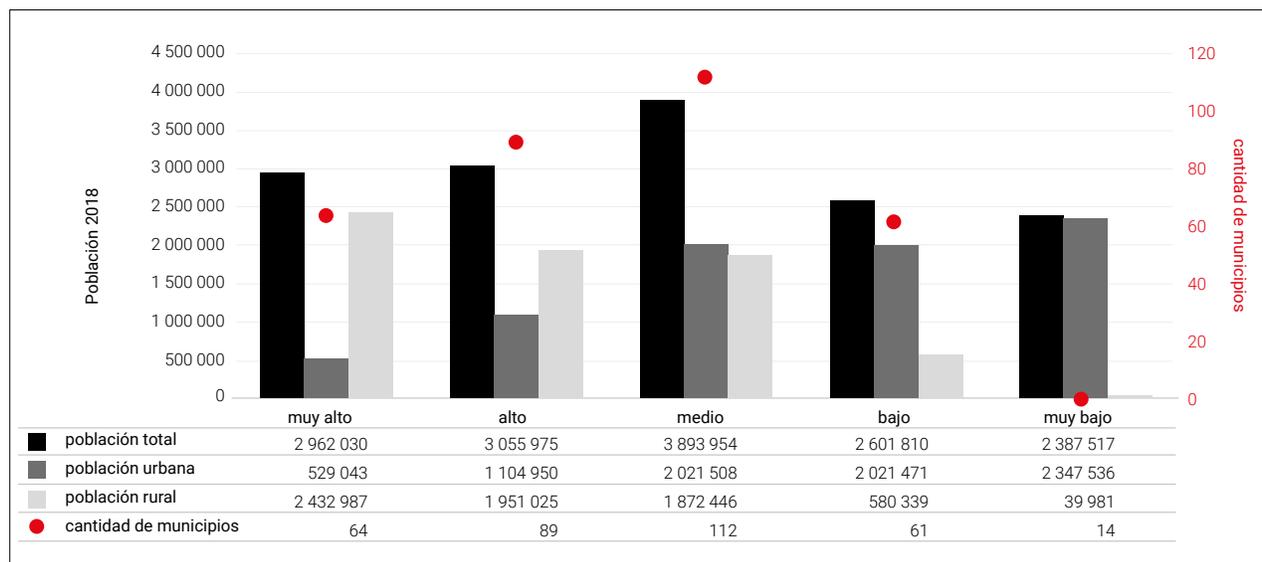
Los resultados expuestos en la figura 3 son congruentes con otros mapas que reflejan la vulnerabilidad en Guatemala, como el de pobreza total (INE, 2013) y el de estimación de la pobreza general per cápita por municipio (Romero y Zapil, 2009).

La figura 4 y la tabla 6 cuantifican otros hallazgos del presente estudio.

Según la figura 4 y la tabla 6, la mayoría de los municipios (ciento doce) pueden clasificarse como «medianamente vulnerables». En estos, habitan casi cuatro millones de personas y la población es levemente más urbana que rural. Le sigue la categoría de «vulnerabilidad alta», que se encuentra en ochenta y nueve municipios, donde viven tres millones de habitantes y una población casi dos veces más rural que urbana. La categoría de «vulnerabilidad muy alta» se observa en sesenta y cuatro municipios, con casi

Figura 4

Índice de vulnerabilidad de los municipios de Guatemala y su población total, urbana y rural para el 2018



Fuente: elaboración propia con base en datos del INE (2019)

Tabla 6

Índice de vulnerabilidad de los municipios de Guatemala y su población total, urbana y rural para el 2018

Índice de vulnerabilidad	Cantidad de municipios	Porcentaje de municipios	Porcentaje de población con relación a la población total del país	Porcentaje de población urbana por grado de vulnerabilidad	Porcentaje de población rural por grado de vulnerabilidad
muy alto	64	19 %	20 %	18 %	82 %
alto	89	26 %	21 %	36 %	64 %
medio	112	33 %	26 %	52 %	48 %
bajo	61	18 %	17 %	78 %	22 %
muy bajo	14	4 %	16 %	98 %	2 %
total	340	100 %	100 %		

Fuente: elaboración propia con base en datos del INE (2019)

tres millones de habitantes, que son notablemente más rurales que urbanos (únicamente el 20 % de la población es urbana). Sesenta y un municipios se encuentran dentro de la categoría de «vulnerabilidad baja», con poco más de 2.5 millones de habitantes y una población mayormente urbana (78 %). Por último, únicamente catorce municipios se encuentran dentro de la categoría de «vulnerabilidad muy baja», los cuales prácticamente son urbanos (2 % de la población es rural) y tienen un total aproximado de 2.4 millones de habitantes.

A partir del índice creado, se determinó que, de los trescientos cuarenta municipios de Guatemala, el índice de vulnerabilidad es muy alto en sesenta y cuatro, alto en ochenta y nueve, medio en ciento doce, bajo en sesenta y uno y muy bajo en catorce. Estos datos se traducen en que la vulnerabilidad es media en el 33 % de los municipios, alta en el 26 %, muy alta en el 19 %, baja en el 18 % y muy baja en el 4 %. En cuanto a la población, el 26 % vive en municipios con un índice de vulnerabilidad medio, el 21 % en municipios con índice alto, el 20 % en municipios con índice muy alto, el 17 % en municipios con índice bajo y el 16 % en municipios con índices muy bajos. El 45 % de los municipios muestran índices de vulnerabilidad altos y muy altos, los cuales concentran al 41 % de la población. Por el contrario, el 22 % de los municipios cuentan con índices de vulnerabilidad bajos y muy bajos, donde habita el 33 % de la población y hacia donde ocurren procesos de migración.

Conclusiones

El presente estudio identificó que entre más población rural exista en los municipios, mayor es la tendencia a que presente vulnerabilidad elevada. Consecuentemente, entre más aumenta la población urbana, menos vulnerable se vuelve la población.

Esto hace notar un importante rezago de las áreas rurales de Guatemala, que carecen principalmente de acceso a educación, servicios básicos y, por ende, equipamiento. Se logró detectar cuál es el ámbito de mayor vulnerabilidad de cada municipio, así como del país en general. Esto puede contribuir a orientar la distribución de los servicios, la educación y los recursos de capital humano o económico en las áreas geográficas y según los ámbitos más oportunos, así como crear y orientar políticas públicas para disminuir las diversas privaciones de la población.

Según el mapa de pobreza general per cápita por municipio, realizado con base en datos oficiales del 2002 y 2006, los departamentos más pobres son Alta Verapaz, Quiché y Huehuetenango; con niveles medios están Petén y los departamentos de la costa sur; mientras que el departamento de Guatemala es el que tiene menor pobreza (Romero y Zapil, 2009). En cuanto al mapa de porcentaje de pobreza total por departamento (INE, 2013), para el 2011, todos los departamentos del país presentaban altos índices de pobreza, a excepción de Escuintla, Jutiapa, El Progreso y Sacatepéquez (donde eran medios), y únicamente en el departamento de Guatemala el porcentaje era relativamente bajo. Ambos mapas, así como el de vulnerabilidad municipal (según la suma final ponderada de los seis ámbitos, presentada en la figura 3), muestran la existencia de poblaciones marginadas a través del tiempo, cuya historia de pobreza ha resultado en altos y muy altos índices de vulnerabilidad. En general, destaca el norte del país como altamente pobre y vulnerable, mientras que, en el sur, los niveles de pobreza y vulnerabilidad son menores y el área metropolitana es casi la única zona del país con un desarrollo económico y social alto.

La metodología aplicada es replicable a escala del sector censal, es decir, de las colonias, condominios,

barrios y caseríos georreferenciados por medio de los censos de población, lo cual permitiría una ubicación precisa de la población y los asentamientos más vulnerables dentro de los municipios. Además, los procesos descritos para el análisis de vulnerabilidad social multidimensional, basada en datos del VII Censo Nacional de Población y XII de Vivienda 2018, pueden ser replicados con datos de censos poblacionales y de vivienda, tanto anteriores como posteriores, que permitan comparar la evolución de los municipios y sus habitantes en cuanto a vulnerabilidad.

Finalmente, se considera de urgencia que los datos presentados puedan utilizarse para fortalecer el servicio de educación y priorizar el acceso a servicios básicos en las poblaciones que más lo requieren.

Referencias

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Alkire, S. (s. f.). *La metodología Alkire Foster. Mediciones axiomáticas*. Oxford Poverty & Human Development Initiative.
- Alkire, S. y Foster, J. (2011). Counting and multidimensional poverty measurement. *Journal of Public Economics*, 95(7-8), 476-487. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2010.11.006>
- Anand, S. y Sen, A. (1997). Concepts of human development and poverty: A multidimensional perspective. *En Poverty and Human Development: Human Development Papers* (pp. 1-20). United Nations Development Programme.
- Banco Mundial. (2021). *Perspectivas económicas mundiales*. Grupo Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/publication/global-economic-prospects>
- Bankoff, G., Frerks, G. y Hilhorst, D. (eds.). (2004). *Mapping vulnerability: Disasters, development and people*. Earthscan, London. <https://doi.org/10.4324/9781849771924>
- Barraza, R., Barrientos, R., Díaz, X., Pleitez, R. y Víctor, T. (2020). COVID-19 y vulnerabilidad: Una mirada desde la pobreza multidimensional en El Salvador. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*, 12(12), 23. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-01/CD19-PDS-Number12%20ES%20ElSalvador.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2012). *Inventario de la información estadística, indicadores y explotación de fuentes sobre etnia, raza y género en los países de América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- _____. (2020). *El desafío social en tiempos del COVID-19*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe y Organización Panamericana de la Salud. (2020). *Salud y economía: Una convergencia necesaria para enfrentar el COVID-19 y retomar la senda hacia el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe y Organización Panamericana de la Salud.
- Feres, J. y Mancero, X. (2001). *El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina*. Naciones Unidas.
- Foschiatti, A. M. H. (2004). Vulnerabilidad global y pobreza: Consideraciones conceptuales. *Revista Geográfica Digital*, 1(2), 1-20. <http://revistas.unne.edu.ar/index.php/geo/article/view/2589>
- García, C. E. (2020). *Aplicación de modelos analíticos basados en inteligencia de negocios y ciencia de datos para la caracterización de la población guatemalteca*. Universidad Rafael Landívar.
- Golovanevsky, L. (2007). Vulnerabilidad social: Una propuesta para su medición en Argentina. *Revista de Economía y Estadística*, 45(2), 53-94.
- Guardiola, J., González, V. y Vivero, J. L. (20, 21 y 22 de abril del 2006). *La seguridad alimentaria: Estimación de índices de vulnerabilidad en Guatemala* [presentación en conferencia]. VIII Reunión de Economía Mundial, Alicante, España. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2469.8963>
- Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología. (2020). *Informe de la línea base del índice de pobreza multidimensional del proyecto «Construyendo redes de investigación-acción para el desarrollo territorial y la adaptación al cambio climático en Guatemala»* Universidad Rafael Landívar.
- Instituto Nacional de Estadística. (2013). *Caracterización estadística. República de Guatemala 2012*. Instituto Nacional de Estadística. <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/02/26/5eTCCfIHernaNVeUm3iabXHakgXtw0C.pdf>

