



REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS

OAXACA VOLUMEN IX, NÚMERO 2, DICIEMBRE DE 2022
ISSN: 2007-9559



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**



**Instituto Tecnológico
del Valle de Oaxaca**



LA REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS, Vol 9 (2) julio-diciembre de 2022, es una publicación de la Secretaría de Educación Pública-Tecnológico Nacional de México, editada a través del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca por la División de Estudios de Posgrado e Investigación. Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71233. Tel y Fax. 9515170444 y 9515170788. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2014-060211581800-203 e ISSN 2007-9559, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número en la División de Estudios de Posgrado e Investigación: Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo y Dra. Gisela M. Santiago Martínez, Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71233. Tel y Fax. 9515170444 y 9515170788, <http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/>, correo: rmae@voaxaca.tecnm.mx. Fecha de última modificación, 30 de septiembre de 2022.

Su objetivo principal es difundir los resultados de investigación científica de las áreas agropecuaria, forestal, recursos naturales, considerando la agrobiodiversidad y las disciplinas biológicas, ambientales y socioeconómicas.

Para su publicación, los artículos son sometidos a arbitraje, su contenido es de la exclusiva responsabilidad de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de la Institución; las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.



Comité Editorial (DEPI-ITVO)

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo
Dra. Gisela M. Santiago Martínez
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz
Dr. José Raymundo Enríquez del Valle
Dr. Vicente A. Velasco Velasco
Dr. Yuri Villegas Aparicio
Dr. Salvador Lozano Trejo
Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez
Dra. Gisela V. Campos Ángeles
Dr. Aarón Martínez Gutiérrez
Dra. Martha P. Jerez Salas
Dr. Gustavo O. Díaz Zorrilla
Dra. Adela Vásquez García
M.C. María Isabel Pérez León

Coordinación editorial

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo
Dra. Gisela M. Santiago Martínez

Diseño

Brandon Jesús Vásquez Nicolás
Oscar Adrian Reyes Velásquez



La “Revista Mexicana de Agroecosistemas” (RMAE) surgió de una propuesta del Consejo del Posgrado del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Su objetivo es difundir los resultados generados del esfuerzo de alumnos e investigadores de los Programas de Doctorado y Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas y de las Licenciaturas en Biología, Ingeniería en Agronomía, Forestal y la de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC’s) que se imparte en este Instituto. Esta revista científica (RMAE) contempla las áreas agrícolas, pecuaria, forestal y recursos naturales, considerando la agrobiodiversidad y las disciplinas biológicas ambientales y socioeconómicas.

Por ello, se hace la invitación a alumnos, académicos e investigadores para que utilicen este espacio para publicar sus resultados de investigación relacionados con estas áreas. Los manuscritos se pueden enviar de acuerdo con las normas publicadas en <http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/normas-rmae.php> y pueden ser de tres tipos: artículo científico, nota técnica y ensayo libre (artículos de revisión). Todos los manuscritos se someterán a arbitraje y a edición. Deberán ser originales e inéditos, de alta calidad, acordes con las normas indicadas en este volumen y que no se hayan publicado o se vayan a publicar en otra revista.

En este número presentamos editados como artículos de investigación una temática forestal relacionada a serie dendrocronológica y fenotipos sobresalientes de pinus; análisis de la calidad del agua, salud en unidades bovinas y el diagnóstico para la transferencia de tecnología.

ATENTAMENTE

Comité Editorial (DEPI-ITVO)



DIRECTORIO

Maestro Ramón Jiménez López - Director General, Tecnológico Nacional de México (TecNM)

Dr. Jesús Olayo Lortía- Responsable del Despacho de los Asuntos, Competencia de la Dirección de Posgrado, Investigación e Innovación (TecNM)

Dra. Marisa Guadalupe Flores Aguilar- Directora (ITVO)

Dr. Aarón Martínez Gutiérrez- Subdirección Académica (ITVO)

Dr. Gustavo Omar Díaz Zorrilla- Jefe de la DEPI (ITVO)

Mayores informes:

Revista Mexicana de Agroecosistemas

Domicilio conocido

Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México

C. P. 71233

Tel. y Fax: 9515170444 y 9515170788

Correos: rmae@voaxaca.tecnm.mx

<http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/>



El Tecnológico Nacional de México a través del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca y la División de Estudios de Posgrado e Investigación

CONVOCAN

A los interesados e interesadas en ingresar al Programa de **Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas (Programa Nacional de Posgrados de Calidad - CONACYT)**

El posgrado cuenta con tres cuerpos académicos:

1. Cuerpo Académico: Manejo Holístico de Recursos Naturales. Estatus: Consolidado. LGAC: Agroecología. Integrantes: Dra. Gisela Virginia Campos Ángeles (SNI NI), Dr. José Raymundo Enríquez del Valle (SNI NI), Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz (SNI NI) y Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco (SNI NI).
2. Cuerpo Académico: Desarrollo Rural y Manejo Sustentable de Agroecosistemas. Estatus: En Consolidación. LGAC: Agroecosistemas y Sociedad. Integrantes: Ph.D. Salvador Lozano Trejo (SNI NI), Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo (SNI NI), Dra. Gisela Margarita Santiago Martínez (SNI Candidata) y M.C. Gustavo Omar Diaz Zorrilla.
3. Cuerpo Académico: Estudio, Diseño y Manejo de los Sistemas de Producción. Estatus: En Consolidación. LGAC: Sistemas Alternativos de Producción Agropecuaria. Integrantes: Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez (SNI NI), Dr. Yuri Villegas Aparicio, Dra. M. Patricia Jerez Salas y Dr. Aarón Martínez Gutiérrez (SNI NI).

Perfil de egreso

Será capaz de abordar problemas locales con perspectiva global del desarrollo de la sociedad, mediante la asimilación, generación de conocimientos con rigor científico, y su aplicación; útiles de acuerdo al contexto social, económico y ambiental. Así como tener conocimientos biológicos de carácter básico y aplicado al manejo y al aprovechamiento sustentable de la agro biodiversidad, para lo que se requieren evaluaciones periódicas que muestren los efectos de los métodos de aprovechamiento. Con sólidos conocimientos científicos y tecnológicos, aplicables al manejo sustentable de los ecosistemas forestales y agroecosistemas; basados en valores éticos y morales que coadyuven al beneficio social. El graduado de Doctorado en Ciencias será capaz de desempeñarse de modo versátil, priorizando el ámbito académico y de investigación para la formación de nuevos recursos humanos, dispuestos a trabajar por su país. Capaces de comprometer su actuación para involucrarse con la sociedad y contribuir a la sustentabilidad local y global.

El ingreso al Programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas es anual, en el mes de agosto y tiene una duración de 4 semestres.

Requisitos de admisión

Los aspirantes deberán poseer el grado de Ingeniería o Licenciatura en algún área afín a la del programa de Maestría. El expediente de ingreso deberá contener la siguiente documentación:

1. Certificado de Licenciatura con un promedio de 8.
2. Título y cédula profesional.
3. Comprobante de examen de inglés TOEFL: 350 puntos al ingreso y 400 puntos al egreso.
4. Acta de nacimiento, identificación oficial, CURP, Cartilla del servicio militar liberada, 2 fotografías recientes tamaño infantil en blanco y negro.
5. Propuesta de investigación: Título, Introducción, Objetivos, Metodología, Resultados esperados, Cronograma de actividades y Bibliografía consultada. Contar con la firma aval del posible director. La extensión mínima es de 5 cuartillas y 10 como máximo.
6. Curriculum vitae en extenso con documentación comprobatoria.
7. Dos cartas de recomendación de desempeño académico o profesional (formato en línea).
8. Certificado médico emitido por una institución oficial
9. Solicitud de admisión en el formato disponible en línea

Los documentos deberán ser enviados a la División de Estudios de Posgrado e Investigación (depi_voaxaca@tecnm.mx), todos los archivos deberán estar en formato PDF sin exceder 5 MB.

