



Percepción ambiental en la Sierra Madre Oriental, Hidalgo, México: un análisis usando redes bayesianas

Pavón, N. P., Hernández-Cordoba, H., Valencia-Herverth, J. y Bravo-Cadena, J. (2026).
Percepción ambiental en la Sierra Madre Oriental, Hidalgo, México: un análisis usando
redes bayesianas. [*Postprint*]. CIENCIA *ergo-sum*, 33.

<https://doi.org/10.30878/ces.v33n0a70>

Sección: Ciencias Humanas y de la Conducta

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Esta versión del artículo es una “versión final del autor” que fue aceptada por un proceso de **evaluación por pares ciegos**. Este documento diferirá en formato respecto a la “versión del editor”, la cual se someterá a un proceso de corrección de estilo y de diseño editorial. De ninguna forma se modificará el contenido. Todas las ideas que se presentan son responsabilidad del autor.

Percepción ambiental en la Sierra Madre Oriental, Hidalgo, México: un análisis usando redes bayesianas
Environmental perception in the Sierra Madre Oriental, Hidalgo, Mexico: An analyses using Bayesian networks

Numa P. Pavón*, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.¹

Correo electrónico: npavon@uaeh.edu.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0666-5268>

Hansel Hernández-Cordoba, Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana, México.

Correo electrónico: hanz.cordoba.24@proton.me

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1937-7281>

Jorge Valencia-Herverth, Tecnológico Nacional de México, Campus Huejutla, Extensión Molango, Av. Corregidora, s/n, Barrio Santa Cruz primera Sección, Molango de Escamilla, Hidalgo, México.

Correo electrónico: valencia_herverth@yahoo.com.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0802-5643>

Jessica Bravo-Cadena, Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo/ Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Correo electrónico: jesybravo@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8032-9938>

Recepción: 7 de marzo de 2025
Aprobación: 15 de diciembre de 2025

RESUMEN

Se analizó la percepción ambiental en la Sierra Madre Oriental, México, mediante una red bayesiana basada en datos recopilados a través de encuestas de Google Forms. El análisis generó ocho escenarios hipotéticos, incluyendo la deforestación y la escasez de agua. Los bosques se consideraron más importantes que los campos agrícolas, y la leña se identificó como el recurso más valioso. Los participantes más jóvenes mostraron mayor preocupación por la extinción de especies, mientras que los adultos se preocuparon más por la escasez de agua. La población reconoció que la deforestación conduciría al deterioro del nexo agua-bosque y, en consecuencia, a una disminución de su bienestar. En general, se observó un alto nivel de conciencia ambiental y una actitud proactiva.

PALABRAS CLAVE: bosque de niebla, Cambio climático, agua, género, problemas ambientales.

ABSTRACT

¹ Autor para correspondencia.

Environmental perception in the Sierra Madre Oriental, Mexico, was analyzed using a Bayesian network based on data collected through Google Forms surveys. The analysis generated eight hypothetical scenarios, including deforestation and water scarcity. Forests were regarded as more important than agricultural fields, with firewood identified as the most valuable resource. Younger respondents were more concerned about species extinction, whereas adults were more concerned about water scarcity. The population recognized that deforestation would lead to the deterioration of the forest-water nexus and, consequently, a decline in their well-being. Overall, a high level of environmental awareness and a proactive attitude were observed in the study area.

KEYWORDS: Cloud forest; Climatic change, Gender; Environmental issues; Water.

INTRODUCCIÓN

La solución a los problemas ambientales, incluyendo el impacto del cambio climático, necesitan de la sociedad una actitud proactiva que prevé situaciones potenciales de riesgo, la cual está relacionada con una buena percepción ambiental. La percepción ambiental varía entre individuos y comunidades como consecuencias de diversos factores como creencias, conocimientos, experiencias previas y opiniones sobre su realidad (Howe *et al.*, 2019). Se ha postulado la hipótesis de que la percepción social disminuye conforme se incrementa la distancia espacial y/o temporal con experiencias e información sobre eventos ambientales negativos (distancia psicológica) (Maiella *et al.*, 2020). Una primera aproximación para implementar estrategias de solución a problemas ambientales es evaluar la percepción ambiental, ya que todo proyecto debe ser de inicio aceptado y apoyado por la sociedad (Azadi *et al.*, 2019).

A mayor información que las personas tienen sobre el ambiente se genera mejor actitud y mayor preocupación ante eventos extremos provocados por fenómenos naturales como el clima (Cantú-Martínez, 2020; León *et al.*, 2021). Además de las escuelas y la televisión, el internet y el uso de redes sociales están contribuyendo a romper la barrera de la información, así que las personas pueden enterarse de inmediato de los impactos de eventos climáticos extremos. Mientras que las experiencias personales, aquellos impactos sufridos en sus comunidades, generan una impronta que se refleja en mayor percepción de riesgo (Weber, 2016). Por lo que, a mayor magnitud e intensidad del evento sufrido dentro de sus comunidades la percepción social es más duradera (Ripberger *et al.*, 2017). Por otro lado, hay que tomar en cuenta que, por desgracia, circula mucha información falsa o incorrecta.

Por ejemplo, es muy frecuente que en redes sociales se compartan imágenes de desastres ambientales desactualizadas.

En las comunidades rurales existen múltiples apreciaciones sobre el ambiente, donde las diferencias sociales, como el género y la edad, tienen gran relevancia en la percepción social y la toma de decisiones. En este sentido se ha reportado que las mujeres tienen mayor preocupación por los problemas ambientales y mejor actitud proambiental que los hombres (Swim *et al.*, 2020). Con respecto a la percepción de riesgo el nivel educativo se ha considerado globalmente como el predictor más importante (Van der Linden, 2015). En México, el acceso a la educación básica es mayor a lo que ocurría a mediados del siglo pasado, por lo que las personas mayores de 60 años en particular las mujeres, tuvieron menor nivel educativo. Aún persisten rezagos educativos para la población indígena lo que está vinculado con la marginación y al género. Incluso entre estudiantes de zonas rurales hay diferencias en la percepción ambiental entre quienes tomaron cursos de ciencias ambientales y aquellos con carreras distantes al tema (Cantú-Martínez, 2020).

Las redes bayesianas se están utilizando cada vez más para explorar problemas ambientales, (May *et al.*, 2019; Kaikkonen *et al.*, 2021). Sin embargo, aún son escasos los trabajos que las utilizan para analizar la percepción ambiental y en particular el impacto del cambio climático (Phan *et al.*, 2021; Heeren *et al.*, 2023). La opción de generar escenarios hipotéticos del tipo ¿Qué pasaría si?, permite generar probabilidades a posteriori que es una base importante para construir prospectiva que busque soluciones, tales como estrategias de adaptación ante fenómenos climáticos extremos.