- _____. (2019). *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda. Principales resultados Censo 2018*. Instituto Nacional de Estadística. https://www.censopoblacion.gt/archivos/Principales_resultados_Censo2018.pdf
- Monzón-Despang, H. (1996). La construcción y el uso del terreno en Guatemala, su vulnerabilidad sísmica. En *Diagnóstico de la prevención de desastres naturales en Guatemala con motivo del XX aniversario del terremoto del 4 de febrero de 1976* (pp. 1-3). Colegio de Ingenieros de Guatemala, Comité Nacional de Emergencia, Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central e Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
- Moser, C. (1998). The asset vulnerability framework: Reassessing urban poverty reduction strategies. *World Development*, 26(1), 1-19.
- Pérez, S. (2020). Los métodos cuantitativos para estudiar la pobreza. *Revista Estudios Sociales*, (84), 41-78.
- Pizarro, R. (2001). *La vulnerabilidad social y sus desafíos: Una mirada desde América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4762/S0102116_es.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2005). *Diversidad étnico-cultural: La ciudadanía en un estado plural. Informe nacional de desarrollo humano 2005*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2012/PNUD/INDH-2005/>
- Represa, S., Porta, A. y Sánchez, E. (2018). Estudio de la vulnerabilidad social en Argentina mediante el uso de SIG. Construcción de un índice de aplicación local. *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(2), 351-357. http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_351_357
- Romero, W. y Zapil, P. (2009). *Dinámica territorial del consumo, la pobreza y la desigualdad en Guatemala: 1998-2006*. Programa Dinámicas Territoriales Rurales, Rimisp-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. bit.ly/3P1CMJJ
- Rosales, S., Lemus, I., García, E., Carbajal, F. y Pinilla, M. (2018). *Índice de pobreza multidimensional de Guatemala (IPM-Gt)*. Ministerio de Desarrollo Social e Iniciativa sobre la Pobreza y Desarrollo Humano de Oxford.
- Sen, A. (1992). Sobre conceptos y medidas de pobreza. *Comercio Exterior*, 42(4), 310-322. <http://www.derechoshumanos.unlp.edu.ar/assets/files/documentos/sobre-conceptos-y-medidas-de-pobreza.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Fondo de Población de las Naciones Unidas, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, ONU Mujeres y Grupo Banco Mundial. (2015). *Declaración de Incheon. Educación 2030: Hacia una educación inclusiva y equitativa de calidad y un aprendizaje a lo largo de la vida para todos*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Villatoro, P. (2017). *Indicadores no monetarios de carencias en las encuestas de los países de América Latina: Disponibilidad, comparabilidad y pertinencia*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Apéndice 1

Tablas y datos del XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda que fueron seleccionados para crear los indicadores de vulnerabilidad

Ámbito	Indicador de población vulnerable	Cuadro del censo 2018
(A) características sociodemográficas	(A.1) población menor a 14 años	(A-1) población total por sexo y grupos quinquenales de edad
	(A.2) población mayor a 60 años	
	(A.3) población con alguna dificultad	(A-8) población de 4 años y más, según dificultades
	(A.4) población maya, xinca o garífuna	(A-7) población de 4 años y más por idioma materno
(B) privación de educación	(B.1) población por grado máximo de educación alcanzado	población de 14 años según nivel de estudio más alto aprobado
	(B.2) población que no asiste a un centro educativo	(A-10) población de 4 a 29 años que no asiste a un establecimiento educativo por causa principal de inasistencia
	(B.3) población analfabeta	(A-11) población de 7 años o más por alfabetismo, asistencia escolar y lugar de estudio
	(B.4) población por nivel educativo	(A9.2) población de 4 años y más por nivel educativo, según municipio
(C) privación de empleo	(C.1) tasa de desempleo	(A-13) población de 15 años y más, económicamente activa e inactiva
	(C.2) población económicamente activa	
(D) privación de vivienda	(D.1) materiales del piso	(C3) viviendas particulares por material predominante en el piso
	(D.2) material de la pared	(C-2) viviendas particulares por material predominante en las paredes exteriores y en el techo
	(D.3) material del techo	
	(D.4) hacinamiento	(Cuadro B4) hogares según tipo de alumbrado, fuente principal de energía para cocinar y disponibilidad de cuarto exclusivo para cocinar
	(D.5) tenencia de vivienda	(B-1) hogares por tipo de tenencia de la vivienda
(E) servicios básicos	(E.1) acceso al agua	(B-2) hogares por fuente principal de agua para consumo
	(E.2) acceso al alumbrado	(B-4) hogares según tipo de alumbrado, fuente principal de energía para cocinar
	(E.3) acceso a energía segura para cocinar	
	(E.4) acceso a servicio sanitario	(B-13) hogares por tipo y uso de servicio sanitario
(F) privación de equipamiento	(F.1) acceso a refrigerador	(B-5) equipamiento del hogar
	(F.2) acceso a celular	(A-12) población de 7 años o más por uso de celular, computadora y/o internet

Fuente: elaboración propia con base en datos del INE (2019)

Apéndice 2

Municipios ordenados según los resultados de vulnerabilidad total y su vulnerabilidad por ámbito

Municipio	Departamento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Suma ponderada de vulnerabilidad	Índice de vulnerabilidad según suma ponderada
Senahú	Alta Verapaz	4.05	14.99	2.97	3.54	24.91	12.81	alta	muy alta	baja	media	muy alta	muy alta	63.28	muy alta
Santa Bárbara	Huehuetenango	3.95	16.29	3.07	3.39	24.04	10.53	media	muy alta	media	media	muy alta	muy alta	61.52	muy alta
Cabahón	Alta Verapaz	4.04	13.67	3.09	3.59	24.32	12.77	alta	muy alta	media	media	muy alta	muy alta	61.24	muy alta
Panozós	Alta Verapaz	4.11	15.40	2.91	3.61	22.70	12.44	alta	muy alta	baja	media	muy alta	muy alta	61.17	muy alta
Lanquín	Alta Verapaz	3.85	14.22	3.06	2.73	24.66	12.47	media	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	61.00	muy alta
Tucurú	Alta Verapaz	3.91	14.86	4.47	3.02	22.19	12.36	media	muy alta	alta	media	muy alta	muy alta	60.82	muy alta
Chahal	Alta Verapaz	3.84	12.71	3.35	3.89	24.68	11.94	media	muy alta	media	media	muy alta	muy alta	60.41	muy alta
Jocotán	Chiquimula	2.01	15.25	3.51	3.43	23.82	11.88	baja	muy alta	media	media	muy alta	muy alta	59.91	muy alta
San Gaspar Ichil	Huehuetenango	4.24	15.26	2.18	2.85	24.40	10.93	alta	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	59.85	muy alta
Punulhá	Baja Verapaz	3.73	15.09	2.85	3.64	22.85	11.32	media	muy alta	baja	media	muy alta	muy alta	59.49	muy alta
San Miguel Acatán	Huehuetenango	4.16	16.60	3.59	3.12	19.88	11.31	alta	muy alta	media	media	muy alta	muy alta	58.65	muy alta
San Mateo K'tatán	Huehuetenango	4.02	16.78	3.12	1.90	20.50	12.16	alta	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	58.49	muy alta
San Pedro Carchá	Alta Verapaz	3.99	13.48	2.58	2.34	24.62	11.41	media	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	58.42	muy alta
San Juan Atitán	Huehuetenango	4.07	17.11	3.07	1.99	21.48	10.38	alta	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	58.09	muy alta
Santa Eulalia	Huehuetenango	4.16	14.28	3.04	2.50	23.35	10.70	alta	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	58.04	muy alta
San Sebastián Huehuetenango	Huehuetenango	4.03	14.06	2.98	3.26	22.78	10.59	alta	muy alta	baja	media	muy alta	muy alta	57.69	muy alta
Colotenango	Huehuetenango	4.10	15.40	3.64	1.94	21.56	11.06	alta	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	57.69	muy alta
San Juan Ixcay	Huehuetenango	3.53	14.50	4.05	2.79	22.49	10.27	media	muy alta	alta	baja	muy alta	muy alta	57.64	muy alta
San Bartolomé Jocotenango	Quiché	3.97	16.34	3.13	1.88	21.66	10.41	media	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	57.39	muy alta
Chisec	Alta Verapaz	3.93	14.06	2.66	2.55	22.33	11.70	media	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	57.23	muy alta
Camotán	Chiquimula	1.22	13.89	3.88	3.61	23.05	11.38	muy baja	muy alta	media	media	muy alta	muy alta	57.03	muy alta
San Sebastián Coatlán	Huehuetenango	4.18	14.94	4.15	1.42	22.67	9.14	alta	muy alta	alta	muy baja	muy alta	muy alta	56.50	muy alta
El Estor	Izabal	3.84	12.72	2.77	3.14	22.66	11.33	media	muy alta	baja	media	muy alta	muy alta	56.46	muy alta
Santa Lucía La Reforma	Totonicapán	4.08	16.20	2.92	3.27	19.01	10.82	alta	muy alta	baja	media	muy alta	muy alta	56.30	muy alta
Chicamán	Quiché	3.59	13.99	3.69	2.12	22.01	10.85	media	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	56.24	muy alta
San Pablo La Laguna	San Marcos	3.89	13.59	4.50	1.84	21.48	10.77	media	muy alta	alta	muy baja	muy alta	muy alta	56.07	muy alta
San Pedro La Laguna	Sololá	4.15	11.40	2.66	2.59	24.40	10.69	alta	alta	baja	baja	muy alta	muy alta	55.88	muy alta
Santa Catalina La Tirta	Alta Verapaz	3.85	12.99	3.07	3.32	21.93	10.48	media	muy alta	media	media	muy alta	muy alta	55.64	muy alta
San Rafael La Independencia	Huehuetenango	4.24	15.72	3.34	1.10	20.26	10.58	alta	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	55.24	muy alta
Fray Bartolomé de Las Casas	Alta Verapaz	3.87	13.80	2.75	3.20	20.68	10.92	media	muy alta	baja	media	muy alta	muy alta	55.22	muy alta
Uspantán	Quiché	3.57	14.13	3.02	2.27	20.72	10.97	media	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	54.68	muy alta
Joyabaj	Quiché	3.83	16.03	3.43	1.75	20.67	8.90	media	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	54.60	muy alta
Santa Cruz La Laguna	Sololá	4.04	15.57	2.70	0.94	21.39	9.83	alta	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	54.46	muy alta
Nentón	Huehuetenango	3.31	15.31	2.87	2.77	19.68	10.28	media	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	54.21	muy alta
Olopa	Chiquimula	1.34	15.05	3.02	3.00	20.53	11.05	muy baja	muy alta	media	media	muy alta	muy alta	53.99	muy alta
Todos Santos Cuchumatán	Huehuetenango	3.87	15.40	3.30	2.44	20.19	8.72	media	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	53.92	muy alta
Raxnuhá	San Marcos	3.58	12.22	4.14	1.46	22.56	9.66	media	alta	alta	muy baja	muy alta	muy alta	53.61	muy alta
San Miguel Ixtahuacán	Alta Verapaz	3.59	13.33	2.54	2.76	20.37	10.99	media	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	53.59	muy alta
Comitanicillo	San Marcos	3.91	12.24	3.31	1.65	20.93	11.13	media	alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	53.18	muy alta
Santa María Chiquimula	Totonicapán	4.01	15.67	2.31	3.18	17.02	10.95	alta	muy alta	baja	media	muy alta	muy alta	53.12	muy alta
Congruaco	Jutiapa	1.32	12.63	2.80	2.74	22.03	10.99	muy baja	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	52.50	muy alta
Tamahú	Alta Verapaz	3.89	13.74	2.32	1.95	19.57	10.99	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	52.47	muy alta
San Andrés Sajcabajá	Quiché	3.55	15.94	3.72	1.44	17.49	10.25	media	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	52.40	muy alta
Cajolá	Quetzaltenango	3.99	14.61	3.59	2.19	18.95	8.93	media	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	52.26	muy alta
San Pedro Jocopilas	Quiché	3.79	15.26	3.01	1.84	18.61	9.66	media	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	52.17	muy alta

continúa...