Núcleo académico

Nombre	Grado y especialidad
1. Gisela Virginia Campos Ángeles	Ingeniera Agrónoma especialista en Fitotecnia, Maestra en Ciencias en Productividad Agrícola y Doctora en Ciencias Forestales
2. José Raymundo Enríquez del Valle	Ingeniero Agrónomo especialista en Bosques, Maestría en Ciencias en Genética y Doctor en Ciencias Genética
3. Gerardo Rodríguez Ortiz	Ingeniero Forestal, Maestro en Ciencias en Productividad Forestal y Doctor en Ciencias en Ciencias Forestales
4. Vicente Arturo Velasco Velasco	Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia, Maestro en Ciencias en Edafología y Doctor en Ciencias en Edafología
5. Ernesto Castañeda Hidalgo	Ing. Agrónomo especialista en Suelos, Maestro en Productividad Agrícola y Doctor en Ciencias en Estrategias Para El Desarrollo Agrícola Regional
6. Salvador Lozano Trejo	Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Maestría en Ciencias en Productividad Pecuaria y Doctor en Filosofía en área mayor manejo de Recursos Naturales y Ecología y Área menor en Estadística Aplicada
7. Gisela Margarita Santiago Martínez	Licenciada en Contaduría, Dra. En Ciencias en Desarrollo Regional.
8. Yuri Villegas Aparicio	Ingeniero Agrónomo especialista en Sistemas de Producción Pecuaria Maestro en Ciencias en Productividad Pecuaria y Doctor En Ciencias En Ganadería
9. José Cruz Carrillo Rodríguez	Ingeniero Agrónomo en Producción, Maestría en Ciencias en Productividad Agrícola y Doctor en Ciencias en Desarrollo Regional
10. Aarón Martínez Gutiérrez	Ing. Agrónomo, Maestría y Doctorado en fitotecnia

Mapa Curricular

Semestre I	Semestre II	Semestre III	Semestre IV
Seminario de investigación I (4)*	Seminario de investigación II (4)	Seminario de investigación III (4)	Tesis (40)
Asignatura básica I Estadística aplicada (6)	Asignatura básica IV Taller de Productividad de Agroecosistemas (6)	Asignatura optativa III (6)	
Asignatura básica II Introducción al manejo sustentable de los recursos naturales (6)	Asignatura optativa I (6)	Asignatura optativa IV (6)	
Asignatura básica III Agroecología (6)	Asignatura optativa II (6)		
Total de créditos 100			

* número de créditos

Para mayor información visita: <http://posgrado.voaxaca.tecnm.mx/convocatoria-de-maestria/>



El Tecnológico Nacional de México a través del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca y la División de Estudios de Posgrado e Investigación

CONVOCAN

A los interesados e interesadas en ingresar al Programa de **Doctorado en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas**

El posgrado cuenta con tres cuerpos académicos:

1. Cuerpo Académico: Manejo Holístico de Recursos Naturales. Estatus: Consolidado. LGAC: Agroecología. Integrantes: Dra. Gisela Virginia Campos Ángeles (SNI NI), Dr. José Raymundo Enríquez del Valle (SNI NI), Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz (SNI NI) y Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco (SNI NI).
2. Cuerpo Académico: Desarrollo Rural y Manejo Sustentable de Agroecosistemas. Estatus: En Consolidación. LGAC: Agroecosistemas y Sociedad. Integrantes: Ph.D. Salvador Lozano Trejo (SNI NI), Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo (SNI NI), Dra. Gisela Margarita Santiago Martínez (SNI Candidata).
3. Cuerpo Académico: Estudio, Diseño y Manejo de los Sistemas de Producción. Estatus: En Consolidación. LGAC: Sistemas Alternativos de Producción Agropecuaria. Integrantes: Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez (SNI NI), Dr. Yuri Villegas Aparicio, Dra. M. Patricia Jerez Salas y Dr. Aarón Martínez Gutiérrez (SNI NI).

Perfil de egreso

Será capaz de abordar problemas locales con perspectiva global del desarrollo de la sociedad, mediante la asimilación, generación de conocimientos con rigor científico, y su aplicación; útiles de acuerdo al contexto social, económico y ambiental. Así como tener conocimientos biológicos de carácter básico y aplicado al manejo y al aprovechamiento sustentable de la agro biodiversidad, para lo que se requieren evaluaciones periódicas que muestren los efectos de los métodos de aprovechamiento. Con sólidos conocimientos científicos y tecnológicos, aplicables al manejo sustentable de los ecosistemas forestales y agroecosistemas; basados en valores éticos y morales que coadyuven al beneficio social. El graduado de Doctorado en Ciencias será capaz de desempeñarse de modo versátil, priorizando el ámbito académico y de investigación para la formación de nuevos recursos humanos, dispuestos a trabajar por su país. Capaces de comprometer su actuación para involucrarse con la sociedad y contribuir a la sustentabilidad local y global.

El ingreso al programa de Doctorado en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas es anual en el mes de agosto y tiene duración de 8 semestres.

Requisitos de admisión

Los aspirantes deberán poseer el grado de Maestro en Ciencias en algún área afín a la del Programa de Doctorado. El expediente de ingreso deberá contener la siguiente documentación:

1. Certificado de la Maestría con un promedio mínimo de 8.
2. Título y cédula de maestría
3. Comprobante de examen de inglés 400 puntos TOEFL al ingreso y 450 al egreso.
4. Acta de nacimiento, identificación oficial, CURP, Cartilla del servicio militar liberada, 2 fotografías recientes tamaño infantil en blanco y negro.
5. Propuesta de investigación: Título, Introducción, Objetivos, Metodología, Resultados esperados, Cronograma de actividades y Bibliografía consultada. Contar con la firma aval del posible director. La extensión mínima es de 5 cuartillas y 10 como máximo.
6. Curriculum vitae en extenso con documentación comprobatoria.
7. Dos cartas de recomendación de desempeño académico o profesional (formato en línea).
8. Certificado médico emitido por una institución oficial
9. Solicitud de admisión en el formato disponible en línea

Los documentos deberán ser enviados a la División de Estudios de Posgrado e Investigación (depi_voaxaca@tecnm.mx), todos los archivos deberán estar en formato PDF sin exceder 5 MB.

Mapa curricular

Semestre	Componente Académico	DOC Horas	TIS Horas	TPS Horas	TIS+TPS	Créditos
1	Seminario de investigación	64	288	288	576	16
1-2	Seminario predoctoral	165	165	330	8	
2	Proyecto de investigación I	64	288	288	576	16
3	Proyecto de investigación II	64	288	288	576	16
4	Proyecto de investigación III	300	340	640	16	
5	Proyecto de investigación IV	300	340	640	16	
6	Examen predoctoral	150	170	320	8	
7	Proyecto de investigación V	300	340	640	16	
1-7	Actividades complementarias		150	170	320	0
2-7	Estancia académica y/o investigación			320	320	0
8	Tesis		440	600	1040	52
	Total horas/créditos	192	2669	3309	6298	164
	% de horas dedicadas por tipo de actividad académica o investigación	3.9%	42.6%	95.6%		
		DOC	TIS	TPS		

DOC: Docencia, TIS: Trabajo Independiente Significativo, TPS=Trabajo Profesional Supervisado.