La zona centro de la Sierra Madre Oriental es una región vulnerable al cambio climático debido a su exposición y alta sensibilidad (CONANP-GIZ, 2013). Se caracteriza por su bajo desarrollo humano y alta marginación, con una importante población indígena. Además, es una zona prioritaria para la conservación biológica como parte del corredor del bosque mesófilo de montaña. Bajo este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar la percepción social al cambio climático y otros problemas ambientales, a partir de escenarios hipotéticos generados mediante la construcción de una red bayesiana para generar información básica que permita desarrollar y aplicar estrategias de adaptación. Para la construcción de la red se consideraron diferencias de género, edad y ocupación. Además, se exploró la hipótesis de

que las mujeres y estudiantes tienen mejor percepción de los problemas ambientales y son más proactivas que los hombres.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1. 1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en la zona sur de la Sierra Madre Oriental, ubicada en el suroeste de México (Figura 1). Esta área contiene 13 municipios con una población total de 319790 habitantes, de los cuales 155196 son hombres y 164594 mujeres (INEGI, 2020). Los municipios con mayor población son Zacualtipán de Ángeles, Molango y Tlanchinol. La zona mantenida una gran belleza escénica y alberga una extensión significativa de bosques templados incluyendo el bosque de niebla (Figura 1). Este ecosistema es altamente biodiverso y proporciona servicios ecosistémicos esenciales tales como los hídricos y el almacenamiento de carbono. Un alto porcentaje de la población de la zona es indígena (Náhuatl). En general, la población sufre por la pobreza y marginación.

El área de estudio se caracteriza por un paisaje antropizado con algunos fragmentos de vegetación natural dentro de una matriz de tierras para cultivo y principalmente pastizales inducidos para la ganadería extensiva. Históricamente la zona ha sufrido una continua deforestación debido al crecimiento ganadero. La pérdida de bosques ha tenido impacto en los servicios ambientales entre ellos los hídricos. Es así que el agua se ha convertido en un recurso limitado para la población. Otros problemas ambientales destacables en la zona es la contaminación de agua por la minería de manganeso en el municipio de Molango. Los tiraderos a cielo abierto, junto con el agua, preocupan más a la población ya que lo están padeciendo más recientemente. En un estudio sobre adaptación el cambio climático en la zona (CONANP-GIZ, 2013). Se reportó su vulnerabilidad debido a su alta exposición a un incremento de temperatura y la disminución de las lluvias para un futuro mediano (2050). Por otro lado existe una baja capacidad adaptativa con rezagos en salud, carreteras e infraestructura hidráulica.

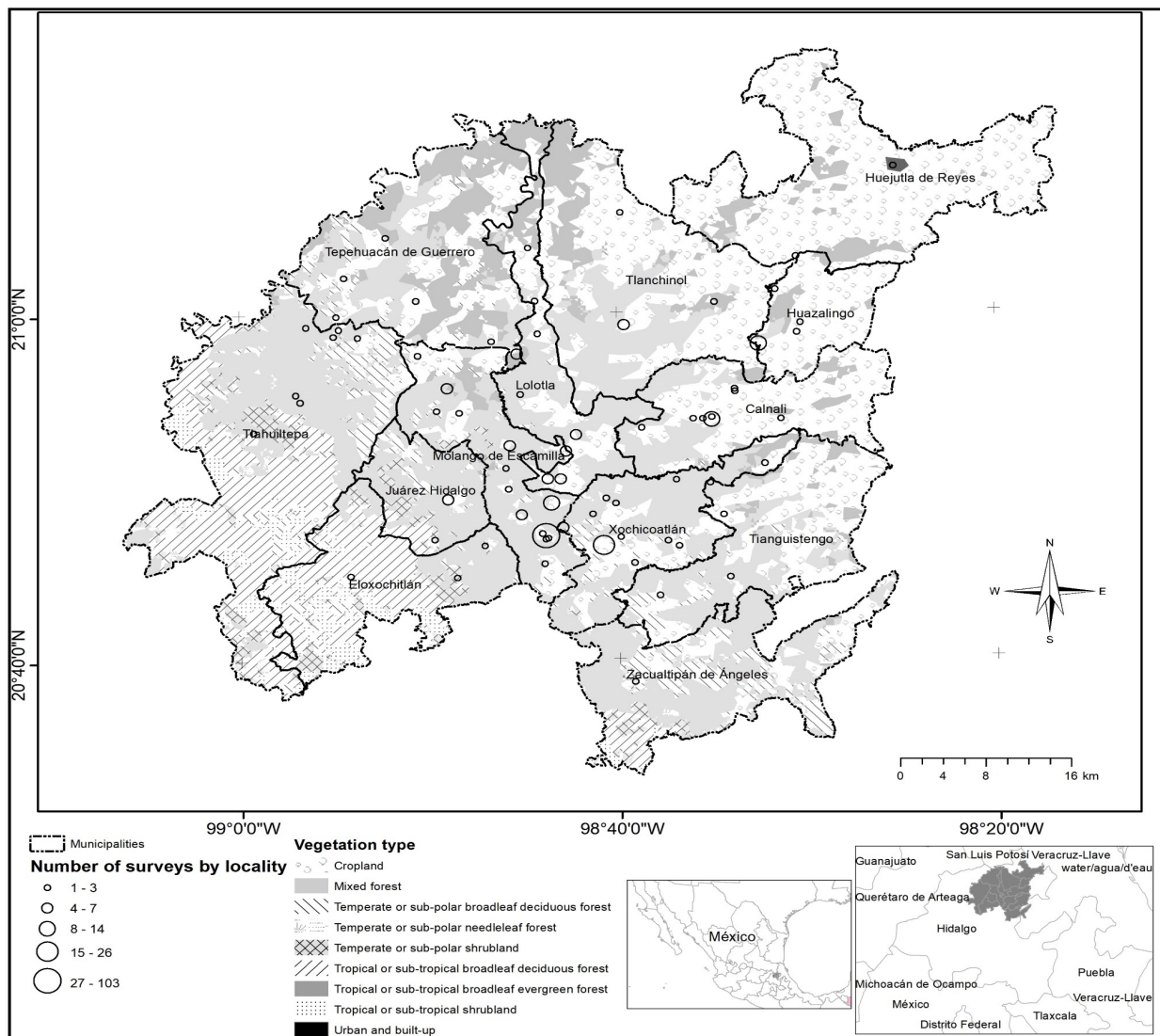


Figura 1
Ubicación del área de estudio en la zona sur de la Sierra Madre Oriental, México

Fuente: elaboración propia

Nota: Se muestran las encuestas realizadas por municipio, su tamaño indica el número de encuestas

1.2. Método de encuesta

Se realizó una encuesta estructurada con 10 preguntas de opción múltiple sobre la percepción de los problemas ambientales en el área de estudio (Cuadro 1). Las respuestas posibles que

se incluyeron en la encuesta buscaron tener una interpretación válida de la intención o percepción del respondiente, evitando aquellas que tuvieran pudieran tener diferentes interpretaciones. La encuesta fue capturada en “Google Forms” con las respuestas guardadas automáticamente (Mohamed et al., 2021). Todos los ítems fueron obligatorios y el usuario solo podía elegir una respuesta por pregunta. Considerando que la encuesta se compartiría vía electrónica se realizó un método tipo bola de nieve comenzando con un grupo control. Por lo que las encuestas fueron enviadas primero a 45 estudiantes del Tecnológico Nacional de México, campus Molango, en el estado de Hidalgo, donde labora uno de los coautores del trabajo (JVH). Todos los estudiantes encuestados previamente habían cursado las materias de ecología, desarrollo sostenible, agroecología y/o manejo del agua. Posteriormente, cada estudiante envió la encuesta a otras diez personas, entre sus familiares y amigos, siguiendo tres criterios: i) todos los encuestados debían vivir en el área de estudio, ii) ningún estudiante debía enviar la encuesta a un compañero de la misma escuela, y iii) la misma sesión de Google no podía ser utilizada para responder más una encuesta.