Continuación de apéndice 2

Municipio	Departamento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Índice de vulnerabilidad sociodemográfica	Índice de vulnerabilidad en educación	Índice de vulnerabilidad en empleo	Índice de vulnerabilidad en vivienda	Índice de vulnerabilidad en servicios básicos	Índice de vulnerabilidad en equipamiento	Suma ponderada de vulnerabilidad	Índice de vulnerabilidad según suma ponderada
San Juan Chamelco	Alta Verapaz	3.77	12.45	2.24	2.38	20.72	10.56	media	alta	baja	baja	muy alta	muy alta	52.12	muy alta
San Pedro Pinula	Jalapa	1.22	14.11	2.72	2.24	21.10	10.50	muy baja	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	51.88	muy alta
Ixtahuacán	Huehuetenango	4.07	14.38	2.43	2.99	18.80	8.98	alta	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	51.66	muy alta
Chajul	Quiché	3.78	15.46	2.97	2.32	15.67	11.40	media	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	51.60	muy alta
San José Ojetenam	San Marcos	1.31	13.83	3.30	1.07	22.87	9.21	muy baja	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	51.58	muy alta
Santa Catarina Ixtahuacán	Sololá	4.01	13.38	3.42	1.28	18.45	10.97	alta	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	51.50	muy alta
Bailelas	Huehuetenango	3.60	13.74	2.87	1.79	19.18	9.98	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	51.16	muy alta
Chichicastenango	Quiché	3.91	14.48	2.35	1.19	18.93	9.96	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	50.81	muy alta
San Luis	Peñón	2.81	12.91	2.83	2.71	19.62	9.92	baja	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	50.78	muy alta
La Unión	Zacapa	1.23	13.52	3.16	2.19	19.39	11.15	muy baja	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	50.63	muy alta
Tecitán	Huehuetenango	1.47	14.12	3.86	1.18	19.82	10.16	muy baja	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	50.62	muy alta
Tajumulco	San Marcos	2.31	14.23	3.57	1.77	19.15	9.58	baja	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	50.61	muy alta
San Pedro Necta	Huehuetenango	3.57	13.49	3.07	2.70	18.14	9.53	media	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	50.50	muy alta
Cunén	Quiché	3.76	13.04	2.96	1.63	19.11	10.00	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	50.50	muy alta
San Jacinto	Huehuetenango	1.20	12.92	3.06	2.07	22.79	8.45	muy baja	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	50.49	muy alta
Sayaxché	Chiquimula	2.88	12.72	3.23	2.84	18.85	9.94	baja	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	50.46	muy alta
Zacualpa	Quiché	3.91	15.32	2.88	1.16	17.48	9.46	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	50.22	muy alta
San Antonio Palopó	Sololá	3.32	13.20	3.04	2.20	19.26	9.07	media	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	50.09	muy alta
Palestina de Los Altos	Quetzaltenango	3.20	14.73	3.33	3.04	19.70	8.61	media	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	50.01	muy alta
Chiché	Quiché	3.97	14.94	2.65	1.95	16.41	9.88	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	49.79	alta
Nehualá	Sololá	4.06	12.91	3.02	1.98	17.25	10.46	alta	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	49.69	alta
Paritè	Quiché	4.03	14.06	2.79	1.83	16.81	10.09	alta	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	49.61	alta
Aguacatán	Huehuetenango	3.77	14.59	2.67	2.38	17.32	8.82	media	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	49.56	alta
Concepción Huista	Huehuetenango	3.97	15.56	2.80	1.46	15.15	10.43	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	49.35	alta
Cubulco	Baja Verapaz	3.12	14.37	2.79	1.96	17.52	9.04	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	48.81	alta
Sacapulas	Quiché	3.71	14.59	2.29	1.51	17.17	9.51	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	48.78	alta
Ixchiguan	San Marcos	2.26	13.06	3.32	1.04	18.85	10.20	baja	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	48.73	alta
Icán	Quiché	3.06	12.31	2.51	2.54	19.06	9.25	media	alta	baja	baja	muy alta	muy alta	48.72	alta
Santa Apolonia	Chimaltenango	3.52	12.89	2.56	0.84	18.59	10.31	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	48.71	alta
San Andrés	Peñón	1.58	12.80	2.59	2.62	19.73	9.38	muy baja	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	48.70	alta
Unión Cantinfl	Huehuetenango	1.22	14.32	2.89	2.26	21.28	6.67	muy baja	muy alta	baja	baja	muy alta	alta	48.64	alta
Livingston	Izabal	2.76	12.19	2.86	2.68	18.83	9.24	baja	alta	baja	baja	muy alta	muy alta	48.56	alta
Tacaná	San Marcos	1.13	13.20	4.18	1.53	17.82	10.58	muy baja	muy alta	alta	muy baja	muy alta	muy alta	48.44	alta
Santiago Chimaltenango	Huehuetenango	4.07	14.75	2.77	1.64	15.46	9.73	alta	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	48.42	alta
Concepción	Sololá	3.93	15.54	2.58	0.79	14.74	10.59	media	muy alta	baja	muy baja	alta	muy alta	48.15	alta
San Juan Ermita	Chiquimula	1.19	13.63	3.09	2.87	18.43	8.86	muy baja	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	48.07	alta
San Antonio Ilotenango	Quiché	4.09	15.35	2.54	1.34	15.34	9.58	alta	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	48.03	alta
San Cristóbal Verapaz	Alta Verapaz	3.44	12.83	2.63	1.84	17.40	9.83	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	47.98	alta
Quilico	Huehuetenango	1.67	14.44	3.14	2.12	18.17	8.41	muy baja	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	47.95	alta
Canilla	Quiché	2.43	14.17	3.70	1.57	17.94	8.12	baja	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	47.93	alta
Chiantla	Huehuetenango	1.37	13.76	2.83	1.84	19.01	8.81	muy baja	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	47.61	alta
Momostenango	Totonicapán	3.58	13.31	2.65	1.72	16.16	10.08	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	47.49	alta
San Juan Cotzal	Quiché	3.93	13.70	2.96	1.89	13.52	11.39	media	muy alta	baja	muy baja	alta	muy alta	47.39	alta
Sipacapa	San Marcos	2.06	11.92	3.84	1.48	18.43	9.66	baja	alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	47.38	alta
La Libertad	Peñón	1.62	12.52	2.66	2.02	19.92	8.51	muy baja	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	47.24	alta

continúa...

Municipio	Departamento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Suma ponderada de vulnerabilidad	Índice de vulnerabilidad según suma ponderada
Santiago Atitlán	Sololá	3.84	14.08	1.75	0.75	17.19	9.57	media	muy alta	muy baja	muy baja	muy alta	muy alta	47.18	alta
Sibal	San Marcos	1.21	11.73	3.14	1.24	19.32	10.28	muy baja	alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	46.92	alta
Las Cruces	Peñón	1.62	12.61	2.55	2.26	19.54	8.27	muy baja	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	46.85	alta
Comapa	Julitapa	1.14	12.37	2.73	1.61	19.80	8.99	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	46.64	alta
Cobán	Alta Verapaz	3.24	11.65	2.49	2.14	18.03	9.01	media	alta	baja	baja	muy alta	muy alta	46.55	alta
Soloma	Huehuetenango	3.71	13.88	3.31	1.25	15.77	8.59	media	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	46.51	alta
San Carlos Alzate	Jalapa	1.16	12.75	2.59	1.92	17.48	10.58	muy baja	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	46.49	alta
Dolores	Peñón	1.29	11.50	2.73	1.44	20.87	8.48	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	46.31	alta
Santa Catarina Palopó	Sololá	3.62	13.10	2.69	0.83	16.01	10.04	media	muy alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	46.30	alta
San José	Peñón	1.64	10.55	2.61	1.82	22.01	7.60	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	46.23	alta
Santa Lucía Utatlán	Sololá	2.84	11.30	2.76	1.88	20.66	6.69	baja	alta	baja	muy baja	muy alta	alta	46.14	alta
San Bartolo Aguas Calientes	Totonicapán	3.01	12.67	2.78	2.38	16.34	8.76	media	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	45.94	alta
Huitán	Quetzaltenango	3.73	12.30	3.64	1.69	15.01	9.48	media	alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	45.84	alta
San Rafael Pérez	Huehuetenango	3.99	13.05	3.34	1.47	14.44	9.51	media	muy alta	media	muy baja	alta	muy alta	45.80	alta
La Libertad	Huehuetenango	1.57	14.77	3.03	1.61	16.33	8.36	muy baja	muy alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	45.66	alta
San Miguel Chicaj	Baja Verapaz	3.35	11.07	2.47	1.42	18.51	8.45	media	alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	45.27	alta
Nebaj	Quiché	3.94	12.64	2.79	1.43	14.72	9.66	media	muy alta	baja	muy baja	alta	muy alta	45.19	alta
San Francisco La Unión	Quetzaltenango	3.22	11.15	3.31	1.45	17.86	8.11	media	alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	45.09	alta
Santa Cruz Verapaz	Alta Verapaz	3.10	12.02	2.60	1.79	16.70	8.85	media	alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	45.06	alta
San Francisco El Alto	Totonicapán	3.23	12.59	2.76	1.50	14.77	9.73	media	muy alta	baja	muy baja	alta	muy alta	44.60	alta
San Marcos La Laguna	Sololá	3.77	10.74	2.19	0.58	19.90	7.27	media	alta	baja	muy baja	muy alta	alta	44.44	alta
Santa Bárbara	Suchitepéquez	1.35	13.47	2.86	2.17	15.54	8.59	muy baja	muy alta	baja	baja	muy alta	muy alta	43.97	alta
Génova	Quetzaltenango	1.51	13.15	3.26	2.13	15.75	7.86	muy baja	muy alta	media	baja	muy alta	muy alta	43.66	alta
Peñón	Huehuetenango	2.83	14.12	2.48	1.60	14.48	8.09	baja	muy alta	baja	muy baja	alta	muy alta	43.59	alta
Tejula	San Marcos	1.43	10.90	2.99	1.24	18.82	7.89	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	43.27	alta
San José Poaquil	Chimaltenango	3.71	12.11	2.37	0.90	14.95	9.08	media	alta	baja	muy baja	alta	muy alta	43.13	alta
Tecpán Guatemala	Chimaltenango	2.94	12.06	2.45	1.03	15.49	9.10	baja	alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	43.07	alta
San Andrés Xecul	Totonicapán	3.23	12.65	2.73	2.49	12.23	9.53	media	muy alta	baja	baja	alta	muy alta	42.85	alta
Poptún	Peñón	1.95	10.51	2.54	1.88	18.47	7.39	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	alta	42.73	alta
El Chal	Peñón	1.66	11.68	2.76	1.59	17.69	7.27	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	alta	42.65	alta
Cabricán	Quetzaltenango	3.02	11.60	4.03	0.86	14.59	8.42	media	alta	alta	muy baja	alta	muy alta	42.51	alta
Chinique	Quiché	3.27	12.61	2.69	1.93	13.23	8.55	media	muy alta	baja	muy baja	alta	muy alta	42.27	alta
Huité	Zacapa	1.14	12.39	2.94	2.69	13.96	8.95	muy baja	alta	baja	baja	alta	muy alta	42.06	alta
Santa Ana	Peñón	1.21	10.79	2.80	1.57	18.44	7.09	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	alta	41.90	alta
Santa María Ixuatán	Santa Rosa	1.24	10.52	2.60	1.64	18.36	7.51	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	muy alta	41.87	alta
San Martín Jilotepeque	Chimaltenango	1.55	12.50	3.33	0.94	15.69	7.87	muy baja	alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	41.87	alta
San Andrés Villa Seca	Retalhuleu	1.33	12.01	3.22	1.92	15.24	8.06	muy baja	alta	media	muy baja	muy alta	muy alta	41.78	alta
Sololá	Sololá	3.64	12.26	2.29	0.82	14.38	8.37	media	alta	baja	muy baja	alta	muy alta	41.77	alta
Malacatancito	Huehuetenango	1.98	11.11	2.92	1.80	17.25	6.64	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	alta	41.70	alta
Guanaqazapa	Escuintla	1.35	11.46	3.74	1.95	14.47	8.72	muy baja	alta	media	muy baja	alta	muy alta	41.69	alta
Río Blanco	San Marcos	2.20	10.08	3.85	1.96	17.69	5.91	baja	alta	media	muy baja	muy alta	media	41.68	alta
El Adelanto	Julitapa	1.23	11.38	2.98	1.45	17.50	7.08	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	alta	41.62	alta
San José Chacayá	Sololá	3.10	10.57	2.42	2.17	15.36	7.95	media	alta	baja	baja	muy alta	muy alta	41.57	alta
Chicacao	Suchitepéquez	1.98	12.88	2.82	2.26	12.60	8.93	muy baja	muy alta	baja	baja	alta	muy alta	41.47	alta
La Reforma	San Marcos	1.18	12.44	3.14	1.97	13.99	8.75	muy baja	alta	media	muy baja	alta	muy alta	41.46	alta