Núcleo académico

Nombre	Grado y especialidad
1. Gisela Virginia Campos Ángeles	Ingeniera Agrónoma especialista en Fitotecnia, Maestra en Ciencias en Productividad Agrícola y Doctora en Ciencias Forestales
2. José Raymundo Enriquez del Valle	Ingeniero Agrónomo especialista en Bosques, Maestría en Ciencias en Genética y Doctor en Ciencias Genética
3. Gerardo Rodríguez Ortiz	Ingeniero Forestal, Maestro en Ciencias en Productividad Forestal y Doctor en Ciencias en Ciencias Forestales
4. Vicente Arturo Velasco Velasco	Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia, Maestro en Ciencias en Edafología y Doctor en Ciencias en Edafología
5. Ernesto Castañeda Hidalgo	Ing. Agrónomo especialista en Suelos, Maestro en Productividad Agrícola y Doctor en Ciencias en Estrategias Para El Desarrollo Agrícola Regional
6. Salvador Lozano Trejo	Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Maestría en Ciencias en Productividad Pecuaria y Doctor en Filosofía en área mayor manejo de Recursos Naturales y Ecología y Área menor en Estadística Aplicada
7. Gisela Margarita Santiago Martínez	Licenciada en Contaduría, Dra. En Ciencias en Desarrollo Regional.
8. Yuri Villegas Aparicio	Ingeniero Agrónomo especialista en Sistemas de Producción Pecuaria Maestro en Ciencias en Productividad Pecuaria y Doctor En Ciencias En Ganadería
9. José Cruz Carrillo Rodríguez	Ingeniero Agrónomo en Producción, Maestría en Ciencias en Productividad Agrícola y Doctor en Ciencias en Desarrollo Regional
10. Aarón Martínez Gutiérrez	Ing. Agrónomo, Maestría y Doctorado en fitotecnia





Contenido

Artículos de investigación		Pág.
1	SERIE DENDROCRONOLÓGICA DE <i>Picea mexicana</i> Martínez EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL [DENDROCHRONOLOGICAL SERIES OF <i>Picea mexicana</i> Martínez IN THE SIERRA MADRE ORIENTAL]	
	Óscar Alfredo Díaz-Carrillo, Christian Anton Wehenkel, José Villanueva-Díaz, José Ciro Hernández-Díaz.....	7
8	FENOTIPOS SOBRESALIENTES DE <i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i> DE LA SIERRA NORTE DE OAXACA, MÉXICO [OUTSTANDING PHENOTYPES OF <i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i> FROM THE SIERRA NORTE OF OAXACA, MEXICO]	
	Gerardo Rodríguez-Ortiz, José Antonio De los Reyes-Flores, Adán Hernández-Hernández, José Raymundo Enríquez-del-Valle, Minerva Menes-Matías.....	18
19	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA DE YURIRIA, GUANAJUATO, MÉXICO PARA 2022 [ANALYSIS OF WATER QUALITY IN LAGOON OF YURIRIA, GUANAJUATO, MÉXICO FOR 2022]	
	Ileana Jimena Granillo-Suárez, Eugenia López-López, Enrique Martínez y-Ojeda..	29
30	ESTADO DE SALUD EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN FAMILIAR BOVINA DE ROJAS DE CUAUHTÉMOC, OAXACA [ESTADO SANITARIO EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN FAMILIAR BOVINA DE ROJAS DE CUAUHTÉMOC, OAXACA]	
	Magaly Aquino-Cleto, Mónica Aragón de la Cruz, Teodulo Salinas-Ríos, Jorge Hernández-Bautista, Héctor Magadán-Rodríguez, Araceli Mariscal-Méndez.....	36
37	DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO PARA LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA ALTERNATIVA EN UNA COMUNIDAD SUBURBANA DE LA CIUDAD DE OAXACA [PARTICIPATORY APPRAISAL FOR THE TRANSFER OF ALTERNATIVE TECHNOLOGY IN A SUBURBAN COMMUNITY IN OAXACA CITY]	
	Edberg Daniel Martínez-Jiménez, Enrique Martínez-y Ojeda, Adela Vásquez-García, Carlos Espinoza-Nájera, Delia Cristina Altamirano-Juárez, José Luis Caballero-Montes.....	47

SERIE DENDROCRONOLÓGICA DE *Picea mexicana* Martínez EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL

[DENDROCHRONOLOGICAL SERIES OF *Picea mexicana* Martínez IN THE SIERRA MADRE ORIENTAL]

Óscar Alfredo Díaz–Carrillo¹, Christian Anton Wehenkel², José Villanueva-Díaz^{3§}, José Ciro Hernández-Díaz²

¹Maestría Institucional de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Constitución 404 sur, zona centro, Durango Dgo., México. C.P. 34000. ²Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, Constitución 404 sur, zona centro, Durango Dgo., México. C.P. 34000. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua–Suelo–Planta–Atmósfera. Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento Gómez Palacio, Dgo. A.P. 41. C.P. 35150. Lerdo, Dgo.

§Autor para correspondencia: (villanueva.jose@inifap.gob.mx).

RESUMEN

El género *Picea* comprende tres especies en México: *P. chihuahuana*, *P. mexicana* y *P. martinezii* las cuales están catalogadas como especies en peligro dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001. En la Sierra Madre Oriental se distribuyen dos poblaciones de *P. mexicana*, de las cuales en el mes de febrero de 2021 mediante técnicas dendrocronológicas se desarrollaron series de tiempo de anillo total, madera temprana y tardía, con el objetivo de analizar la variabilidad climática interanual y multianual y determinar su impacto en los crecimientos radiales de la especie. La serie de crecimiento de anillo total se extiende de 1,782 a 2,020 (238 años), donde períodos de escaso crecimiento coinciden con las sequías registradas a mediados de la década de 1950 y principios de 1960. El periodo comprendido de 1980 a 2014 muestra alta variabilidad interanual, con eventos de sequía extrema en los años de 1989, 1998 y 2011, precedidos de años muy lluviosos como los ocurridos en 1988, 1997 y 2010, lo que favoreció la incidencia de incendios ocurridos en esos años en el noreste de México. Los incrementos radiales en *Picea mexicana* sugieren que, contrario a lo esperado por efectos del calentamiento global, estos fueron superiores al promedio, lo que indica la factibilidad de que los incrementos observados de temperatura han ejercido hasta ahora un efecto positivo en el desarrollo de *P. mexicana* en la región.

Palabras clave: Ancho de anillo, sequía, serie dendrocronológica, variabilidad climática.

ABSTRACT

The *Picea* genus comprises three species in Mexico: *P. chihuahuana*, *P. mexicana* and *P. martinezii*, which are listed as endangered species in NOM-059-SEMARNAT-2001. Two populations of *P. mexicana* are distributed in the Sierra Madre Oriental. Using dendrochronological techniques, total ring, earlywood and latewood time series were developed to analyze interannual and multiannual climatic variability and determine its impact on the radial growth of the species. The total ring growth series extends from 1,782 to 2,020 (238 years), where periods of low growth coincide with the droughts recorded in the mid-1950s and early 1960s. The period from 1980 to 2014 shows high interannual variability, with extreme drought events in 1989, 1998 and 2011, preceded by very rainy years such as 1988, 1997 and 2010, which favored the incidence of fires in those years in northeastern Mexico. The radial increases in *P. mexicana* suggest that, contrary to what was expected due to the effects of global warming, these were higher than average, which indicates the feasibility that the observed temperature increases have so far exerted a positive effect on the development of *P. mexicana* in the region.

Recibido: 19-julio-2022

Aceptado: 23-septiembre-2022

Index words: Ring width, drought, dendrochronological series, climatic variability.