Para este trabajo mantuvimos la interculturalidad, la igualdad y la no discriminación por orientación sexual o género.

Cuadro 1

Encuesta sobre la percepción ambiental aplicada a personas que viven en la zona sur de la Sierra Madre Oriental, en Hidalgo, México

1. ¿Cuál es su género? (Género). a). Hombre (H). b). Mujeres (M). 2. ¿Cuántos años tiene? (Edad). a). 12-17 años. (Adolescente). b). 18-25 años. (Joven). C). >26 años. (Adulto). 3. ¿Cuál es tu ocupación? (Actividad). a). Trabajo en casa (Hogar). b). Estudiante. C). Docente (Maestro). d). Trabajador. 4. ¿Qué es más importante para ti? (Más importante). a). Tierras agrícolas (Tierra agric.). b). Bosques.	7. ¿Qué productos obtienes del bosque? (Uso del bosque). a). Agua. b). Leña. C). Madera para la construcción (Madera). d). Alimentos, medicinas, suelos y otros productos (Otros). 8. ¿Qué efectos se espera que ocurran debido al cambio climático en su área? (Cambio climático). a). Sequía o aumento de precipitaciones (< Lluvia). b). Extinción de especies (Extinciones). C). Aumento de temperatura (> Temp.). d). No lo sabe. 9. ¿Qué crees que pasaría si los bosques desaparecieran y solo quedaran pastos y parcelas agrícolas? (Escenarios futuros).
---	--

5. ¿Cuál es el principal problema ambiental en su zona? (Problemas ambientales).

- A). La deforestación (Deforest.).
- B). La minería (Minas).
- C). La contaminación del agua (Contam. Agua).
- D). Botaderos de basura (Basura).
- E). La cacería (Caza).
- F). No lo sabe.

6. ¿Qué consideras más importante en un bosque? (Más importa bosque).

- a). Agua.
- b). Plantas y animales silvestres (Vida silvestre).

- A). No habría agua (Sin agua).
- B). Los animales y plantas silvestres se extinguirían (Extinción).
- C). Haría más calor ($>$ Temp.).
- D). Llovería menos ($<$ Lluvia).
- E). Las cosas seguirán igual que ahora (Sin cambio).

10. ¿Qué harías si no hubiera agua en tu zona? (Escenario sin agua).

- A). Trae agua de otro lugar, aunque pagues más (Llevarla).
- B). Pida ayuda al gobierno (Ayuda gob.).
- C). Irse a vivir a otro lugar (Emigrar).
- D). Espera a que llueva (Esperar lluvia).

Fuente: elaboración propia

Nota: Se incluyen los acrónimos, entre paréntesis que se encuentran en la red bayesiana (figura 2) y en las figuras tres, cuatro y cinco

2. RED BAYESIANA

Las redes bayesianas (RB) son modelos probabilísticos basados en el teorema de Bayes, que representan relaciones de dependencia causal entre variables, bajo el supuesto de que el sistema puede describirse mediante un esquema dirigido acíclico, es decir, sin bucles de retroalimentación (Kaikkonen et al., 2021). Una RB está compuesta por nodos que representan variables aleatorias, cada una con diferentes estados o niveles, cuyas probabilidades suman 1. Los nodos están conectados por flechas unidireccionales que indican relaciones causales y transmiten información probabilística entre ellos. Un nodo sin variables que lo influyeran se denomina nodo padre, mientras que aquellos que reciben información de otros nodos se conocen como nodos hijo.

Los valores de probabilidad *a priori* de los estados se derivaron de los datos obtenidos en las encuestas. Sin embargo, las probabilidades pueden modificarse *a posteriori* mediante el proceso de inferencia bayesiana (Scutari y Denis, 2021). Esta capacidad permite simular distintos escenarios hipotéticos asignando probabilidades específicas a ciertas variables y observando el efecto sobre el resto de la red, tanto en sentido directo (causa-efecto) como inverso (efecto-causa).

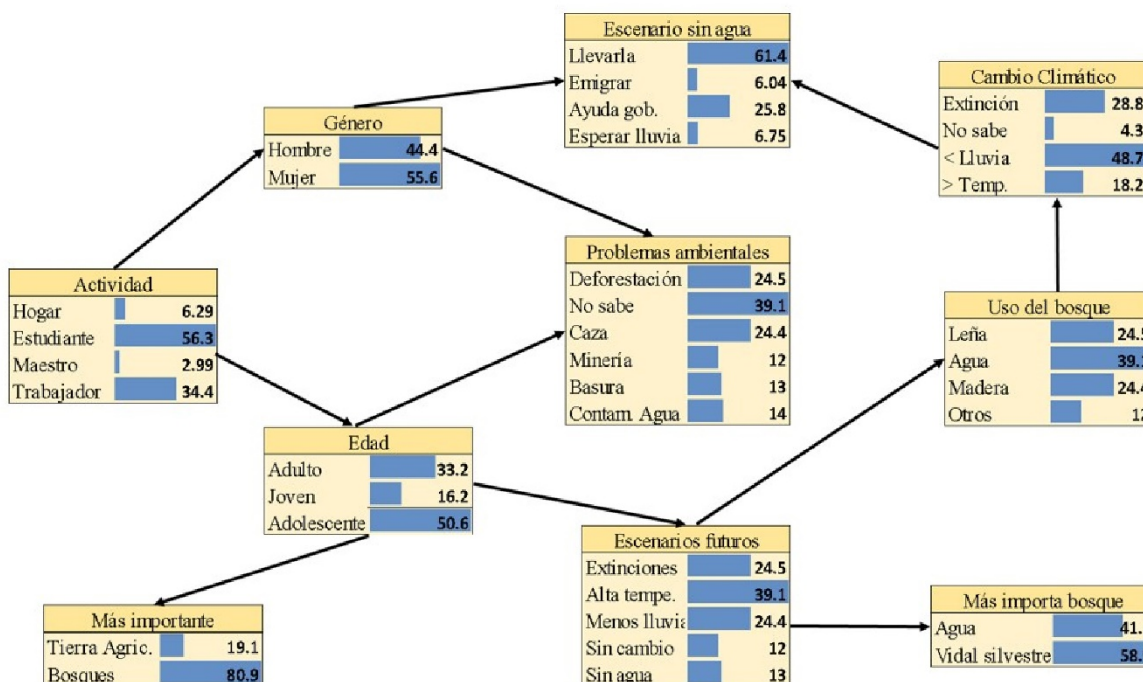
Los datos obtenidos de las encuestas recibidas sirvieron para construir la RB cuya estructura fue generada en base a los nodos padre seleccionados y a los nodos hijo. La red bayesiana fue construida utilizando el software Netica (versión 5.22, Norsys Software Corp.). Su estructura se diseñó con base en relaciones lógicas y causales entre los nodos, siguiendo el enfoque de Ripberger et al. (2017). Las variables principales consideradas como nodos padres fueron: la edad, el género y la actividad. Es claro que la edad y el género no son dependientes de ninguna otra variable. Mientras que la actividad podría estar influenciada por diversos factores, sin embargo, en este trabajo la consideramos como nodo padre por el interés de conocer como esta pudiera influenciar directa o indirectamente la percepción ambiental. Como nodos hijos, se incluyeron tres variables derivadas de la percepción sobre lo que consideran más importante en la zona (pregunta 4), lo más importante que proporciona el bosque (pregunta 6) y su acción ante un escenario hipotético de falta extrema de agua (pregunta 10). El resto de las variables fueron intermedias en la red bayesiana.