continúa...

Continuación de apéndice 2

Municipio	Departamento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Índice de vulnerabilidad sociodemográfica	Índice de vulnerabilidad en educación	Índice de vulnerabilidad en vivienda	Índice de vulnerabilidad en empleo	Índice de vulnerabilidad en servicios básicos	Índice de vulnerabilidad en equipamiento	Suma ponderada de vulnerabilidad	Índice de vulnerabilidad según suma ponderada
La Blanca	San Marcos	1.13	12.36	2.64	2.65	15.11	7.57	muy baja	alta	baja	baja	muy alta	muy alta	41.44	alta
El Asintal	Retalhuleu	1.59	11.15	3.17	2.13	15.75	7.28	muy baja	alta	baja	media	muy alta	alta	41.08	alta
Santa Clara La Laguna	Sololá	3.07	11.18	2.50	1.56	14.14	8.57	media	alta	baja	baja	alta	muy alta	41.02	alta
San Miguel Panán	Suchitepéquez	1.65	13.04	3.18	2.04	12.62	8.43	muy baja	muy alta	baja	media	alta	muy alta	40.96	alta
San Juan La Laguna	Sololá	3.49	10.05	1.91	1.62	16.01	7.80	media	alta	muy baja	muy baja	muy alta	muy alta	40.88	alta
San Lorenzo	San Marcos	2.07	9.00	3.38	1.40	16.82	8.21	baja	media	muy baja	media	muy alta	muy alta	40.87	alta
El Tumbador	San Marcos	1.22	11.42	2.85	1.83	15.50	8.06	muy baja	alta	baja	baja	muy alta	muy alta	40.87	alta
Melchor de Mencos	Petén	1.18	10.72	2.49	1.51	18.38	6.54	muy baja	alta	muy baja	baja	muy alta	alta	40.81	alta
Mataescuintla	Jalapa	1.21	12.44	2.51	2.02	14.99	7.59	muy baja	alta	baja	baja	alta	muy alta	40.77	alta
Zapotitlán	Jutiapa	1.28	10.19	2.78	1.60	16.93	7.88	muy baja	alta	muy baja	baja	muy alta	muy alta	40.66	alta
El Quetzal	San Marcos	1.13	12.01	3.00	1.54	15.30	7.67	muy baja	alta	muy baja	media	muy alta	muy alta	40.66	alta
San Francisco	Petén	1.81	10.90	3.16	1.86	15.59	7.32	muy baja	alta	muy baja	media	muy alta	alta	40.65	alta
San Carlos Sija	Quetzaltenango	2.01	11.14	3.65	0.62	17.12	6.04	baja	alta	muy baja	media	muy alta	alta	40.58	alta
Sipacate	Escuintla	1.25	11.76	2.87	2.91	14.43	7.31	muy baja	alta	baja	baja	alta	alta	40.54	alta
Pueblo Nuevo Vías	Totonicapán	1.31	11.10	2.52	1.77	15.65	7.90	muy baja	alta	baja	baja	muy alta	muy alta	40.25	alta
San Juan Bautista	Suchitepéquez	1.38	12.57	2.86	2.64	12.13	8.59	muy baja	muy alta	baja	baja	alta	muy alta	40.17	alta
San Lucas Tollimán	Sololá	2.11	10.46	2.46	0.83	15.58	8.61	baja	alta	muy baja	baja	muy alta	muy alta	40.04	alta
Nuevo Progreso	San Marcos	1.21	11.54	3.02	1.74	14.52	7.94	muy baja	alta	muy baja	media	muy alta	muy alta	39.97	media
Retalhuleu	Retalhuleu	1.22	10.81	2.80	2.03	16.11	6.95	muy baja	alta	baja	baja	muy alta	alta	39.93	media
San Martín Sacatepéquez	Quetzaltenango	2.88	13.51	2.43	0.81	10.83	9.43	baja	muy alta	muy baja	baja	media	muy alta	39.89	media
Moyuta	Jutiapa	1.21	10.97	2.88	1.86	15.70	7.16	muy baja	alta	baja	baja	muy alta	alta	39.78	media
Quezaltenango	Chiquimula	1.29	11.69	2.75	1.61	16.01	6.20	muy baja	alta	muy baja	baja	muy alta	alta	39.56	media
La Democracia	Huehuetenango	2.29	13.30	2.82	1.27	12.62	7.20	baja	muy alta	muy baja	baja	alta	alta	39.51	media
Yupitpeque	Jutiapa	1.17	10.86	2.67	1.57	15.81	7.42	muy baja	alta	muy baja	baja	muy alta	alta	39.50	media
Santo Domingo Suchitepéquez	Suchitepéquez	1.25	11.96	3.17	2.09	13.93	7.07	muy baja	alta	baja	media	alta	alta	39.48	media
Malacatán	San Marcos	1.06	12.25	3.07	1.60	13.63	7.79	muy baja	alta	muy baja	media	alta	muy alta	39.40	media
Santa Cruz del Quiché	Quiché	2.86	11.21	2.64	1.46	13.59	7.46	baja	alta	muy baja	baja	alta	alta	39.23	media
Totonicapán	Totonicapán	2.72	10.79	2.35	1.63	14.39	7.34	baja	alta	muy baja	baja	alta	alta	39.23	media
San Miguel Sigüilá	Quetzaltenango	3.83	12.31	2.96	0.35	11.80	7.90	media	alta	muy baja	baja	media	muy alta	39.15	media
Rabinal	Baja Verapaz	2.77	10.63	2.54	1.52	13.46	8.23	baja	alta	muy baja	baja	media	muy alta	39.15	media
Jalapa	Jalapa	1.21	11.36	2.37	2.20	13.90	7.94	muy baja	alta	baja	baja	alta	muy alta	38.98	media
San José La Máquina	Suchitepéquez	1.33	11.73	2.90	1.99	14.30	6.60	muy baja	alta	muy baja	baja	alta	alta	38.85	media
San Juan Tecuaco	Santa Rosa	1.23	10.16	2.69	1.62	14.42	8.66	muy baja	alta	muy baja	baja	alta	muy alta	38.78	media
Champerico	Retalhuleu	1.63	11.70	3.27	2.14	12.41	7.58	muy baja	alta	baja	media	alta	muy alta	38.72	media
Ostuncalco	Quetzaltenango	3.40	11.43	2.78	0.48	12.25	8.34	media	alta	muy baja	baja	alta	muy alta	38.68	media
San Lorenzo	Suchitepéquez	1.11	11.74	2.86	1.79	12.73	8.45	muy baja	alta	muy baja	baja	alta	muy alta	38.67	media
Chuanrancho	Guatemala	3.13	13.64	2.78	1.26	9.57	8.27	media	muy alta	muy baja	baja	media	muy alta	38.65	media
San Rafael Las Flores	Santa Rosa	1.30	12.01	2.84	1.81	13.22	7.35	muy baja	alta	muy baja	baja	alta	alta	38.54	media
San Agustín Acasagastlán	El Progreso	1.21	10.31	2.87	1.64	14.48	7.99	muy baja	alta	baja	baja	alta	muy alta	38.49	media
Patzún	Chimaltenango	3.45	11.27	2.22	0.94	11.82	8.64	media	alta	muy baja	baja	media	muy alta	38.35	media
San José La Arada	Chiquimula	1.43	12.63	2.84	1.85	14.13	5.29	muy baja	muy alta	muy baja	baja	media	muy alta	38.17	media
Pochuta	Chimaltenango	1.65	11.15	2.90	1.96	11.59	8.84	muy baja	alta	muy baja	baja	media	muy alta	38.09	media
El Rodeo	San Marcos	1.25	11.39	2.88	1.37	14.12	7.03	muy baja	alta	muy baja	baja	alta	alta	38.04	media
Jutiapa	Jutiapa	1.18	11.15	2.78	1.31	15.06	6.53	muy baja	alta	muy baja	baja	muy alta	alta	38.01	media

continúa...