INTRODUCCIÓN

El clima se encuentra en un constante cambio, históricamente existen fenómenos que oscilan entre el frío y el calor modificando las dinámicas poblacionales de las especies que conocemos, sean vegetales o animales (Rathgeber *et al.*, 2019). Los ecosistemas vegetales funcionan dependiendo de distintos procesos fisicoquímicos que se dan entre el clima y el suelo (Lefèvre *et al.*, 2013) y, de cómo la vegetación se va adaptando a los distintos cambios atmosféricos y edáficos que se generan por las variaciones de temperatura y precipitación que se dan en el transcurso del tiempo. A su vez, la calidad del bosque depende de la intensidad y la velocidad de la evolución de las poblaciones vegetales en respuesta al cambio climático (Rathgeber *et al.*, 2019).

Los registros climáticos disponibles para analizar las variaciones climáticas son muy reducidos, ya que sólo se tiene información de los últimos 70 años y se carece de registros más antiguos, que permitan analizar y conocer la tendencia de la precipitación en un periodo de tiempo prolongado. Los anillos de crecimiento del árbol, que incluye madera temprana y tardía, son una herramienta para el análisis de las condiciones climáticas en períodos en los que no existen registros de precipitación (Fritts, 1976; Villanueva-Díaz, 2011).

A partir de series creadas con los índices de ancho de anillo de los árboles analizados en las zonas de interés, se pueden hacer inferencias en torno a las condiciones climáticas que había en el pasado (Villanueva-Díaz, 2014). Los anillos de crecimiento pueden guardar información valiosa para determinar qué efectos climatológicos o que perturbaciones hubo en las zonas de estudio (Villanueva-Díaz, 2019) con ello, podemos generar información que tenga repercusiones ecológicas y sociales en torno a un sitio o especie de interés y ayudar con la conservación y restauración de los bosques nacionales.

Sin embargo, para las poblaciones de la especie *Picea chihuahuana* (Wehenkel *et al.*, 2015) han encontrado evidencia sobre la reducción de sus poblaciones y, además, existen estudios que predicen que las especies de *P. mexicana* y *P. martinezii* van a reducir su distribución con un incremento en la temperatura (Mendoza-Maya *et al.*, 2015) a partir de un clima más cálido y seco, lo que ha ocasionado que el género se encuentre en la Norma Oficial Mexicana 059 (NOM-059-SEMARNAT-2010) (SEMARNAT, 2010).

Este trabajo busca generar información y aportaciones relevantes para determinar las condiciones que favorecen el crecimiento y desarrollo de la *Picea mexicana*, así como modelos predictivos de extinción como punto de partida para generar modelos de expansión de estas poblaciones a futuro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El clima de la región es semicálido subhúmedo con lluvias en verano. De acuerdo con los datos meteorológicos de la estación Saltillo, el promedio anual de precipitación es 578, de los cuales el 65% corresponden a la lluvia de verano (junio–septiembre). Por otro lado, la lluvia de invierno primavera (enero–mayo) representa el 18% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Información de la estación meteorológica de Saltillo usada para relacionarla con los índices de El Coahuilón y La Marta.

Estación meteorológica	Coordenadas	Elevación (msnm)	Periodo (años)	Sitios de comparación	pp. (mm)	T max. (°C)	T min. (°C)
Saltillo	25.43, 101.00	1,700	1940 a 2013	ECO, LMA	578.05	27.7	11.8

Se realizó una colecta en sitios previamente analizados donde hubiera poblaciones de *P. mexicana* en sitios con una pendiente pronunciada, diámetros gruesos y que no presentara daños antropogénicos visibles. Con ayuda de un taladro de Pressler de 0.5 mm de diámetro externo se procedió a perforar cada uno de los individuos para tomar las muestras, de cada individuo se obtuvieron dos a tres núcleos de crecimiento, dependiendo de qué tan comprimidos se pudieran observar los anillos al momento de la extracción (a mayor compresión de los anillos se tomaban más muestras y con ello poder contrastar la información), para el estudio se decidió tomar entre 25 a 30 árboles por sitio para tener una cantidad de muestras estable cercana a 50 (Figura 1).

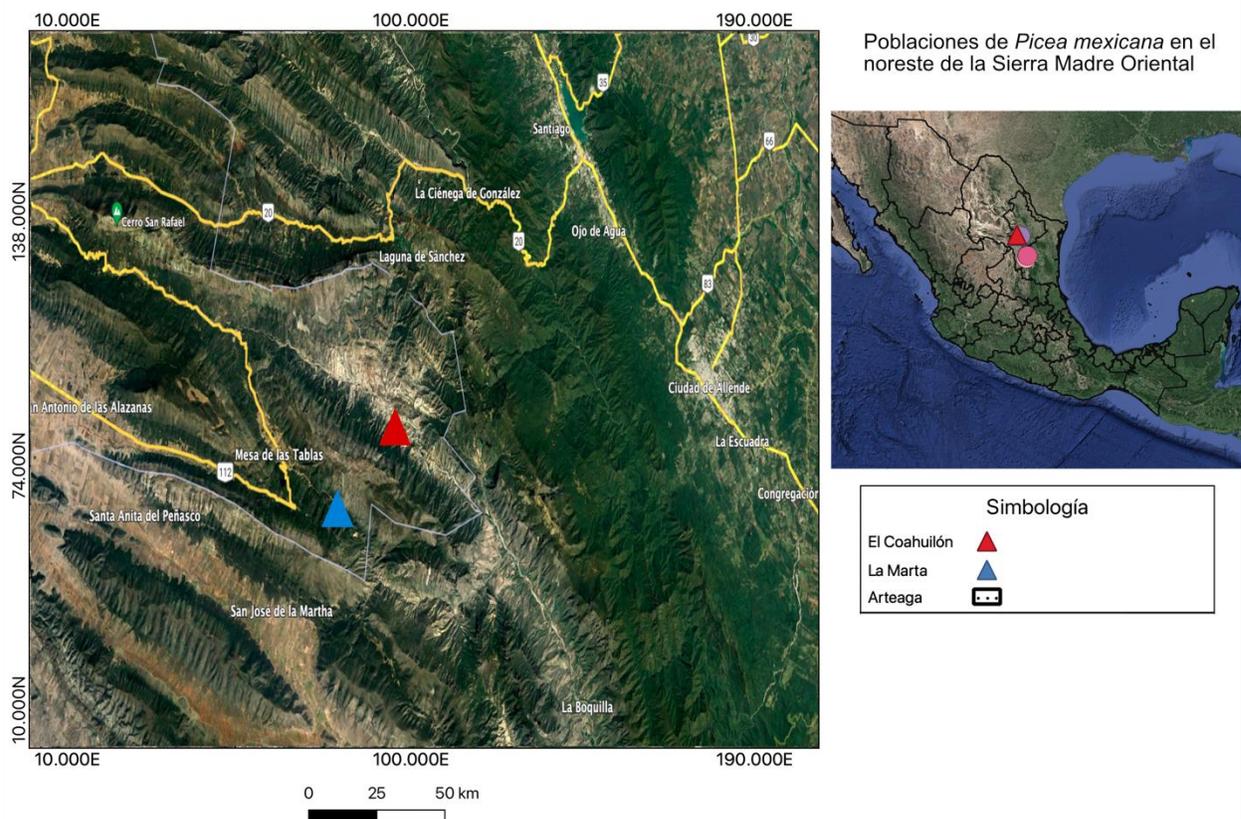


Figura 1. Poblaciones de *Picea mexicana* en el noreste de México.

Todos los núcleos fueron montados en molduras acanaladas con pegamento blanco y se dejaron secar al aire libre y luego fueron pulidos con lijas de diferente granulometría (de 100 hasta 1,200) para hacer los anillos claramente visibles.