La calibración y el entrenamiento de la red se realizaron utilizando el conjunto completo de variables aleatorias con el 70% de los datos. El 30 % de las encuestas restantes, obtenidas al azar del total, se utilizaron para evaluar el modelo (Scutari y Denis, 2021). La calibración consistió en estimar la sensibilidad entre nodos, usando el algoritmo k2 de Netica. De acuerdo con la estructura de la RB la sensibilidad es mayor cuando los nodos se encuentran más cercanos entre sí, mientras que disminuye conforme los nodos estén más alejados, es decir hay más nodos de conexión entre ellos. El entrenamiento consistió en realizar diferentes pruebas en Netica para que el modelo corriera adecuadamente. Posteriormente, se utilizaron los datos del 30% de las encuestas para validar la RB en cuanto a la estimación de las tasas de error y los parámetros de desempeño (pérdida logarítmica, pérdida cuadrática y la compensación esférica). La pérdida logarítmica varía entre 0 e infinito, siendo los valores cercanos a cero indicativos de un modelo bien ajustado. La pérdida cuadrática oscila entre 0 y 2, y valores bajos reflejan mayor precisión en la predicción. La compensación esférica, que evalúa el rendimiento general del modelo, tiene un rango de 0 a 1, donde valores cercanos a 1 indican un buen ajuste entre el modelo y los datos observados. La tasa de error permite validar la RB en cuanto al manejo de la incertidumbre. Si una tasa de error fuera 0 entonces no existe incertidumbre, por lo que efecto de una variable es total sobre el comportamiento de otra

Posteriormente, se aplicaron pruebas de chi-cuadrado para analizar tablas de contingencia construidas para determinar la dependencia de las variables de los nodos padre con respecto a las variables de los nodos hijo.

Se generaron escenarios *a posteriori*, orientados a analizar la respuesta de las personas ante un problema hipotético de escasez total de agua en el área de estudio (Escenario sin agua). Para ello, se seleccionaron dos variables clave: la percepción de los efectos del cambio climático (Cambio climático) y el género (Género) (ver Cuadro 1 y Figura 2). Cada escenario se construyó asignando un valor *a posteriori*, modificando manualmente las probabilidades reales que se observan en la red (Fig. 2) a una probabilidad de 100 %, cada estado de las variables seleccionadas. Por ejemplo, en un escenario se simuló la situación en la que el 100 % de los encuestados eran hombres y el 100 % identificaban la opción, aumento de temperatura (> Temp.) como principal efecto del cambio climático, observando las respuestas resultantes en el nodo Escenario sin agua (pregunta 10).

Figura 2
Red bayesiana construida con los resultados obtenidos en las encuestas



Fuente: elaboración propia

Nota: Los valores de probabilidad a priori están en porcentaje. Los acrónimos se explican en el cuadro 1

3. RESULTADOS

Se obtuvo un total de 333 respuestas a la encuesta provenientes de 86 pueblos en 14 municipios dentro del área de estudio. Hubo un porcentaje ligeramente mayor de mujeres encuestadas (55.5%). La categoría de edad más frecuente fue la de jóvenes (18 a 25 años), con un 50.6%, seguida de adultos (>26 años) con un 33.2%. La mayoría de los encuestados fueron estudiantes (56.3%).

La moda coincide en la mayoría de las categorías de edad en las preguntas sobre la percepción de los problemas ambientales (Fig. 2). Sin embargo, en todas las preguntas los valores de Chi cuadrado fueron significativos considerando la edad ($p < 0.05$). Así, las respuestas dependieron de la edad, y los adultos encuestados tuvieron respuestas diferentes al resto de las categorías.

La RB construida (Fig. 2), en general fue validada dado que los parámetros de pérdida logarítmica, pérdida cuadrática y compensación esférico tuvieron valores intermedios (cuadro 2). Para nodos padres, las tasas de error fluctuaron entre 27 y 44 %, mientras que para nodos hijo el error fue de 42 a 64 %. Estos valores en las tasas de error de las variables fueron intermedias y consideradas aceptables. Por otro lado, la sensibilidad fue menor de 1 % entre nodos hijo y padres, lo que implicó buena sensibilidad para la RB, independientemente de la distancia entre nodos.

Cuadro 2
Parámetros de validación de la red bayesiana usando la tasa de error

Variables (nodos)	Tasa de error (%)	Pérdida logarítmica	Pérdida cuadrática	Compensación esférica
Actividad	27.27	0.79	0.41	0.77
Edad	34.34	0.77	0.47	0.73
Género	44.24	0.67	0.47	0.72
Escenarios futuros	43.43	1.04	0.58	0.65
Cambio climático	42.42	1.01	0.58	0.65
Uso del bosque	51.52	1.19	0.64	0.59

Problemas ambientales	64.65	1.49	0.74	0.50
Importancia del bosque	43.43	0.66	0.47	0.73
Escenario sin agua	28.28	0.88	0.47	0.73
Más importante	15.15	0.43	0.26	0.86