Municipio	Departamento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Índice de vulnerabilidad sociodemográfica	Índice de vulnerabilidad en educación	Índice de vulnerabilidad en empleo	Índice de vulnerabilidad en vivienda	Índice de vulnerabilidad en servicios básicos	Índice de vulnerabilidad en equipamiento	Suma ponderada de vulnerabilidad	Índice de vulnerabilidad según suma ponderada
Casillas	Santa Rosa	1.25	12.28	2.93	0.97	14.34	6.06	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	37.82	media
Río Bravo	Suchitepéquez	1.37	12.22	2.93	2.11	11.11	8.04	muy baja	alta	baja	baja	media	muy alta	37.78	media
Tactic	Alta Verapaz	3.28	12.03	2.14	1.48	10.71	8.14	media	alta	baja	muy baja	media	muy alta	37.77	media
San Antonio Sacatepéquez	San Marcos	1.10	10.18	2.98	1.69	14.62	7.18	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	37.75	media
Los Amates	Izabal	1.22	11.60	2.72	1.77	13.52	6.59	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	37.44	media
Nueva Santa Rosa	Santa Rosa	1.27	11.05	2.65	1.25	14.87	6.22	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	37.30	media
Esquipulas Palo Gordo	San Marcos	1.17	10.12	2.87	0.54	15.44	7.11	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	alta	37.25	media
Acatenango	Chimaltenango	1.50	11.44	2.86	1.00	12.32	7.87	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	muy alta	37.00	media
Morazán	El Progreso	1.32	11.31	2.79	0.95	15.13	5.37	muy baja	alta	baja	muy baja	muy alta	media	36.88	media
Granados	Baja Verapaz	1.43	11.66	2.70	1.52	13.88	5.69	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	media	36.87	media
Flores Costa Curca	Quetzaltenango	1.09	11.33	2.86	1.73	12.66	7.12	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	36.78	media
Jacaltenango	Huehuetenango	3.04	11.08	2.59	1.91	11.21	6.92	media	alta	baja	muy baja	media	alta	36.74	media
San Pablo	San Marcos	1.23	11.89	3.03	1.64	12.03	6.91	muy baja	alta	media	muy baja	alta	alta	36.72	media
San Cristóbal Cucho	San Marcos	1.12	12.90	3.13	1.22	11.27	7.03	muy baja	muy alta	media	muy baja	media	alta	36.67	media
Jalpatagua	Jutiapa	1.24	10.14	2.85	1.42	14.85	5.99	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	media	36.49	media
San Antonio Suchitepéquez	Suchitepéquez	1.43	11.65	2.84	2.22	10.62	7.72	muy baja	alta	baja	baja	media	muy alta	36.48	media
Gualán	Zacapa	1.13	12.12	2.65	1.41	12.56	6.61	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	36.48	media
Taxisco	Santa Rosa	1.27	10.08	2.85	2.52	13.01	6.72	muy baja	alta	baja	baja	alta	alta	36.45	media
Nueva Concepción	Escuintla	1.10	11.21	2.77	1.71	13.81	5.84	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	media	36.44	media
San Jorge	Zacapa	1.10	10.80	3.36	1.97	12.76	6.28	muy baja	alta	media	muy baja	alta	alta	36.27	media
Ocos	San Marcos	1.10	11.36	2.64	1.73	13.70	5.73	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	media	36.26	media
Salamá	Baja Verapaz	1.74	11.01	2.34	1.35	13.36	6.43	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	36.23	media
Masequa	Escuintla	1.13	10.11	3.53	2.10	12.26	7.09	muy baja	alta	media	baja	alta	alta	36.22	media
San Antonio Huista	Huehuetenango	1.85	11.98	2.63	1.46	11.45	6.79	muy baja	alta	baja	muy baja	media	alta	36.17	media
Colomba	Quetzaltenango	1.13	10.78	2.75	1.72	11.79	7.85	muy baja	alta	baja	muy baja	media	muy alta	36.02	media
Comalapa	Chimaltenango	2.68	10.01	1.78	1.00	12.14	8.40	baja	alta	muy baja	muy baja	alta	muy alta	36.01	media
San Diego	Zacapa	1.21	9.47	2.78	1.28	15.13	6.13	muy baja	media	baja	muy baja	muy alta	alta	36.01	media
San Andrés Semetabaj	Sololá	3.06	11.12	2.24	0.45	11.54	7.48	media	alta	baja	muy baja	media	alta	35.99	media
San Vicente Pacaya	Escuintla	1.24	10.07	2.66	0.90	14.08	6.77	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	35.72	media
Santa Cruz Naranjo	Santa Rosa	1.38	9.59	2.50	1.20	15.43	5.50	muy baja	media	baja	muy baja	muy alta	media	35.60	media
Patzún	Chimaltenango	1.81	11.46	2.16	0.87	10.81	8.46	muy baja	alta	baja	muy baja	media	muy alta	35.57	media
Pasaco	Jutiapa	1.16	10.17	2.92	1.93	13.12	6.24	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	35.52	media
Chiquimula	Chiquimula	1.17	10.98	2.60	1.77	12.43	6.53	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	35.50	media
San Luis Jilotepeque	Jalapa	1.33	12.53	2.47	1.73	10.87	6.48	muy baja	muy alta	baja	muy baja	media	alta	35.41	media
San Pedro La Laguna	Sololá	3.53	8.11	2.40	1.53	14.07	5.71	media	media	baja	muy baja	alta	media	35.36	media
Catrina	San Marcos	1.09	10.24	3.03	1.44	13.83	5.72	muy baja	alta	media	muy baja	alta	media	35.34	media
San José El Idolo	Suchitepéquez	1.21	11.20	3.23	1.45	11.76	6.48	muy baja	alta	media	muy baja	media	alta	35.33	media
Santa Ana Huista	Huehuetenango	1.69	12.49	2.55	1.92	10.87	5.73	muy baja	alta	baja	muy baja	media	media	35.26	media
San Jerónimo	Baja Verapaz	1.42	11.33	2.25	1.56	12.21	6.28	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	35.06	media
San Raymundo	Guatemala	1.74	11.68	2.38	1.43	11.34	6.42	muy baja	alta	baja	muy baja	media	alta	34.99	media
Concepción Chiquirichapa	Quetzaltenango	3.95	11.22	2.71	0.63	6.94	9.50	media	alta	baja	muy baja	media	muy alta	34.95	media
Patulul	Suchitepéquez	1.52	11.04	2.65	2.02	10.43	7.24	muy baja	alta	baja	baja	media	alta	34.90	media
Oratorio	Santa Rosa	1.30	10.81	2.74	1.81	11.67	6.43	muy baja	alta	baja	muy baja	media	alta	34.76	media
Izapa	Escuintla	1.08	9.64	3.19	2.15	13.12	5.56	muy baja	media	baja	baja	alta	media	34.74	media
Usulután	Zacapa	1.35	10.37	2.70	1.85	12.45	5.95	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	media	34.67	media

continúa...

Continuación de apéndice 2

Municipio	Departamento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Suma ponderada de vulnerabilidad	Índice de vulnerabilidad según suma ponderada
Santa María de Jesús	Sacatepéquez	3.06	13.19	2.11	1.32	5.57	9.30	media	muy alta	baja	muy baja	muy baja	muy alta	34.55	media
Cabañas	Zacapa	1.26	11.61	2.91	2.08	9.29	7.37	muy baja	alta	baja	baja	media	alta	34.51	media
Morales	Izabal	1.18	10.81	2.57	1.52	12.33	6.06	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	alta	34.47	media
San José Acatempa	Jutiapa	0.96	10.43	3.09	1.12	13.64	5.00	muy baja	alta	media	muy baja	alta	media	34.24	media
Pachalum	Quiché	1.73	11.72	2.80	1.23	11.95	4.59	muy baja	alta	baja	muy baja	media	media	34.02	media
Chiquimulla	Santa Rosa	1.20	9.95	2.82	2.02	11.82	6.12	muy baja	media	baja	baja	media	alta	33.92	media
Santa Rosa de Lima	Santa Rosa	1.35	10.74	2.70	1.19	12.62	5.17	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	media	33.77	media
Quesada	Jutiapa	1.13	10.75	2.73	1.10	12.64	5.37	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	media	33.71	media
Yepocapa	Chimaltenango	1.52	11.62	2.60	1.74	7.38	8.56	muy baja	alta	baja	muy baja	baja	muy alta	33.42	media
El Chol	Baja Verapaz	1.27	10.98	2.67	1.12	12.41	4.95	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	media	33.40	media
Sanarate	El Progreso	1.05	9.21	2.90	1.24	13.34	5.56	muy baja	media	baja	muy baja	alta	media	33.26	media
Palencia	Guatemala	1.23	11.06	2.40	1.57	11.04	5.76	muy baja	alta	baja	muy baja	media	media	33.07	media
Sibilla	Quetzaltenango	1.22	10.41	3.20	0.83	13.78	3.56	muy baja	alta	media	muy baja	alta	baja	33.00	media
Atescatempa	Jutiapa	1.19	10.57	2.67	1.54	11.83	5.18	muy baja	alta	baja	muy baja	media	media	32.98	media
El Palmar	Quetzaltenango	1.33	10.67	2.93	1.18	9.49	7.36	muy baja	alta	baja	muy baja	media	alta	32.96	media
Pajapita	San Marcos	1.15	10.03	2.78	1.41	11.23	6.30	muy baja	alta	baja	muy baja	media	alta	32.90	media
Esquipulas	Chiquimula	1.27	11.87	2.49	1.57	9.53	6.17	muy baja	alta	baja	muy baja	media	alta	32.89	media
Barberena	Santa Rosa	1.18	10.10	2.46	1.67	11.20	6.20	muy baja	alta	baja	muy baja	media	alta	32.82	media
Flores	Petén	1.10	8.36	2.39	1.63	14.39	4.92	muy baja	media	baja	muy baja	alta	media	32.78	media
Agua Blanca	Jutiapa	1.13	11.95	2.92	0.89	12.03	3.79	muy baja	alta	baja	muy baja	alta	baja	32.71	media
La Gomería	Escuintla	1.10	10.74	3.08	2.15	9.17	6.47	muy baja	alta	media	baja	media	alta	32.71	media
San Benito	Petén	1.15	7.67	2.42	1.85	14.15	5.35	muy baja	media	baja	muy baja	alta	media	32.60	media
Guazacapan	Santa Rosa	1.12	8.98	2.50	2.18	11.00	6.81	muy baja	media	baja	baja	media	alta	32.59	media
San Juan Sacatepéquez	Guatemala	1.69	10.47	2.29	1.56	9.90	6.55	muy baja	alta	baja	muy baja	media	alta	32.46	media
La Democracia	Escuintla	1.27	9.98	3.27	1.99	9.79	6.08	muy baja	media	media	muy baja	media	alta	32.38	media
Concepción Las Minas	Chiquimula	1.11	11.16	3.16	0.77	11.82	4.20	muy baja	alta	media	muy baja	media	baja	32.24	media
San Antonio La Paz	El Progreso	1.08	10.19	2.57	1.44	11.42	5.20	muy baja	alta	baja	muy baja	media	media	31.90	media
San Bernardino	Suchitepéquez	1.56	11.33	2.82	1.87	6.63	7.45	muy baja	alta	baja	muy baja	baja	alta	31.66	media
Santa Catarina Mita	Jutiapa	1.32	11.20	2.59	1.37	10.39	4.77	muy baja	alta	baja	muy baja	media	media	31.65	media
San José	Escuintla	1.13	9.52	2.62	1.75	11.05	5.38	muy baja	media	baja	muy baja	media	media	31.45	media
Jeréz	Jutiapa	1.29	10.57	2.49	1.55	10.08	5.48	muy baja	alta	baja	muy baja	media	media	31.45	media
Cullepa	Santa Rosa	1.12	9.51	2.61	1.65	10.93	5.63	muy baja	media	baja	muy baja	media	media	31.44	media
Zunil	Quetzaltenango	3.22	13.54	2.17	0.49	4.44	7.45	media	muy alta	baja	muy baja	muy baja	alta	31.32	media
Santa Cruz Balanyá	Chimaltenango	1.71	9.01	1.82	0.93	9.82	7.92	muy baja	media	baja	muy baja	media	muy alta	31.21	media
El Jicaró	El Progreso	1.18	9.80	2.92	1.70	9.30	6.14	muy baja	media	baja	muy baja	media	alta	31.04	media
Tiquisate	Escuintla	1.18	10.53	2.47	1.92	9.23	5.62	muy baja	alta	baja	muy baja	media	media	30.94	media
San Manuel Chaparrón	Jalapa	1.26	11.86	2.71	1.36	8.27	5.24	muy baja	alta	baja	muy baja	baja	media	30.71	media
Ipala	Chiquimula	1.24	11.30	2.71	1.15	9.66	4.64	muy baja	alta	baja	muy baja	media	media	30.70	media
San Pablo Jocopilas	Suchitepéquez	1.31	11.37	2.22	2.79	5.88	6.52	muy baja	alta	baja	baja	muy baja	alta	30.60	media
Sumpango	Sacatepéquez	1.42	10.60	2.22	0.94	7.24	8.09	muy baja	alta	baja	muy baja	baja	muy alta	30.51	media
San Andrés Itzapa	Chimaltenango	1.95	11.13	2.26	1.38	5.42	7.85	muy baja	alta	baja	muy baja	muy baja	muy alta	30.00	baja
Coatepeque	Quetzaltenango	1.19	9.93	2.65	1.58	8.55	6.06	muy baja	media	baja	muy baja	baja	alta	29.96	baja
Monjas	Jalapa	1.09	11.04	2.61	1.52	8.42	5.01	muy baja	alta	baja	muy baja	baja	media	29.69	baja
Santa Cruz Mullú	Retalhueu	1.16	9.42	2.99	1.58	7.90	6.64	muy baja	media	baja	muy baja	baja	alta	29.68	baja
Zacapa	Zacapa	1.29	9.50	2.34	1.82	9.44	5.09	muy baja	media	baja	muy baja	media	media	29.47	baja

continúa...