Posteriormente, se le asignó el año de formación a cada anillo y se comprobó con el método de datación cruzada, comparando patrones de crecimiento visualmente (Stokes y Smiley, 1968). Consecuentemente se midieron los anchos de anillo (anillo total, madera temprana y tardía) con una precisión de 0.001 mm usando el sistema de medición VELMEX de fase deslizante (Velmex, Inc., Bloomfield, NY, USA), que es adaptable a una computadora donde se guardan las bases de datos de manera directa (Robinson y Evans, 1980). La verificación del fechado de los anillos de crecimiento se hizo mediante el programa COFECHA, el cual realizó análisis de correlación de Pearson en segmentos de 50 años, con traslapes de 25 años (Cook and Holmes, 1984).

Las variables biológicas no relacionadas con el clima se removieron con la librería dplR del lenguaje de programación R, con lo cual se obtuvieron series de índice de ancho de anillo (Villanueva-Díaz *et al.*,

2014) con media de 1.0 y varianza homogénea (Cook, 1987; Villanueva-Díaz *et al.*, 2014). A los valores se les ajustó una línea suavizada de tendencia (spline) a nivel década, resaltando eventos de baja frecuencia (Cook y Peters, 1981). La función utilizada para la estandarización es la exponencial negativa mencionada por Fritts (1976).

$$Qt = ae^{-2bt} + k$$

Donde:

Qt = Valor promedio proyectado (amplitud de anillo proyectada al tiempo t). a, b y k = Coeficiente de regresión estimados para cada especie.

t = Tiempo.

e = Base de logaritmos naturales.

Posteriormente, genera para cada serie individual, un índice de crecimiento para cada año al dividir el valor real del ancho del anillo, entre el valor correspondiente de la curva o el crecimiento esperado por el modelo exponencial negativo.

$$I = \frac{W}{Y}$$

Donde:

I = Índice de anchura de anillo o índice de crecimiento estandarizado.

W = Anchura medida (incremento anual).

Y = Anchura proyectada.

RESULTADOS

Se obtuvieron dos cronologías de ancho de anillo total (RWI) de las poblaciones de El Coahuilón (ECO) y La Marta (LMA), los datos estadísticos de los sitios estudiados se muestran a continuación (Cuadro 2; Figuras 2 y 3).

Cuadro 2. Datos estadísticos descriptivos de los sitios de estudio de ECO y LMA.

Sitio	Código de Sitio	Tipo de cronología	Lat (N) /Long(E)	Elev. (msnm)	Núcleos/ Árboles	Orientación	Extensión de la serie	MSL	AC1	MS	EPS
El Coahuilón	ECO	RWL, LWR, EWR	25.247/-100.364	3,528	49/23	NW	1782 - 2020	106.8	0.61	0.25	0.89
La Marta	LMA	RWL, LWR, EWR	25.3/-100.3	3,494	53/25	NW	1844 - 2020	108.4	0.76	0.31	0.96

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las series dendrocronológicas coinciden con los reportados previamente para otras especies de coníferas en la región, lo que respalda que la variable más importante para el crecimiento de este género es la precipitación invernal enero-mayo; mientras que la temperatura máxima ejerce una relación negativa con el crecimiento como ha sido constatado para *Pinus cembroides* y *Pseudotsuga menziesii* en el noreste de México (Constante-García *et al.*, 2009; Cerano-Paredes *et al.*, 2011; 2013; Villanueva-Díaz *et al.*, 2003). Esta información corrobora la respuesta climática de las especies de *Picea* en esta región que muestran una respuesta climática similar a la reportada para otras especies de coníferas en la región.

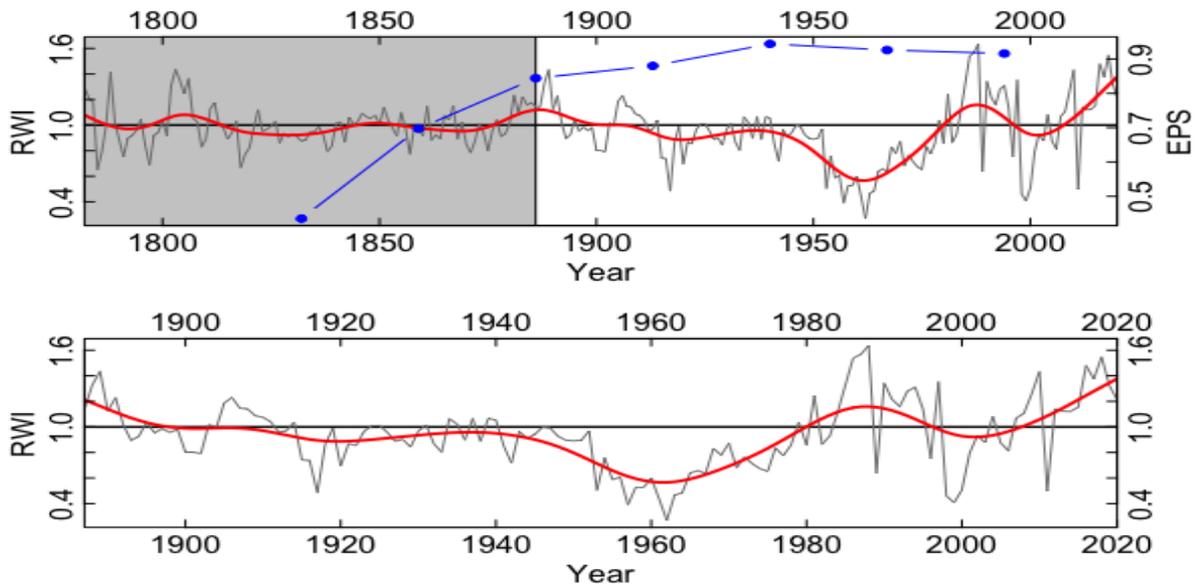


Figura. 2. Cronología residual de ECO, la imagen superior muestra la extensión total de la cronología de 1,782 a 2,020 (238 años), la línea azul no continua indica el nivel de $EPS > 0.85$, la imagen inferior muestra el periodo mejor replicado.

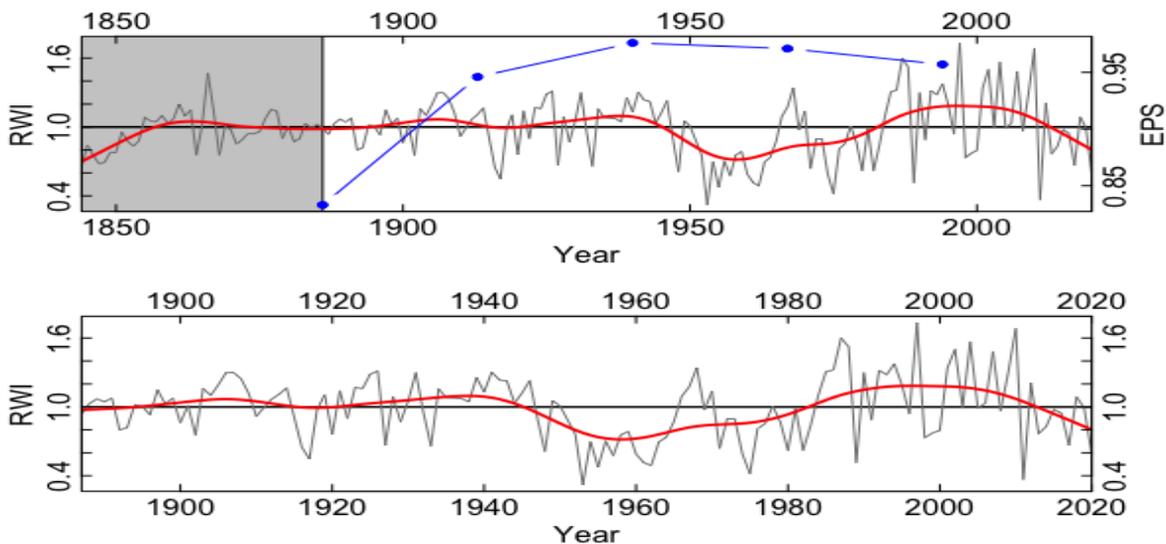


Figura. 3. Cronología residual de LMA, la imagen superior muestra la extensión total de la cronología de 1,844 a 2,020 (176 años), la línea azul no continua indica el nivel de $EPS > 0.85$, la imagen inferior muestra el periodo mejor replicado.