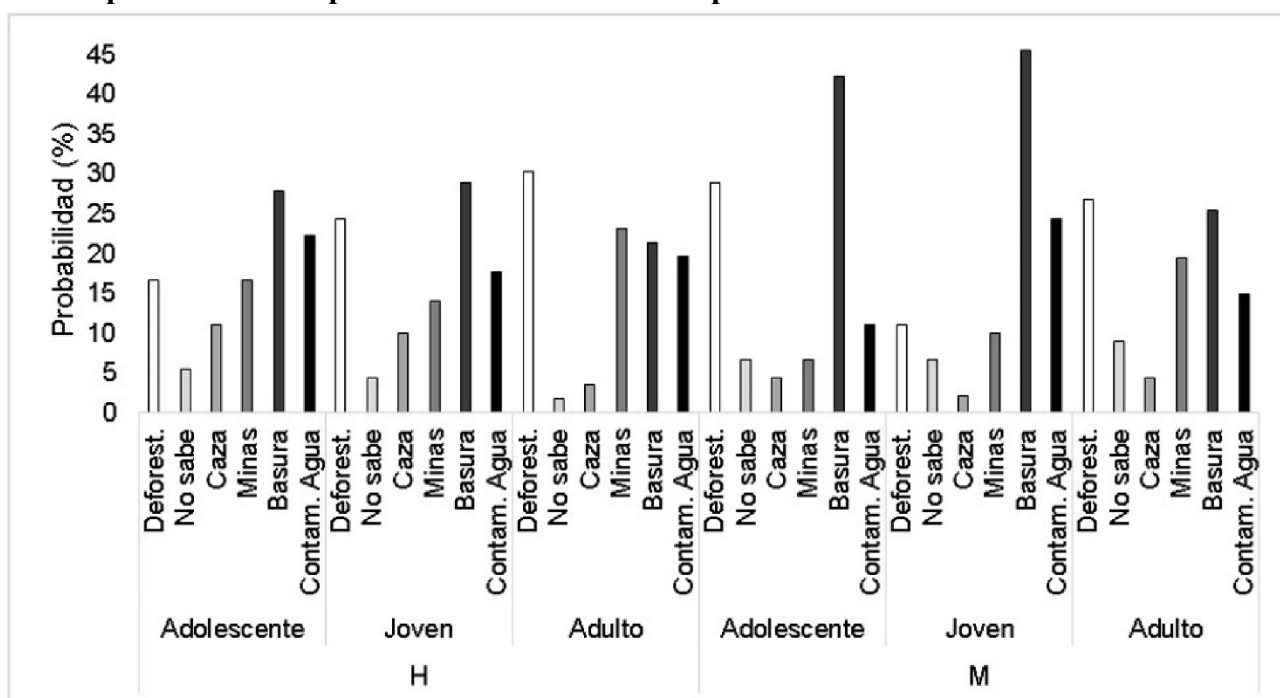
Fuente: elaboración propia
 Nota: Los acrónimos se explican en cuadro 1

Según las probabilidades *a priori* observadas en la red bayesiana (Figura 2), el bosque (80.9%) se considera más importante que los campos agrícolas y los pastizales (19.1%). Se consideró que la vida silvestre es más importante que el agua; sin embargo, la diferencia de probabilidad *a priori* fue de 17.8%, según las respuestas a la pregunta 6 (cuadro 1). Sin embargo, de los productos que se pueden obtener del bosque (pregunta 7 cuadro 1) el agua (39.1%). Después del agua, los animales salvajes y los árboles para madera fueron los recursos forestales más importantes, y la leña y la madera son los productos forestales más utilizados. Los habitantes de la zona generalmente perciben el déficit hídrico como un problema ambiental importante.

Los vertederos de residuos sólidos son reconocidos como el problema ambiental más crítico (33.1%) que enfrenta la población, seguido de la deforestación (21.8%). En un escenario hipotético donde el bosque desapareciera, los encuestados consideraron que los principales problemas que esto causaría sería la extinción de la biodiversidad (51.9%), la falta de agua (31.5%) y el aumento de la temperatura (10.2%).

Los escenarios hipotéticos para determinar probabilidades *a posteriori* indicaron que, en la mayoría de los casos, las respuestas de hombres y mujeres no fueron significativamente diferentes (gráfica 1), excepto para las siguientes preguntas: pregunta 4 (Más importante) ($\chi^2 = 14.25$, $p = 0.026$); pregunta 5 (Problemas ambientales) ($\chi^2 = 44.59$, $p = 0.006$); y la pregunta 6 (Más importa bosque) ($\chi^2 = 12.75$, $p = 0.025$). La basura fue considerada un problema ambiental importante en la zona más entre las mujeres (12.8% de probabilidad más que los hombres). La deforestación es un problema ambiental sólo reconocido por los adultos, tanto por hombres (30.4%) como por mujeres (26.9%) (gráfica 1).

Gráfica 1
Respuestas sobre el problema ambiental más importante en el área de estudio



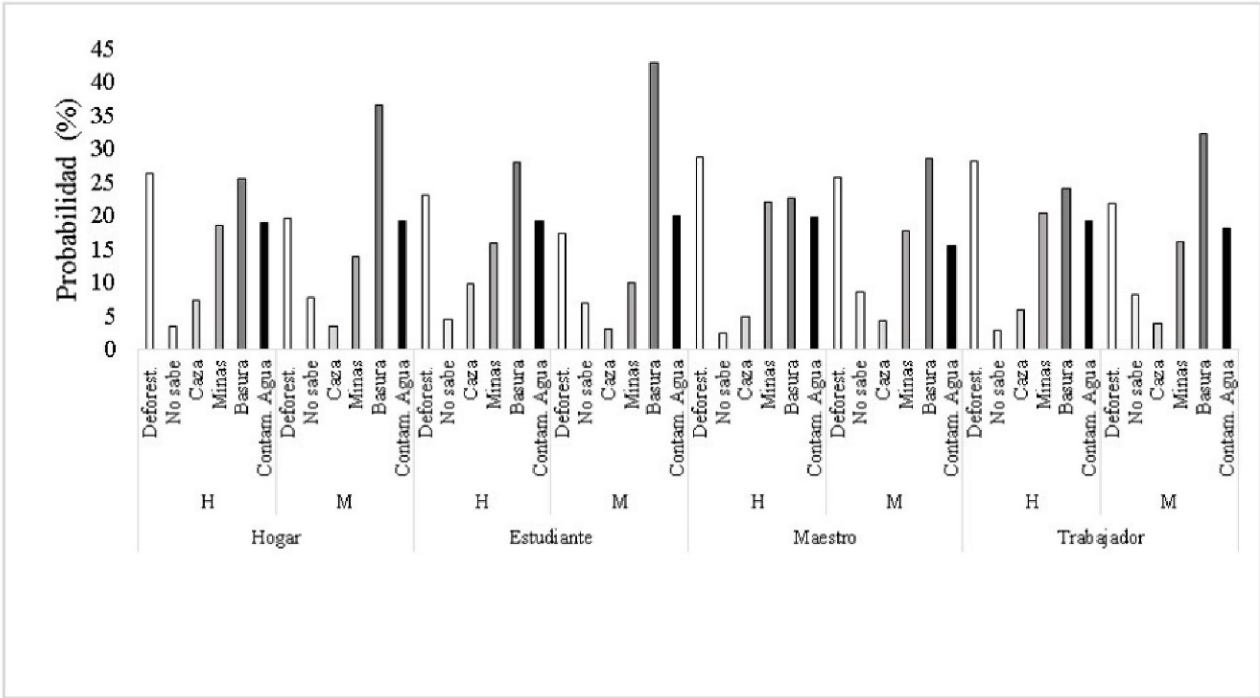
Fuente: elaboración propia

Nota: Se consideraron escenarios relacionando las categorías de género (H = hombres, M = mujeres) y edad. Los acrónimos se explican en el cuadro 1

Considerando la relación entre ocupación y género en la percepción de los problemas ambientales, el problema de la basura fue el más importante (gráfica 2). Sólo los hombres empleados (28.2%), los maestros (28.7%) y las personas que trabajaban en el hogar (26.3%) consideraron que la deforestación era lo más crítico (gráfica 2). Los escenarios que relacionaron género y los impactos del cambio climático, indicaron que la solución a la falta de agua sería llevar agua de otros lugares (57.4% para hombres y 64.6% para mujeres). Para las mujeres la diferencia entre la probabilidad a posteriori y a priori fue de solo 7.2% (gráfica 3). En general, el agua se percibe como el producto principal y más importante de los bosques, mientras que las plantas son más importantes para los hombres. La extinción de la

biodiversidad por el cambio climático preocupa a los hombres, mientras que las mujeres muestran una mayor variedad de respuestas, especialmente en lo que respecta a la sequía. La leña es un recurso forestal vital para las mujeres, mientras que los recursos alimentarios están en la percepción de los hombres.