Municipio	Departamento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Índice de vulnerabilidad sociodemográfica	Índice de vulnerabilidad en educación	Índice de vulnerabilidad en empleo	Índice de vulnerabilidad en vivienda	Índice de vulnerabilidad en servicios básicos	Índice de vulnerabilidad en equipamiento	Suma ponderada de vulnerabilidad	Índice de vulnerabilidad según suma ponderada
Asunción Mila	Jutiapa	1.30	11.14	2.61	1.58	8.82	3.98	muy baja	alta	baja	muy baja	baja	baja	29.43	baja
San Sebastián	Retalhuleu	1.16	9.24	2.44	1.16	8.90	6.32	muy baja	media	baja	muy baja	baja	alta	29.23	baja
Alotenango	Sacatepéquez	1.09	10.72	2.45	1.86	4.90	8.04	muy baja	alta	baja	muy baja	muy baja	muy alta	29.05	baja
Almolongá	Quetzaltenango	2.99	13.49	2.70	0.71	1.51	7.59	baja	muy alta	baja	muy baja	muy baja	muy alta	28.99	baja
Cantel	Quetzaltenango	1.81	8.96	1.95	1.47	7.40	7.24	muy baja	media	muy baja	muy baja	baja	alta	28.83	baja
Río Hondo	Zacapa	1.18	9.58	2.67	1.41	9.59	4.34	muy baja	media	baja	muy baja	media	baja	28.77	baja
San Cristóbal Acasaguastán	El Progreso	1.21	9.68	3.03	1.42	7.54	5.80	muy baja	media	media	muy baja	media	media	28.68	baja
Villa Canales	Guatemala	1.13	8.82	2.28	1.54	10.14	4.76	muy baja	media	baja	muy baja	media	media	28.67	baja
San Rafael Pie de la Cuesta	San Marcos	1.21	9.41	2.75	1.26	7.74	6.29	muy baja	media	baja	muy baja	baja	alta	28.66	baja
Ouyotenango	Suchitepéquez	1.28	10.14	2.58	1.90	6.46	6.09	muy baja	alta	baja	muy baja	baja	alta	28.45	baja
Santa Lucía Cotzumalguapa	Escuintla	1.18	9.55	3.08	1.84	6.52	6.15	muy baja	media	media	muy baja	baja	alta	28.31	baja
San José del Golfo	Guatemala	1.24	10.21	2.66	1.23	9.28	3.66	muy baja	alta	baja	muy baja	media	baja	28.29	baja
Pueblo Nuevo	Suchitepéquez	1.07	10.49	2.59	1.65	5.29	7.17	muy baja	alta	baja	muy baja	muy baja	alta	28.26	baja
Retalhuleu	Retalhuleu	1.20	9.23	2.74	1.72	8.01	5.30	muy baja	media	baja	muy baja	baja	media	28.20	baja
Siquinalá	Escuintla	1.25	9.21	2.86	1.99	6.38	6.41	muy baja	media	baja	muy baja	baja	alta	28.10	baja
San Pedro Sacatepéquez	Guatemala	1.83	9.89	1.80	1.89	5.83	6.44	muy baja	media	muy baja	muy baja	muy baja	alta	27.68	baja
Zaragoza	Chimaltenango	1.46	9.25	2.29	1.43	6.71	6.29	muy baja	media	baja	muy baja	baja	alta	27.42	baja
Sansare	El Progreso	1.16	8.96	2.45	1.27	9.13	4.33	muy baja	media	baja	muy baja	media	baja	27.30	baja
San Martín Zapotitlán	Retalhuleu	1.23	9.12	2.68	1.54	6.99	5.71	muy baja	media	baja	muy baja	baja	media	27.27	baja
Páramos	Chimaltenango	1.28	9.91	2.50	1.38	5.09	6.86	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	alta	27.02	baja
Magdalena Milpas Altas	Sacatepéquez	1.00	9.68	2.29	0.76	6.32	6.79	muy baja	media	baja	muy baja	baja	alta	26.82	baja
Samayac	Suchitepéquez	1.34	9.51	2.32	1.91	5.29	6.17	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	alta	26.54	baja
San Felipe	Retalhuleu	1.21	9.00	2.45	1.50	6.74	5.34	muy baja	media	baja	muy baja	baja	media	26.24	baja
San Pedro Sacatepéquez	San Marcos	1.13	8.64	2.49	1.01	7.51	5.42	muy baja	media	baja	muy baja	baja	media	26.20	baja
San Pedro Ayampuc	Guatemala	1.37	9.12	2.35	1.87	5.62	5.42	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	25.75	baja
Santiago Sacatepéquez	Sacatepéquez	1.82	10.11	1.84	0.83	3.90	7.26	muy baja	alta	muy baja	muy baja	muy baja	alta	25.75	baja
Ayúla	San Marcos	1.05	9.77	2.59	1.71	5.11	5.30	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	25.54	baja
Zumilto	Suchitepéquez	1.22	10.19	2.46	1.45	3.49	6.71	muy baja	alta	baja	muy baja	muy baja	alta	25.51	baja
Santa María Visitación	Sololá	2.86	7.26	2.85	0.47	5.80	6.16	baja	baja	baja	muy baja	muy baja	alta	25.39	baja
San Francisco Zapotitlán	Suchitepéquez	1.09	9.55	2.41	1.59	4.93	5.80	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	25.37	baja
Santo Domingo Xenacoj	Sacatepéquez	2.18	9.38	1.78	0.96	3.91	7.11	baja	media	muy baja	muy baja	muy baja	alta	25.33	baja
Puerto Barrios	Izabal	1.20	8.17	2.41	1.45	7.80	4.20	muy baja	media	baja	muy baja	baja	baja	25.24	baja
Mazatenango	Suchitepéquez	1.24	8.68	2.42	1.81	6.10	4.94	muy baja	media	baja	muy baja	baja	media	25.19	baja
Olintepeque	Quetzaltenango	1.58	8.76	2.31	1.16	6.56	4.81	muy baja	media	baja	muy baja	baja	media	25.18	baja
Teculúlán	Zacapa	1.12	8.64	2.56	1.46	6.32	5.04	muy baja	media	baja	muy baja	baja	media	25.15	baja
Santo Tomás La Unión	Suchitepéquez	1.51	9.65	2.69	1.67	4.24	5.19	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	24.95	baja
Chimaltenango	Chimaltenango	1.32	8.58	2.26	1.02	6.50	5.11	muy baja	media	baja	muy baja	baja	media	24.79	baja
San Marcos	San Marcos	1.21	7.92	2.63	1.06	7.03	4.89	muy baja	media	baja	muy baja	baja	media	24.74	baja
El Progreso	Jutiapa	1.13	9.42	2.53	1.33	6.06	3.78	muy baja	media	baja	muy baja	baja	baja	24.25	baja
Santa Catarina Barahona	Sacatepéquez	1.89	8.69	1.44	1.76	3.32	6.43	muy baja	media	muy baja	muy baja	muy baja	alta	23.53	baja
San Gabriel	Suchitepéquez	1.22	8.67	2.04	1.71	4.44	5.44	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	23.51	baja
Escuintla	Escuintla	1.18	8.26	2.61	1.96	4.12	5.18	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	23.33	baja
Pastores	Sacatepéquez	1.23	8.70	2.37	1.75	2.91	5.71	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	22.68	baja
Estanzuela	Zacapa	1.08	9.34	3.01	0.85	4.24	4.12	muy baja	media	media	muy baja	muy baja	baja	22.63	baja
Guastatoya	El Progreso	1.20	8.02	2.36	1.37	6.20	3.27	muy baja	media	baja	muy baja	baja	baja	22.42	baja

continúa...

Continuación de apéndice 2

Municipio	Departamento	Vulnerabilidad sociodemográfica	Vulnerabilidad en educación	Vulnerabilidad en empleo	Vulnerabilidad en vivienda	Vulnerabilidad en servicios básicos	Vulnerabilidad en equipamiento	Índice de vulnerabilidad sociodemográfica	Índice de vulnerabilidad en educación	Índice de vulnerabilidad en empleo	Índice de vulnerabilidad en vivienda	Índice de vulnerabilidad en servicios básicos	Índice de vulnerabilidad en equipamiento	Suma ponderada de vulnerabilidad	Índice de vulnerabilidad según suma ponderada
Amatitlán	Guatemala	1.17	7.91	2.37	1.69	5.11	3.99	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	baja	22.23	baja
San Antonio Aguas Calientes	Secatepéquez	1.51	8.64	1.71	1.67	3.24	5.41	muy baja	media	muy baja	muy baja	muy baja	media	22.17	baja
San Miguel Duerhas	Secatepéquez	1.21	9.31	2.20	1.36	2.38	5.59	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	22.06	baja
Palín	Escuintla	1.40	8.25	2.36	1.53	3.64	4.50	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	21.69	baja
Panajachel	Solá	1.91	7.60	1.83	1.22	4.65	4.39	muy baja	media	muy baja	muy baja	muy baja	baja	21.60	baja
Huehuetenango	Huehuetenango	1.30	7.98	2.27	1.14	5.35	3.29	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	baja	21.33	baja
Ciudad Vieja	Secatepéquez	1.13	8.85	2.10	1.28	2.10	5.72	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	21.18	baja
Chimautla	Guatemala	1.31	7.89	2.20	1.48	4.05	3.93	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	baja	20.85	baja
Santa Lucía Milpas Altas	Secatepéquez	1.11	7.63	1.97	0.95	4.73	4.22	muy baja	media	muy baja	muy baja	muy baja	baja	20.61	baja
Frijalnes	Guatemala	1.13	7.12	1.93	1.13	4.86	4.33	muy baja	baja	muy baja	muy baja	muy baja	baja	20.51	baja
San José Pinula	Guatemala	1.16	7.56	2.04	1.27	4.61	3.72	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	baja	20.37	baja
Santa Catarina Pinula	Guatemala	1.15	6.39	2.03	1.29	6.25	2.77	muy baja	baja	baja	muy baja	baja	muy baja	19.88	muy baja
Salcajá	Quetzaltenango	1.45	7.59	2.14	1.40	2.50	4.18	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	baja	19.26	muy baja
San Mateo	Quetzaltenango	1.12	7.60	2.30	1.04	2.57	4.61	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	19.24	muy baja
El Tejar	Chimaltenango	1.11	7.65	2.30	1.10	2.21	4.72	muy baja	media	baja	muy baja	muy baja	media	19.09	muy baja
Antigua Guatemala	Secatepéquez	1.38	7.14	2.12	1.35	2.79	3.87	muy baja	baja	baja	muy baja	muy baja	baja	18.66	muy baja
La Esperanza	Quetzaltenango	1.19	7.45	2.37	0.70	2.50	4.00	muy baja	baja	baja	muy baja	muy baja	baja	18.22	muy baja
San Bartolomé Milpas Altas	Secatepéquez	1.08	7.02	1.95	0.97	2.30	4.42	muy baja	baja	muy baja	muy baja	muy baja	baja	17.75	muy baja
Villa Nueva	Guatemala	1.16	6.56	2.21	1.45	3.35	2.85	muy baja	baja	baja	muy baja	muy baja	muy baja	17.57	muy baja
San Lucas Secatepéquez	Secatepéquez	1.14	6.06	2.03	1.11	4.21	2.89	muy baja	baja	baja	muy baja	muy baja	muy baja	17.45	muy baja
Quetzaltenango	Quetzaltenango	1.28	6.56	2.17	1.19	2.64	3.27	muy baja	baja	baja	muy baja	muy baja	baja	17.11	muy baja
Petapa	Guatemala	1.13	6.09	2.14	1.51	2.05	2.36	muy baja	baja	baja	muy baja	muy baja	muy baja	15.28	muy baja
Mixco	Guatemala	1.28	5.89	2.03	1.35	1.74	2.51	muy baja	baja	baja	muy baja	muy baja	muy baja	14.81	muy baja
Guatemala	Guatemala	1.32	5.94	2.08	1.52	1.36	2.51	muy baja	baja	baja	muy baja	muy baja	muy baja	14.74	muy baja
Jocotenango	Secatepéquez	1.33	5.90	2.07	1.30	0.76	2.87	muy baja	baja	baja	muy baja	muy baja	muy baja	14.24	muy baja