El periodo comprendido de 1980 a 2014 muestra alta variabilidad interanual, con eventos de sequía extrema en los años de 1989, 1998 y 2011, precedidos de años muy lluviosos como los ocurridos en 1988, 1997 y 2010, lo que favoreció la incidencia de incendios ocurridos en esos años en el noreste de México (Cerano-Paredes, 2011; Villanueva-Díaz, 2014). Las dos cronologías muestran periodos de menor

crecimiento a finales de la década de 1950 y principios de 1960 lo cual coincide con sequías registradas para el norte de México (Cerano-Paredes, 2011); sin embargo, en la cronología de LMA muestra incrementos atípicos a finales de 1960 y principios de 1970.

Los incrementos radiales en *P. mexicana* sugieren que, contrario a lo esperado por efectos del calentamiento global, estos fueron superiores al promedio, lo que indica la factibilidad de que los incrementos observados de temperatura han ejercido hasta ahora un efecto positivo en el desarrollo de *P. mexicana* en la región (Villanueva-Díaz, 2014; Rathgeber *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

Las reconstrucciones señalan alta variabilidad con la presencia de periodos secos y húmedos extraordinarios, donde los extremos secos observados para las series de ECO y LMA, las cuales fueron de 1807 a 1844 y de 1945 a 1965 y los más húmedos de 1984 a 1994 y de 2001 a 2010.

La especie de *P. mexicana* tiene gran potencial dendrocronológico para realizar estudios climáticos y además de ser una excelente especie para reconstruir el clima abarcando un periodo de 1782 a 2020, siendo de gran importancia para la extensión de datos climáticos que no se encuentran en sistemas convencionales con información de precipitación y temperatura. Con base a los resultados obtenidos se puede inferir cual ha sido el comportamiento del clima en la región norte de la Sierra Madre Oriental.

Con base en ello se propone seguir realizando estudios para especies sensibles que se encuentren en estado de protección y dentro de la NOM 059 con el fin de conservar los estados naturales del hábitat de estos individuos; además, con el fin de conservar la especie se recomienda empezar a realizar producción de planta y reforestaciones a cargo de entidades de gobierno y empresas privadas con el fin de darle mayor importancia a la conservación de los bosques en México y que dichas poblaciones queden al resguardo de las localidades cercanas, formando así comunidades más comprometidas con el medio ambiente y generando una opción de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT-CONAFOR por el fondo S0002 FONSEC-CONAFOR dentro de la Convocatoria S0002-2017, y al INIFAP CENID-RASPA por el apoyo en la orientación y el equipo utilizado para la investigación.

LITERATURA CITADA

- Cerano-Paredes, J., J. Villanueva D., R.D. Valdéz C., E.H. Cornejo O., I. Sánchez C. y V. Constante G. 2011. Variabilidad histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(4): 32-46.
- Cerano-Paredes, J., J. Méndez-González, A. Amaro-Sánchez, J. Villanueva-Díaz, R. Cervantes-Martínez y E. Rubio-Camacho. 2013. Reconstrucción de precipitación invierno-primavera con anillos anuales de *Pinus douglasiana* en la Reserva de la Biósfera de Manantlán, Jalisco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Doi:10.45154/rrchsca.2013.02.00. pp. 413-423.
- Constante-García, V., J. Villanueva D., J. Cerano P., E. Cornejo O. y S. Valencia M. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila. *Revista de Ciencia Forestal en México* 34(106): 17-39.
- Cook, E.R. y K. Peters. 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin*, 41: 45-53.
- Cook, E.R. y R.H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, AZ. 15 p.
- Fritts, H.C. 1976. *Tree-rings and climate*. Academic Press, London-New York-San Francisco.

- Lefèvre, F; T. Boivin, A. Bontemps, F. Courbet, H. Davi, M. Durand-Gillamnn, B. Fady, J. Gauzere, C. Gidoín, M.J. Karam, H. Lagüé, S. Oddou-Muratorio y C. Pichot. 2013. Considering evolutionary processes in adaptative forestry. *Annals of Forest Science* 71(7): 723-739. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0272-1>.
- Mendoza-Maya, E., J. Espino-Espino, C.Z. Quiñones-Pérez, C. Flores-López, C. Wehenkel, J.J. Vargas-Hernández y C. Sáenz-Romero. 2015. Propuesta de conservación de tres especies mexicanas de *Picea* en peligro de extinción. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(3) 235-247.
- Rathgeber, C.B.K.; P. Fonti, V.V. Shishov and P. Rozenberg. 2019. Wood formation and tree adaptation to climate. *Annals of Forest Science* 76(4):109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0902-3>.
- Robinson, W.J. and R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-Ring Bulletin* 40, 59-64.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección. pp. 1-77.
- Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1968. An introduction to the tree-ring dating. The University of Arizona Press. USA. 73
- Villanueva-Díaz, J., J. Cerano P., D.W. Stahle, M.D. Therrell y M.K. Cleaveland. 2003. Cronologías de anillos de árboles del norte de México y su potencial hidroclimático. XII Congreso Nacional de Irrigación (ANEL). Zacatecas, Zac. Mex. 13 al 15 de Agosto.
- Villanueva Díaz, J., J. Cerano P., V. Constante G., D.W. Stahle, J. Estrada A. y M.M. Tostado P. 2011. Variabilidad hidroclimática histórica del norte de México inferida con anillos de crecimiento de Douglas-fir. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Publicación Especial No. 2*: 221-234.
- Villanueva-Díaz, J; J. Cerano-Paredes, P. Fulé, S. Lorenzo-Vázquez y L. Yocom. 2014. Cuatro siglos de variabilidad hidroclimática en el noroeste de Chihuahua, México, reconstruida con anillos de árboles. *Investigaciones geográficas, boletín núm. 87*. Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 141-153. DOI/10.14350/rig.44485.
- Villanueva-Díaz, J; A.R. Martínez-Sifuentes, y J. Estrada-Ávalos. 2019. Runoff reconstruction and climatic influence with tree rings, in the Mayo river basin, Sonora, México. *iForest* 13: 98-106 DOI: 10.3832/ifor3190-013.
- Wehenkel, C., J.M. Brazão-Protázio, A. Carrillo-Parra, J.H. Martínez-Guerrero y F. Crecente-Campo. 2015. Spatial Distribution Patterns in the Very Rare and Species-Rich *Picea chihuahuana* Tree Community (Mexico). *PLoS ONE* 10(10): e0140442. doi:10.1371/journal.pone.0140442.

FENOTIPOS SOBRESALIENTES DE *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* DE LA SIERRA NORTE DE OAXACA, MÉXICO

[OUTSTANDING PHENOTYPES OF *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* FROM THE SIERRA NORTE OF OAXACA, MEXICO]

Gerardo Rodríguez-Ortiz^{1§}, José Antonio De los Reyes-Flores¹, Adán Hernández-Hernández², José Raymundo Enríquez-del-Valle¹, Minerva Menes-Matías¹

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. ²INIFAP Campo Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca.