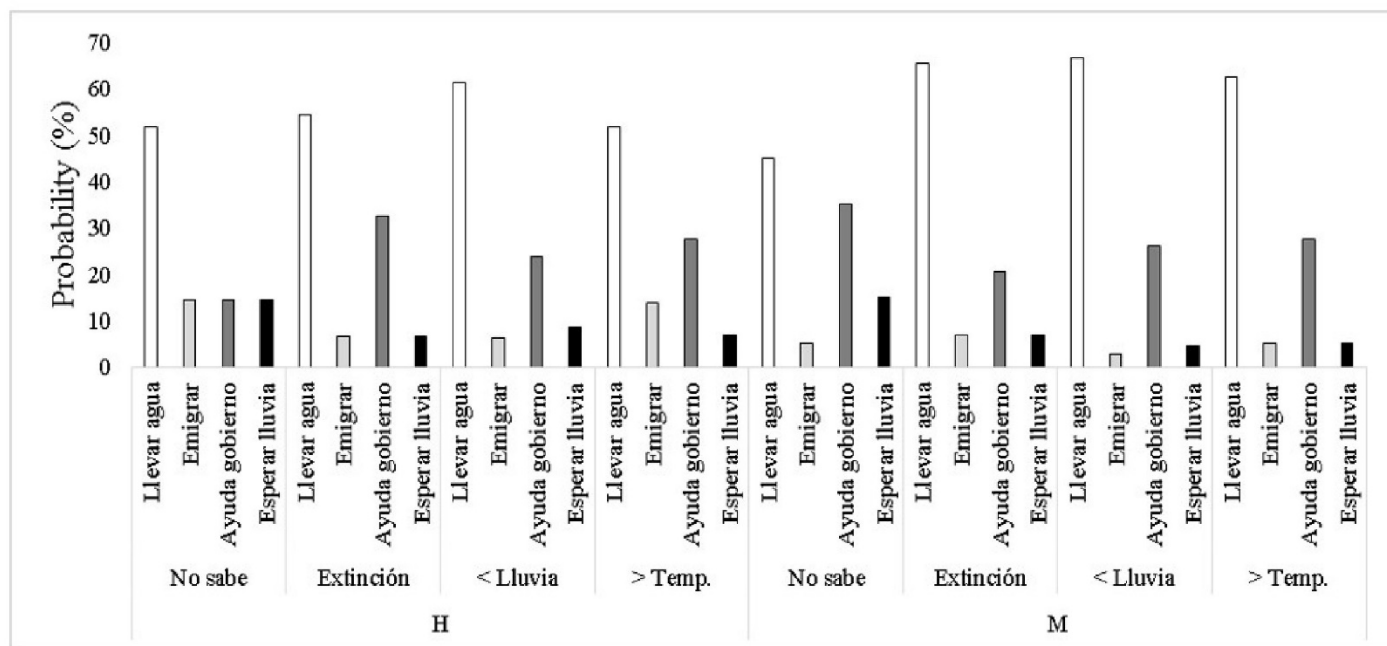
Gráfica 2
Percepción de los problemas ambientales



Fuente: elaboración propia

Nota: Considerando escenarios a posteriori que relacionan ocupación y género (H = hombres y M = mujeres). Los acrónimos se explican en cuadro 1

Gráfica 3
Respuesta de las acciones a realizar ante el escenario de escasez total de agua



Fuente: elaboración propia

Nota: Considerando género (H = hombres y M = mujeres) e impactos del cambio climático (ver método). Los acrónimos se explican en el cuadro 1

Todos los encuestados expresaron la importancia de conservar los bosques y afirmaron conocer manantiales de agua cerca de sus comunidades. En general, se percibe que los manantiales producen cada vez menos agua. A la pregunta “¿Qué harías para resolver los problemas ambientales?” (Cuadro 1), la mayoría de los encuestados respondieron que participarían en un proyecto de conservación, sin embargo, sólo 10% de ellos conocían algún proyecto dentro del área de estudio.

4. DISCUSIÓN

La percepción de los problemas ambientales y el cambio climático fue más alta de lo esperado, considerando las condiciones de pobreza y bajo desarrollo humano dentro del área de estudio. Durante la última década, se emprendieron varios proyectos científicos en el área,

algunos de ellos con objetivos de conservación forestal comunitaria, en particular, la conservación del bosque de niebla. Durante 2008-2017 se realizaron estudios de factibilidad sobre el potencial de un área natural protegida y otro sobre la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático (CONANP-GIZ, 2013). Estas experiencias previas que las personas obtuvieron pueden ser factores que hayan contribuido para explicar el alto grado de conciencia y buena actitud que se encontró entre los encuestados. Por otro lado, la mayoría de los encuestados fueron jóvenes estudiantes de secundaria, bachillerato o universidad. Por lo general, los estudiantes han tomado algunos cursos de ciencias biológicas. Se ha reportado que los estudiantes universitarios tienen muy buena actitud proambiental, especialmente aquellos que habían cursado materias relacionadas con temas ambientales (Cantú-Martínez, 2020).

En el área de estudio se han presentado diversos problemas ambientales derivados de las actividades humanas, entre los que destaca la escasez de agua y, más recientemente los vertederos de basura. El agua es un recurso fundamental muy apreciado en la zona de estudio dado que su carencia causa muchas dificultades para la vida cotidiana. La basura provoca contaminación de suelos y aguas, malos olores, atracción de fauna nociva y enfermedades en la población, tales como las enfermedades gastrointestinales y dengue (Barrera-Pérez et al., 2015). Ambos problemas ambientales están ocurriendo en el área donde generalmente son los adultos quienes están tratando de resolverlos. Las diferencias de percepción entre jóvenes y adultos podrían estar reflejando las diferentes responsabilidades que tienen estos dos grupos de edad, en la comunidad

Por otro lado, los resultados de nuestro estudio reflejaron las experiencias de los encuestados sobre los problemas ambientales. Por ejemplo, los entrevistados que consideran que la minería es un problema ambiental importante, están relacionados con los sitios donde se lleva a cabo la minería. La experiencia individual es un predictor esencial de la percepción ya que puede generar preocupación (Howe et al, 2019). Sin embargo, la minería se ve opacada por otros problemas más generales. En este sentido el problema ambiental más importante para las comunidades es la falta de agua. La respuesta más mencionada ante estos problemas es el de llevar agua a sus comunidades de otros lugares. Esta respuesta representa una evidencia de que la población es proactiva.