continúa...



discursos

Discurso de inauguración de la VII Semana Científica: «Universidad, ciencia y transformación social»¹

P. Miquel Cortés Bofill, S. J.²

Estimadas autoridades universitarias; estimados docentes, investigadores, investigadoras y estudiantes; estimada comunidad educativa del Sistema Universitario Landivariano; amigos y amigas. Es un privilegio inaugurar la VII Semana Científica en este contexto ya de pospandemia, que nos permite profundizar en nuestra vinculación y articulación como Sistema Universitario Landivariano en el marco del espacio investigativo y de proyección social de nuestra casa de estudios.

Desde sus inicios, la labor de la Compañía no fue una actividad limitada solo al estudio y la enseñanza de las humanidades: ya en sus primeros tiempos, los sacerdotes jesuitas incursionaron directamente en la producción de saberes científicos.

[...] El trabajo de generación de conocimiento científico era tan importante como el de formación. La «Ratio Studiorum», el plan de estudios, establecía que la instrucción debía centrarse en las disciplinas aristotélicas que eran parte de la renovación del pensamiento científico: la lógica, la física, la astronomía, la cosmología y las matemáticas.

Los jesuitas no solamente se enfocaron en instruir en estas materias, sino que se dedicaron a redescubrirlas y a profundizar en nuevas ideas basadas en sus propias indagaciones y en las de aquellos eruditos de la época con las que tenían correspondencia. Resultaba fundamental no estancarse y siempre tener flexibilidad, apertura y curiosidad en el trabajo intelectual (Medina, 2022, párr. 3).

Una característica notable de la Compañía de Jesús durante el período de su primera fundación (1540-1773) fue la participación de sus miembros en las ciencias. Las razones de este interés por el estudio científico pueden encontrarse en la naturaleza identitaria y la misión de la orden misma.

San Ignacio de Loyola consideraba la adquisición de conocimientos y la realización de trabajos mundanos como tareas espiritualmente provechosas, y esto fomentó en la Compañía una mentalidad orientada a la acción, utilitaria y simpatizante del estudio científico. Además, el papel de la Compañía de Jesús como los «maestros de escuela de Europa» significó que los principios pedagógicamente (y científicamente) útiles de racionalidad, método y eficiencia fueran muy valorados. La estructurada organización de la Compañía de Jesús, de carácter universal, creó entre sus miembros hábitos de cooperación y comunicación, esenciales para la recopilación e intercambio de información científica. Finalmente, el trabajo misionero en Asia y las Américas dio a los jesuitas oportunidades y motivaciones para estudiar y registrar los fenómenos de estos nuevos mundos.

Algunos de los jesuitas científicos más importantes de la historia datan de los siglos XVI y XVII, como José de Acosta, Matteo Ricci o Christopher Clavius. En los siglos XVIII y XIX figuran personajes como Eusebio Kino, Bartolomeu de Gusmão o Josef Dobrovský. En el siglo XX y lo que va del siglo XXI, hay nombres relevantes como James Cullen, Guy Consolmagno y Alberto Dou Mas de Xaxàs.

La Semana Científica de la Universidad Rafael Landívar es una iniciativa de contribución propositiva desde la investigación y la exposición de hallazgos científicos y académicos contextualizados a nuestra realidad social, nacional y global. Es una iniciativa que favorece el espíritu innovador de nuestros procesos educativos, siempre desde la realidad y con una intencionalidad de cambio y mejora continua. Este esfuerzo colectivo se enmarca en la propuesta de nuestro *Plan estratégico institucional 2022-2030*, donde la proyección integral de nuestro quehacer sustantivo «nos permite gestionar deliberadamente los desenlaces virtuosos que surgen de la acción e interacción

¹ Discurso ofrecido en la Universidad Rafael Landívar de Guatemala, el 10 de octubre del 2022.

² Rector de la Universidad Rafael Landívar.

de los dos ámbitos sustantivos, la educación y la investigación» (Universidad Rafael Landívar, 2021, p. 21). Esta interacción necesaria y pertinente entre el ámbito académico-educativo y el investigativo favorece la propuesta integral de una formación ignaciana de «ver nuevas todas las cosas». Por ello, debemos desarrollar el espíritu de discernimiento, de colaboración y de compromiso para la transformación social en cada uno de nuestros contextos locales y con una mirada global.

Es fundamental en esta Semana Científica, al igual que en las anteriores ediciones, mantener nuestro modo de proceder: iniciar con la experiencia que nace de una inserción, no solo intelectual, sino también emocional, en la realidad. Asumir los retos que la realidad nos ofrece, especialmente en los ámbitos de la curiosidad científica y de la sistematización conceptual. Además, procesar la información obtenida y sus hallazgos con una actitud crítica y, a la vez, propositiva.

El esfuerzo de vinculación entre la academia y la investigación no es fortuito. Es necesario dar una intencionalidad especial a esta importante iniciativa de generación de pensamiento y cultura colectiva. Esta intencionalidad debe ser siempre el servicio de la «persona» y su contexto. Una intencionalidad convertida en servicio a la dignificación de las personas y su contexto cultural, social y económico, con respeto a la diversidad y pluralidad.

Estoy convencido de que esta nueva Semana Científica contribuirá de sobremanera al debate conceptual y sistémico desde el intercambio y la complementariedad. También, a la divulgación de hallazgos de investigación que favorecerán la generación de propuestas para el mejoramiento de la dignidad y calidad de vida de nuestros y nuestras conciudadanas. Les deseo muchos éxitos en el desarrollo de la semana y agradezco la participación de toda la comunidad universitaria, en especial a la comisión organizadora y sus colaboradores y colaboradoras.

ciudad de Guatemala, 10 de octubre de 2022

Referencias

- Medina, D. (2022). Los jesuitas y la ciencia: Una misión del corazón y de la mente. *MAGIS*, (488). <https://magis.iteso.mx/?s=Los+jesuitas+y+la+ciencia>
- Universidad Rafael Landívar. (2021). *Plan estratégico institucional 2022-2030*. Universidad Rafael Landívar.

Presentación de la VII Semana Científica: el sistema renovado de investigación científico-crítica de la Universidad Rafael Landívar¹

Dr. Juventino Gálvez Ruano²

Muy buen día y muchas gracias por su comparecencia aquí en este auditorium; muchas gracias también a quienes nos siguen remotamente.

Estamos pensando en nuestras hermanas y hermanos guatemaltecos y centroamericanos, que sufren las afectaciones de la confluencia de estos eventos climáticos extremos (asociados al huracán Julia) y la vulnerabilidad sistémica local. Sin minimizar estos eventos, yo creo que la profundidad de sus daños podría disminuirse si nos empeñáramos en reducir la vulnerabilidad de las personas, es decir, su indefensión, porque esta —en buena medida— está bajo nuestro alcance. Nuestras dinámicas institucionales, sobre todo las extraordinarias, ya se han activado para servir, con nuestras propias capacidades, en la gestión del riesgo actual y sus desenlaces desastrosos. Paralelamente, también hemos hecho, desde ayer, algunas previsiones para que la programación de este encuentro se ajuste a las posibilidades reales y nos permita mantener cierta normalidad en nuestra actividad institucional.

Así, deseo saludar:

- al rector, P. Miquel Cortés Bofill, S. J.;
- a los estimados miembros de la mesa principal;
- a los miembros de los Consejos Directivo, Ejecutivo y de Investigación de la Universidad;
- a los miembros de la Comisión Académica de la VII Semana Científica; y
- al equipo de la Dirección de Proyección Universitaria (DPU), en su rol de secretaría ejecutiva permanente de la Semana Científica.

Un agradecimiento especial para:

- la estimada Dra. Azul América Aguiar: estamos muy agradecidos con usted, no solo por aceptar nuestra invitación para la disertación inaugural, sino por la posibilidad de celebrar otros intercambios que le den más perspectiva a nuestra cooperación interinstitucional; y
- todas y todos los investigadores disertantes durante la Semana Científica, pues sin su trabajo y su esfuerzo, este encuentro no podría celebrarse.

También deseo agradecer:

- a los investigadores e investigadoras que participan en la exposición de pósteres científicos, especialmente a jóvenes investigadores recién graduados: estimamos mucho su esfuerzo y entusiasmo;
- a la comunidad universitaria y amistades en general.

Deseo darle un breve contexto a la VII Semana Científica y me honra hacerlo en nombre de las dos vicerrectorías coorganizadoras: la Vicerrectoría Académica (VRAC) y la Vicerrectoría de Investigación y Proyección (VRIP).

Si vemos hacia atrás, tenemos dos momentos de referencia: (1) el 2016, cuando se lanzó la primera edición de la Semana Científica, y (2) a partir de ahí hemos tenido sucesivos testimonios sobre nuestro desempeño institucional, tanto en materia de investigación, como en lo que concierne a sus mecanismos de despliegue, como este. Tengo que decir que ha sido accidentado, por razones internas y externas. En el primer caso, muchos hemos sido testigos de distorsiones y especulaciones en materia de investigación que detuvieron la evolución progresiva y deliberada que se había venido gestando durante las últimas dos décadas. En el segundo caso, es decir, las razones externas, creo que todos podemos coincidir en la perversión institucional que se ha develado en el país, quizá con mayor

¹ Transcripción textual de discurso ofrecido en la Universidad Rafael Landívar de Guatemala, el 10 de octubre del 2022.