[§]Autor para correspondencia (gerardo.ro@voaxaca.tecnm.mx).

RESUMEN

Las semillas de calidad obtenidas después de una rigurosa y estricta metodología de selección por comparación de árboles selectos con sus testigos, puede generar germoplasma de calidad para plantaciones y reforestaciones de la especie. El objetivo fue estimar la variación fenotípica de acuerdo al origen y tipo de árbol selecto de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en las comunidades de la Sierra Norte de Oaxaca. De las poblaciones seleccionadas en 2017 y 2018 se encontraron 191 árboles por el método de comparación con árboles testigos en rodales naturales, se tomaron datos morfológicos y de sitio. Para variables nominales y ordinales se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para diferenciar características entre orígenes y árboles. De acuerdo con su origen y la calificación del índice de sitio, se realizó un análisis de varianza paramétrico y prueba de medias (Duncan, 0.05). La rectitud de fuste no es similar en los testigos ($P=0.0001$), siendo heterogéneos los árboles; así también de acuerdo a su origen no son similares todos los árboles selectos y sus testigos ($P=0.0001$). La poda natural difiere con la calidad del índice de sitio entre los árboles selectos y sus testigos ($P=0.0018$), mismo comportamiento se encontró con la forma de copa ($P=0.0005$) y fuste recto ($P=0.3252$). Los fenotipos selectos con las mejores dimensiones en diámetro normal, altura y volumen fueron de la comunidad en Ixtlán, siendo los procedentes de Ixtepeji los más jóvenes. El uso estricto de la metodología de selección de árboles permite identificar individuos con características superiores en rodales naturales para suministrar semilla de calidad.

Palabras clave: Árboles testigo, características morfológicas, rectitud de fuste.

ABSTRACT

Quality seeds obtained after a rigorous and strict selection methodology by comparison of candidate trees with respect to their witnesses, generates quality germplasm for use in commercial forest plantations, restoration and reforestation of the species. The objective was to estimate the phenotypic variation according to the origin and type of select tree of *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* in the communities of the Sierra Norte of Oaxaca. From the selected populations in 2017 and 2018 and using witness tree comparison method, 191 trees were found in natural stands, registering morphological and site data. For nominal and ordinal variables, the non-parametric Kruskal-Wallis test was used to differentiate characteristics between origins and trees. According to its origin and the site index rating, a parametric analysis of variance and test of means (Duncan, 0.05) were performed. The stem straightness is not similar in the witness ($P=0.0001$), the trees being heterogeneous; likewise, according to their origin, all the selected trees and their witness are not similar ($P=0.0001$). The natural pruning differs with the quality of the site index between the selected trees and their witness ($P=0.0018$), the same behavior was found with the crown shape ($P=0.0005$) and

Recibido: 29-septiembre-2022

Aceptado: 30-noviembre-2022

straight stem ($P=0.3252$). The outstanding phenotypes with the best dimensions in diameter at breast height and volume were from the Ixtlán community, being those from Ixtepeji the youngest. The strict use of the selection methodology for trees has allowed to identify individuals with superior characteristics in natural stands in order to supply seed quality.

Index words: Witness trees, Schumacher model, site index, phenotypic variation.

INTRODUCCIÓN

Pinus pseudostrobus var. *apulcensis* es un árbol que tiene entre 25 y 40 m de alto y diámetro normal de hasta 1 m; esta especie es de crecimiento medio, corteza de color oscura, gruesa y agrietada de hojas perennes (Martínez, 1992). Los meses de floración van de febrero a mayo y los frutos se encuentran listos para colectarse de noviembre a febrero. La especie soporta heladas y crece en condiciones de clima templado y semiárido suhúmedo (CONAFOR, 2017).

Debido a la variabilidad que presenta este pino han sido descritas varias especies y variedades, de las cuales solamente una es digna de considerarse: *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindley) Shaw (sinónimos *P. oaxacana*, *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*). La diferencia consiste en que las escamas del cono tienen apófisis y umbos muy alargados, pero estos caracteres son muy variables y hasta llegan a un punto donde no se pueden distinguir de los conos de *P. pseudostrobus* “típica” (Farjón *et al.*, 1997).

En rodales coetáneos la selección individual tiene varias ventajas en relación a rodales mezclados: a) se tiene la certeza de que la edad no diferirá ampliamente entre árboles y que las expresiones relativas del crecimiento, forma, tolerancia a las enfermedades y adaptabilidad, no se confundirán con los efectos de la edad. b) Los árboles crecen en situaciones competitivas similares a las que se encuentran cuando se establecen en plantaciones comerciales (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2009). Así mismo, en este tipo de rodales puede utilizarse el sistema de selección “árbol de comparación”, en el cual los árboles considerados para la selección se comparan con los mejores del rodal (Sotolongo-Sospedra *et al.*, 2017).

Los fenotipos sobresalientes normalmente se encuentran en rodales de buenas características, por lo mismo conviene concentrar la búsqueda en rodales superiores al promedio en cuanto a las características de interés. En rodales de características pobres, es poco frecuente encontrar algún árbol que justifique su selección (Paredes-Veloso *et al.*, 1997). La selección de árboles es un método de mejoramiento genético, utilizando caracteres que permiten separar genotipos en base a características fenotípicas (Cerón-Rojas y Sahagún-Castellanos, 2005).

En este estudio se empleó el método de selección de árboles por comparación o testigo. Este índice de selección es útil para la selección de genotipos con base en múltiples características fenotípicas simultáneamente, es decir, seleccionar los mejores árboles, aunque el criterio de lo que es mejor solo dependa de lo que se desea mejorar en relación a la identificación y selección de árboles de alto rendimiento, así será en concordancia la ganancia genética que se alcanzará (Vallejos *et al.*, 2010).

Con la selección de árboles superiores, después del mismo se recolecta material de germoplasma esto para obtener semillas de calidad, es posible garantizar el éxito de la especie y evitar su extinción, conservando sus mejores características; logrando de esta forma una eficiencia en el uso de recursos a largo plazo y obtener material de calidad, lo que representa un valor agregado en el uso del suelo y los recursos forestales a obtener (Ortiz-Muñoz *et al.*, 2016).

Tomando como uno de los criterios principales de la selección la resistencia a factores ambientales desfavorables o plagas, así como también en relación a la calidad de la madera y producción de semilla, así poder establecer rodales o plantaciones locales como fuentes de germoplasma para el establecimiento de plantaciones a nivel estatal. El estudio de investigación en ensayos de especies y procedencias han

demostrado que la fuente de germoplasma tiene un fuerte efecto en la supervivencia y en el subsecuente desarrollo de las especies cuando se basan en la aplicación correcta del mejoramiento genético (Alba-Landa, 2003).

De acuerdo a la demanda de germoplasma de calidad, dependiendo a su objetivo de uso, ya sea para madera aserrada, restauración o conservación, la especie será seleccionada a las características fenotípicas de la misma para llegar a los objetivos mencionados. La especie seleccionada fue *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* de la Sierra Norte, en las comunidades de Santa Catarina Íxtepeji, Ixtlán de Juárez, Santa María Jaltianguis, Teococuilco de Marcos Pérez y San Pedro Yolox; la especie tiene potencial para establecer plantaciones comerciales, cuyo objetivo sea la producción de madera aserrada en Oaxaca, Chiapas y Guerrero, donde tiene superficie potencial para el desarrollo (CONAFOR, 2015).

El verdadero propósito es la selección del patrón de desarrollo en altura que el rodal puede esperar seguir durante el resto de su vida como un medio para calificar la productividad del sitio (Hernández-Ramos *et al.*, 2014); en este sentido, pocos o nulos son los trabajos en Oaxaca que relacionan la calidad de sitio con características de los árboles selectos.