Se ha manifestado que la baja percepción ambiental en comunidades rurales, en particular al déficit hídrico, puede ser una barrera para generar adaptación al cambio climático (Sam et al., 2020). Los modelos de cambio climático más pesimistas para la zona de estudio proyectan un escenario con la disminución de la precipitación de 18 % que equivale a cerca de 400 mm de lluvia al año. Por lo que esta reducción implicaría un fuerte impacto del cambio climático, afectando negativamente la vulnerabilidad de la zona. Los encuestados estuvieron de acuerdo con el escenario pesimista porque pensaban que las sequías eran el principal efecto del cambio climático. Es así que la disminución de la precipitación provoca sequía en la percepción de la población.

En cuanto al género, la premisa general ha sido que las mujeres expresan una mayor preocupación por el cambio climático que los hombres (Swim et al., 2020). Los resultados de este estudio no respaldan esta tendencia. Sin embargo, las mujeres difirieron claramente de los hombres al considerar la leña como el recurso forestal más importante (30.3 % frente al 17.6 % de los hombres). La mayoría de las casas rurales en México tienen una estufa de leña, y son las mujeres las que principalmente recogen la leña en el bosque cercano. En el área de estudio, en particular, algunos municipios tienen la mayor producción de madera y el mayor uso de leña para toda la región (Bravo-Cadena y Pavón, 2018).

Hay diversos factores relacionados con la percepción ambiental, incluido el cambio climático. Algunos factores son más complejos y complicados que otros porque incluyen aspectos emocionales y conductuales (Reser y Bradley, 2020). Sin embargo, los factores son útiles para aumentar la percepción a nivel de la comunidad y mejorar la actitud proambiental. La educación ambiental podría ser un motor para aumentar la percepción de los estudiantes y sus familias. Otro factor importante para el cambio es la divulgación objetiva de los impactos del cambio climático en la zona (Frondel et al., 2017). De lo contrario, el grado de percepción individual del riesgo podría ser demasiado bajo. Una sociedad preocupada impulsaría al gobierno a implementar soluciones activas y anticiparse a los problemas ambientales, principalmente por el cambio climático.

En el área de estudio, los encuestados reconocieron la importancia de los bosques como proveedores de servicios ecosistémicos, por lo que son conscientes de que la destrucción del bosque conducirá al deterioro del nexo bosque-agua y con ello disminuir su bienestar. Este

nexo es muy importante porque las áreas con bosques de niebla están seriamente amenazadas por la actividad humana, debido al cambio de uso de suelo. La disminución de las precipitaciones y el aumento de la demanda de agua es un problema importante en la zona (Bravo-Cadena et al., 2021), por lo que se requieren acciones de adaptación inmediatas. En el área de estudio no se han realizado protestas por carencia de agua, sin embargo, no se debe descartar que bajo un escenario de mayor carencia se puedan presentar conflictos sociales. Por lo tanto, es necesario establecer estrategias de adaptación al cambio climático y acciones para mitigar los problemas generados por los basureros.

PROSPECTIVA

La red bayesiana construida para analizar la percepción ambiental permitió estimar las probabilidades de las respuestas que los entrevistados darían bajo distintos escenarios hipotéticos. En este estudio, se evaluó el escenario de una escasez total de agua en la zona. Se encontró que la mayoría de las personas, especialmente las mujeres (64.6%), optarían por abastecerse de agua en otros sitios para llevarla a sus comunidades. La segunda respuesta más probable fue solicitar ayuda al gobierno. Este resultado sugiere que la población tiene una actitud más proactiva que reactiva frente a los problemas ambientales. Lo anterior constituye una base para la planificación prospectiva y el diseño de estrategias de adaptación ante eventos ambientales adversos, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad en la región.

Diversos estudios han propuesto estrategias para enfrentar la escasez de agua en la zona, un problema que ya afecta a la población y que se agrava bajo escenarios de cambio climático (CONANP-GIZ, 2013; Otazo-Sánchez et al., 2013). Entre las estrategias más relevantes destacan la conservación de bosques, programas de reforestación, protección de manantiales, recarga de acuíferos, desarrollo de infraestructura para el almacenamiento de agua de lluvia y la prevención de la contaminación de cuerpos de agua superficiales.

Uno de los principales problemas ambientales mencionados por la población en el área de estudio es la contaminación del agua, especialmente debido a los lixiviados generados por los basureros a cielo abierto. En este caso, las probabilidades a posteriori fueron similares entre géneros, actividad económica y nivel educativo. Los resultados obtenidos resaltan la urgencia de abordar el problema de los residuos, aunque su solución es compleja debido a la intervención de múltiples actores y factores socioeconómicos. La gestión de los residuos es

responsabilidad de los municipios, pero actualmente es deficiente. Diversos estudios destacan que las soluciones requieren el desarrollo de infraestructura, la implementación y cumplimiento de regulaciones, la participación comunitaria, el uso de tecnologías para el reciclaje y la colaboración público-privada (Anokye et al., 2024).

Para la zona de estudio, se propone iniciar con la regulación de los tiraderos clandestinos que surgen ante la falta de recolección. Además, es fundamental aumentar los presupuestos destinados al manejo de residuos e incentivar la separación de la basura, asegurando que los ciudadanos obtengan un beneficio económico por esta actividad. Una opción viable es que el municipio pague a los ciudadanos por la basura que entreguen en tiraderos regulados con fines de reciclaje. La separación de residuos orgánicos también podría destinarse a la producción de composta municipal y fertilizantes orgánicos, lo que contribuiría a reducir la contaminación por lixiviados y, en consecuencia, la contaminación del agua.

El análisis de la percepción ambiental mostró que la población está altamente interesada en participar en proyectos de conservación de bosques y en la resolución de problemas ambientales. Este hallazgo es clave para la viabilidad de proyectos a corto plazo en la región.

CONCLUSIONES

En la zona sur de la Sierra Madre Oriental dentro del estado de Hidalgo, México la percepción social a los problemas ambientales fue alta en particular sobre el cambio climático. La escasez de agua es preocupante para los encuestados, es considerada el recurso más crítico y de mayor vulnerabilidad ante el cambio climático. Además, mostraron conocimiento sobre la importancia de los bosques en cuanto a los, bienes y servicios ecosistémicos que proporcionan. Ante un escenario hipotético de falta de agua extrema las personas indicaron, en mayor proporción, traer agua de otro lugar antes que esperar la ayuda del gobierno o emigrar. Las encuestas reflejaron necesidades de implementar medidas de adaptación al cambio climático. En este aspecto, es importante que futuros trabajos, para la solución a problemas ambientales, incluyan a la población local como actor clave en la elaboración de estrategias viables de acuerdo a las características socio-ecológicas de la zona. En este trabajo mostramos que las personas son proactivas y están dispuestas a participar en proyectos ambientales. Para cualquier iniciativa es fundamental tener la aceptación y apoyo de la población, y con ello mayor probabilidad de ser implementada de manera exitosa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a los revisores, cuyas observaciones ayudaron a mejorar significativamente el manuscrito. Se agradece a la comunidad estudiantil del Instituto Tecnológico de Huejutla, Extensión Molango en el estado de Hidalgo, México, por su disposición en colaborar con el trabajo. J. Bravo-Cadena agradece a CONACYT por la beca de posdoctorado.