² Vicerrector de Investigación y Proyección de la Universidad Rafael Landívar.

nitidez y profundidad en los últimos dos lustros y que, por un lado, revela la imposibilidad de dar contenido concreto al precepto constitucional del bien común como «gran móvil» de la investigación; y por otro, la imposibilidad de establecer vinculaciones efectivas con interlocutores que le dan validez, escala y trascendencia a las propuestas que emanan de los espacios universitarios.

Pero, independientemente de su alcance, yo considero que cada ejercicio de la Semana Científica, siendo sostenido por el entusiasmo creativo e ineludible de la comunidad académica, siempre mantuvo vigente la idea de alimentar el diálogo científico-crítico de la investigación landivariana, tal como se espera de una institución universitaria con la identidad jesuita y el carisma ignaciano.

Esa idea-germen, la del diálogo científico-crítico, me lleva al segundo momento que tiene su inicio formal con el actual rectorado y el inmediato lanzamiento del *Plan estratégico institucional 2022-2030* (PEI). Es con este hecho y por esta vía que se ha logrado recrear un espacio colectivo y redáquico de imaginación y gestión de un renovado Sistema Universitario Landivariano (SUL), a partir de una revalorización de lo que, en efecto, es estratégico. Es decir, lo que de manera deliberada induce el cambio, en sentido evolutivo, surge de reorganizaciones pensadas y conducidas para aspirar a un nuevo orden y nivel a tono con la identidad (en este caso, jesuita) y con lo que impone el entorno, analizando críticamente, en este nivel, aquellos fenómenos que pueden ser cambiados con el ejercicio universitario o que demandan una adaptación inteligente. Es con estas inspiraciones que conceptualizamos, diseñamos e instalamos las condiciones para investigar. Es decir, sistematizar las relaciones entre los equipos de investigación (profesionales y en formación) y la realidad para, de esa manera, consolidar un sistema generador de conocimiento nuevo y trascendente, amparado en la inter y transdisciplinariedad, pero de manera real, no discursiva.

Entonces, si vemos ahora el momento actual, estamos hablando concretamente de una nueva estructura funcional para la VRIP, unas condiciones laborales apropiadas y no discriminatorias, unas capacidades materiales y financieras que serán progresivamente fortalecidas y un ordenamiento programático contenido en una formidable agenda universitaria de investigación, formulada colaborativamente entre la VRIP y la VRAC. Esta agenda y este trabajo colaborativo que se articula de variadas maneras y perspectivas busca, entre otras virtudes, eliminar esa falsa e inconveniente dicotomía entre educación e investigación y asegurar, más bien, que la enseñanza de la investigación (investigación formativa, cuyo énfasis está en el proceso) y el ejercicio de la investigación (investigación creativa, cuyo énfasis está en el producto) confluyan en el mismo sujeto, en los mismos espacios. Es decir, tanto estudiantes como investigadores e investigadoras profesionales necesitan vincularse a un proceso continuo, tanto de aprendizaje como de ejercicio investigativo. En esencia, aprender a aprender, que es lo que la investigación facilita.

Estos procesos y estas aspiraciones se han ensamblado armónicamente, diría yo, con el vertebral proceso de renovación educativa que impulsa la VRAC, que busca, de manera progresiva, consolidar la institucionalización de un modelo educativo que tiene el potencial de garantizar la realización plena de las y los estudiantes —en tanto personas—, para que sean portadores y portadoras de las competencias y las actitudes que van a buscar, con conocimiento contextualizado, el cuidado del país y del mundo, cuyas dinámicas tienen tal complejidad que demandan miradas interdisciplinarias, y cuyas bases conceptuales y metodológicas serán aprendidas aquí en el Sistema Universitario Landivariano. Entre otros sentidos, esta aspiración incluye que las y los egresados landivarianos serán sujetos pensantes, con competencias y actitudes propicias para cambiar «lo que hay» y no sujetos pensados para encajar mecánicamente en un mundo con perversiones que permiten la degradación de las personas, de la vida en todas sus formas y sus entornos naturales.

A tono con estas ideas, me parece oportuno recordar que la investigación que impulsamos tiene tres criterios de demarcación: el epistemológico, el ético-político y el pensamiento crítico. Estos criterios nos ofrecen, en un sentido teórico, la atención de las bases empíricas del conocimiento, su pertinencia y su trascendencia, respectivamente. No es el momento para reflexionar profundamente al respecto, así que solamente me remito a decir que nuestra cotidianeidad está marcada por reflexiones y acciones concretas para asegurar que el rigor investigativo se despliegue en favor de los grupos, espacios concretos y objetivos que encarnan las opciones preferenciales de la Compañía de Jesús³ y que, en el momento en que las condiciones imperantes las frenen,

³ Estas opciones son: (I) mostrar el camino hacia Dios mediante los ejercicios espirituales y el discernimiento, discernir sobre lo trascendente; (II) caminar junto con los pobres, los «descartados» del mundo, los vulnerados en su dignidad, en una misión de reconciliación y justicia; (III) acompañar a los jóvenes en la creación de un futuro esperanzador; y (IV) colaborar con el cuidado de la «casa común».

nuestra investigación está llamada a revelar las razones y causas de ese proceder. En efecto, estas opciones preferenciales de la Compañía de Jesús resultan vertebrales en nuestro trabajo, pues nos recuerdan que no importa cuán sofisticado sea nuestro arsenal metodológico e instrumental investigativo, si no existe un talante ético capaz de mirar las bases estructurales de esa compleja trama de relaciones con raíces históricas que impiden el acceso oportuno, suficiente y continuo a los elementos materiales y simbólicos que son determinantes para la realización física, psicológica y espiritual de las personas, la calidad de las relaciones comunitarias, la salud de sus entornos naturales y, en síntesis, para el sostén de la vida digna en todas sus formas.

Nuestra investigación tiene que innovar, tiene que aprovechar oportunidades, pero atendiendo a actores, lugares y circunstancias. Tiene que encaminarse a atender injusticias, a incluir, a salvar espacios naturales, a abrir diálogos. Esto es lo que, en esencia, le dará legitimidad social y trascendencia a nuestra labor institucional y personal. En todo este andamiaje institucional landivariano, cuidadosamente pensado y en constante dinamismo, la Semana Científica es solamente un mecanismo. Es, al mismo tiempo, un espacio concreto de reflexión sobre el progreso investigativo, así como de retroalimentación de aquello. Un espacio que privilegia el diálogo colectivo, local y global. La Semana Científica es un examen, corto quizá, pero profundo y útil para la construcción colectiva de la labor investigativa que, como ya sabemos, es una institución social marcada por las culturas y las circunstancias de la época.

Ahora bien, si vemos hacia adelante aún más y contemplamos el ejercicio universitario de manera integral, es oportuno y conveniente recordar que hemos logrado reconstruir y construir los marcos estratégicos y de políticas institucionales, las condiciones de posibilidad (humanas, físicas, financieras y de información), los enfoques de trabajo y los liderazgos para darle certeza y continuidad a nuestra labor institucional. Así que nos debemos comprometer con procesos transformadores que, por su naturaleza, adquieren forma e impactan en el mediano y largo plazo. Ya ven que el PEI tiene una mirada hacia el 2040 fundada en una intensa actividad durante la década.

De lo dicho anteriormente creo que se colige la relevancia de la conferencia inaugural. La democracia como sistema político se funda en algunos valores y pautas para la acción (que serán abordados hoy), que se han erosionado hasta el extremo, tal como lo patentiza la evidencia en múltiples facetas de esta. Creo que todas las personas y sectores tienen que adquirir consciencia sobre estos hechos y sus consecuencias —especialmente las y los jóvenes—, porque el escenario (simbólico y material) en el que se están desarrollando sus vidas no es poca cosa y es un escenario común.

Esta reflexión, si en algún lugar no se puede evadir, es en las universidades verdaderas. Las universidades tienen un compromiso con la democracia y, para hacer valer sus puntos de vista, recurren a particulares maneras universitarias de incursionar en el campo político. Aquí, en la URL, esas maneras las abordamos bajo una concepción de acción pública. Y aunque tampoco es momento para su abordaje profundo, solo diré que tenemos que optimizar esas maneras: la comunicación, la incidencia y los servicios de proyección que incluyen mecanismos concretos de trabajo en el terreno, como los proyectos de campo, los centros integrales de proyección (CIP) apuntalados desde el PEI y los observatorios académicos, por ejemplo.

El fracaso de las democracias también es nuestro fracaso y nuestra obligación inmediata es adquirir consciencia sobre ello y trabajar universitariamente para construirla y defenderla. Ignorar eso equivale a la pretensión de lanzar semillas sin tener certeza del estado del terreno, uno que puede ser totalmente estéril. Creo que un Sistema Universitario Landivariano prestigioso, éticamente solvente y crítico es nuestra mejor contribución a la democracia.

Realmente espero que disfrutemos este espacio y tengan la certeza de que los elementos que surjan de esta edición los utilizaremos apropiadamente para la preparación de la siguiente.

ciudad de Guatemala, 10 de octubre de 2022

Esta publicación se distribuye de forma digital,
fue finalizada en octubre de 2023.

Christopher Clavius (1538-1612) fue un científico jesuita que destacó en ciencias como la matemática y la astronomía. Esta revista, que conmemora a este importante personaje, es un esfuerzo conjunto entre el Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna) y la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas (FCAA) de la Universidad Rafael Landívar, que forman parte de la red de universidades jesuitas en el mundo.

La revista es un espacio académico de acceso abierto en donde se difunden contribuciones técnico-científicas y los resultados de la investigación que realizan quienes integran el Sistema Universitario Landivariano (investigadores, catedráticos y estudiantes) y académicos externos que deseen publicar contenidos originales, innovadores, creativos, especializados y pertinentes para dar a conocer la realidad internacional, regional y nacional en torno a los temas que impulsa la agenda de investigación de la Universidad Rafael Landívar (URL).

Las contribuciones a *Clavius. Revista académica de ciencia y tecnología* enfatizan la necesidad de identificar, comprender y repostar las leyes y principios que rigen el funcionamiento de los ecosistemas y condicionan la factibilidad y continuidad de la vida en todas sus formas. Para estructurar y orientar dicho cometido, se propone que las contribuciones se centren en investigación científico-crítica sustentada en la noción de «ecología integral», en la búsqueda de la comprensión y la reconfiguración de las interacciones sociedad-naturaleza para conservar, restaurar y gestionar territorios resilientes y funcionales al bien común. En términos generales, se abordan temas relacionados con: la ecología, el estado y las tendencias de los bienes naturales, la biología y los límites para la vida, la ecología y las condiciones ambientales para la vida, la economía ecológica, la agroecología, la ecología política, los procesos de determinación de salud-enfermedad, la epidemiología, daños y riesgos de la salud-enfermedad, la salud pública, la ciencia de datos y la ingeniería y arquitectura para la gestión ambiental y urbana.

La revista tiene una periodicidad semestral, se publica en formato digital y cuenta con el soporte de un Comité Editorial y de revisores invitados. Inicia su recorrido con la perspectiva de alcanzar gradualmente el arbitraje académico y reconocimiento internacional.

ISBN: 978-9929-54-557-1



Universidad
Rafael Landívar
Identidad Jesuita en Guatemala



Grupo de
Editoriales
Universitarias
AUSJAL