REFERENCIAS

Anokye, K., Mohammed, A. S., Agyemang, P., Agya, A. B., Amuah, E. E. Y., & Sodoke, S. (2024). A systematic review of the impacts of open burning and open dumping of waste in Ghana: A way forward for sustainable waste management. *Cleaner Waste Systems*, 100152. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100152>

Azadi, Y., Yazdanpanah, M., & Mahmoudi, H. (2019). Understanding smallholder farmers' adaptation behaviors through climate change beliefs, risk perception, trust, and psychological distance: Evidence from wheat growers in Iran. *Journal of Environmental Management*, 250, 109456. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109456>

Barrera-Pérez, M., Pavía-Ruz, A., Mendoza-Mezquita, N., Torres-Arcila, J. E., Hernández-Hernández, N., Castro-Gamboa, R., Geded-Moreno, E., Cohu-Rodríguez, A., Medina-Barreiro, A., Koyoc-Cardena, E., Gómez-Dantés, H., Kroeger, A., Vázquez-Prokopec, G., & Manrique-Saide, P. (2015). Control de criaderos de *Aedes aegypti* con el programa Recicla por tu bienestar en Mérida, México. *Salud Pública de México*, 57, 201-210. <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/7556>

Bravo-Cadena, J., & Pavón, N. (2018). Valoración de los servicios ecosistémicos: diferentes lenguajes para la conservación en un área prioritaria. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 6, 78–88. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v6i2.Especial.260>

Bravo-Cadena, J., Pavón, N. P., Balvanera, P., Sánchez-Rojas, G., & Razo-Zarate, R. (2021). Water Availability–Demand Balance under Climate Change Scenarios in an Overpopulated Region of Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 1846. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041846>

Cantú-Martínez, P. C. (2020). Actitudes proambientales en jóvenes universitarios. *Ciencia y Educación*, 4, 67-74. <https://doi.org/10.22206/cyed.2020.v4i2.pp67-74>

CONANP-GIZ (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas)-(Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit] GmbH). (2013). Programa de Adaptación al Cambio Climático Región Central de la Sierra Madre Oriental. CONANP-GIZ, México. p 104.

Fronzel, M., Simora, M., & Sommer, S. (2017). Risk perception of climate change: Empirical evidence for Germany. *Ecological Economics*, 137, 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.019>

Heeren, A., Mouguiama-Daouda, C., & McNally, R. J. (2023). A network approach to climate change anxiety and its key related features. *Journal of Anxiety Disorders*, 93, 102625.

Howe, P. D., Marlon, J. R., Mildenerger, M., & Shield, B. S. (2019). How will climate change shape climate opinion? *Environmental Research Letters*, 14, 113001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab466a>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2021). Censo de Población. Vivienda 2020, Resultados Definitivos. INEGI: Aguascalientes, México. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

Kaikkonen, L., Parviainen, T., Rahikainen, M., Uusitalo, L., & Lehtikainen, A. (2021). Bayesian networks in environmental risk assessment: A review. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17, 62-78. <https://doi.org/10.1002/ieam.4332>

León, B., Boykoff, M. T., & Rodrigo-Jordán, C. (2021). Climate change perception among Spanish undergraduates. A reception study on the combination of the local, global, gain and loss frames. *Communication and Society*, 34, 57-75. <https://doi.org/10.15581/003.34.1.57-75>

Maiella, R., La Malva, P., Marchetti, D., Pomarico, E., Di Crosta, A., Palumbo, R., Cetara, L., Di Domenico, A., & Verrocchio, M. C. (2020). The psychological distance and climate change: A systematic review on the mitigation and adaptation behaviors. *Frontiers in*

Psychology, 11, 568899. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.568899>

May, R., Jackson, C., Bevanger, K., & Røskoft, E. (2019). Servicescape of the Greater Serengeti-Mara Ecosystem: Visualizing the linkages between land use, biodiversity and the delivery of wildlife-related ecosystem services. *Ecosystem Services*, 40, 101025. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101025>

Mohamed, N. A., Solehan, H. M., Mohd Rani, M. D., Ithnin, M., & Che Isahak, C. I. (2021). Knowledge, acceptance and perception on COVID-19 vaccine among Malaysians: A web-based survey. *PLoS ONE*, 16, e0256110. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256110>

Otazo-Sánchez, E. M., Pavón, N. P., Bravo-Cadena, J., Pulido, S. M. T., López-Pérez, S., Razo-Zarate, R., González-Castillo, M., Vargas-Zenteno, N., Velázquez-Alonso, F., Domínguez-Soto, J. M., Cruz-Domínguez, P. E., Maycotte-Morales, C. C., Pérez-Ramírez, N. G., Cortes-Blobaum, H. J., Herrera-Muñoz, G., & Uribe-Gutiérrez, D. (2013). Programa estatal de acción ante el cambio climático de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales del estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, México.

Phan, T. D., Bertone, E., Pham, T. D., & Pham, T. V. (2021). Perceptions and willingness to pay for water management on a highly developed tourism island under climate change: A Bayesian network approach. *Environmental Challenges*, 5, 100333. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100333>

Reser, J. P., & Bradley, G. L. (2020). The nature, significance, and influence of perceived personal experience of climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 11, e668. <https://doi.org/10.1002/wcc.668>

Ripberger, J. T., Jenkins-Smith, H. C., Silva, C. L., Carlson, D. E., Gupta, K., Carlson, N., & Dunlap, R. E. (2017). Bayesian versus politically motivated reasoning in human perception of climate anomalies. *Environmental Research Letters*, 12(11), 114004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8cfc>

Sam, A. S., Padmaja, S. S., Kächele, H., Kumar, R., & Müller, K. (2020). Climate change,

drought and rural communities: Understanding people's perceptions and adaptations in rural eastern India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44, 101436.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101436>

Scutari, M., & Denis, J. B. (2021). *Bayesian networks: with examples in R*. Chapman and Hall/CRC. New York. 274 pp.

Swim, J. K., Gillis, A. J., & Hamaty, K. J. (2020). Gender bending and gender conformity: The social consequences of engaging in feminine and masculine pro-environmental behaviors. *Sex Roles*, 82, 363-385. <https://doi.org/10.1007/s11199-019-01061-9>

Van der Linden, S. (2015). The social-psychological determinants of climate change risk perceptions: Towards a comprehensive model. *Journal of Environmental Psychology*, 41, 112-124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.11.012>

Weber, E. U. (2016). What shapes perceptions of climate change? New research since 2010. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7, 125-134. <https://doi.org/10.1002/wcc.41>

CC BY-NC-ND