El objetivo de este estudio fue caracterizar árboles sobresalientes de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* por el método de selección por comparación de árboles candidatos respecto a sus testigos y su relación con las características de sitio de la Sierra Norte de Oaxaca. La hipótesis es que los mejores fenotipos de esta especie se asocian a los rodales naturales que se encuentran en condiciones saludables con densidades de población regulares; estos factores influyen directamente para que un árbol se considere fenotípicamente superior.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el 2018 en la región de la Sierra Norte de Oaxaca en las comunidades de Santa Catarina Ixtepeji, Ixtlán de Juárez, Santa María Jaltianguis, Teococuilco de Marcos Pérez y San Pedro Yolox; en todas ellas se encontraron rodales naturales de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*.

Selección de árboles superiores

El contacto con las comunidades forestales fue mediante los asesores técnicos forestales, responsables de la asistencia técnica en el manejo forestal. Previo a la búsqueda de los ejemplares, se recorrieron los sitios potenciales para conocer el estado fitosanitario del rodal, se realizó el recorrido a los rodales mediante transectos. En el proceso de búsqueda, primero se ubicaron árboles candidatos y después los testigos.

Se registraron las características cualitativas importantes que son la identificación de la especie, su dominancia o codominancia en el rodal, el estado de sanidad del árbol seleccionado, rectitud de fuste del individuo, forma de copa, ángulo de ramas, poda natural y su estado físico. Las características dasométricas registradas en campo fueron: diámetro normal (cm) utilizando una cinta métrica, altura total y fuste limpio (m), mediante un clinómetro tipo Suunto Haglof®, diámetro de la copa (m), la edad (años) mediante el uso de taladro de Pressler, altitud (m) empleando el GPS®.

Se compararon los datos del árbol candidato contra los testigos de acuerdo a la metodología de Muñoz-Flores *et al.* (2013) para valorar si los árboles seleccionados serían tomados en cuenta para la colecta de las semillas en un futuro. Los datos a comparar entre fenotipos y orígenes fueron las variables cualitativas (rectitud de fuste, poda natural, forma de copa) y las variables cuantitativas (diámetro normal, altura, edad, volumen). Después de la evaluación, si los árboles candidatos resultaron con mayor valor respecto al promedio de los testigos pasaron a ser árboles superiores, por lo que se procedió al marcaje con pintura de agua, asignándole valores consecutivos.

Manejo y análisis de datos

La edad se determinó mediante el conteo visual de anillos de crecimiento en las virutas extraídas en cada uno de los árboles. El índice de sitio (IS) se calculó mediante el ajuste del modelo de Shumacher:

$$AT = \beta_0 e^{\beta_1 \left(\frac{1}{E}\right)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: AT = altura total (m), E= edad (años), β_0 = parámetro del valor asintótico, β_1 parámetro de la tasa de crecimiento, e = base de los logaritmos naturales (2.7182818).

Simplificando:

$$AT = IS e^{\beta_1 \left(\frac{1}{Eb} - \frac{1}{E}\right)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde: Eb= edad base (años), IS= índice de sitio (m).

El ajuste mostró un coeficiente de determinación (R^2_{adj}) de 0.94; con el ajuste del modelo se estimó el IS utilizando la ecuación 2 generada, así como para la generación de curvas anamórficas para calificar a los árboles sobresalientes y para ello fueron distribuidas en cinco rangos; en cada rango se clasificaron árboles de acuerdo a sus características: E= excelente, B=buena, M=media, R= regular y P=pobre.

Los árboles ya clasificados por IS se les aplicó la prueba de Kruskal-Wallis ($P=0.05$) para diferenciar la calidad de sitio y origen para variables cualitativas de altitud, rectitud de fuste, forma de copa y poda natural a los árboles candidatos. En los árboles testigos se le aplicó el mismo método de IS, nada más que no se consideró la variable poda natural, ya que en la calificación de campo se les otorgaba un cero de forma automática.

Se aplicó una prueba no paramétrica a los testigos de cada árbol superior mediante el estadístico Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$), utilizando como repeticiones el número de testigos de cada árbol seleccionado. A las variables paramétricas como al diámetro normal, la altura, volumen, edad se les aplicó análisis de varianza y prueba de medias (Duncan, 0.05), siendo el origen la variable independiente. Todos los análisis fueron realizados en el programa Statistical Analysis System (SAS) (Institute SAS, 2017).

RESULTADOS

Selección de árboles superiores

Se seleccionaron 47 árboles: Ixtepeji (12), Jaltianguis (13), Ixtlán (2), Teococuilco (17) y Yolox (3); conteniendo cada uno entre tres a cinco árboles testigos. Los resultados mostraron similitud en rectitud de fuste en los árboles testigos, así como en forma de la copa ($P>0.05$); es importante aclarar que, en rectitud del fuste, cuando se calificaron con los árboles superiores recibieron una calificación menor. Por otro lado, la altitud fue distinta entre los testigos ($P=0.0001$).

Los árboles testigos mostraron un IS mínimo de 22 m y máximo de 46 m; los árboles testigos fueron agrupados en función de su altura total; resultando un total de 66 árboles clasificados con altura “media”, 36 de ellos con altura “buena”, nueve árboles con altura “excelente”, 28 árboles con altura “regular” y cinco de ellos con altura “pobre” (Figura 1).

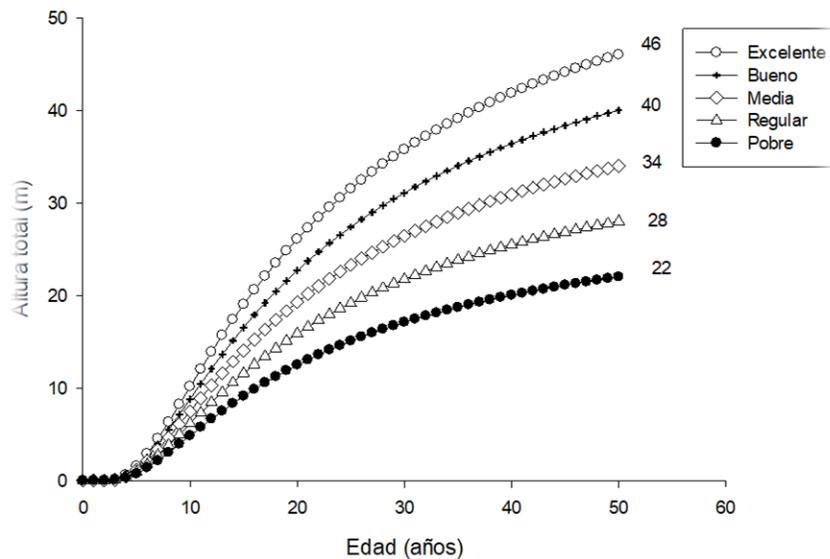


Figura 1. Curvas anamórficas de índice de sitio para *Pinus pseudostrabus* var. *apulcensis* en la Sierra Norte de Oaxaca.

Los árboles testigos calificados “excelente” presentaron un rango de altura total entre 43 y 49 m, localizados en las localidades de Ixtlán, Jaltianguis, Ixtepeji y Teococuilco. Las características de rectitud del fuste, forma de copa, así como la altitud de los sitios no mostraron diferencias ($P>0.05$) entre las calidades de índice de sitio.

Comparación de árboles selectos y testigos

Se calificaron 191 árboles (145 testigos y 46 superiores) en los rangos de IS. En el rango “bueno” fueron agrupados 53 de ellos, 83 árboles en el rango “medio”, 18 árboles se clasificaron en “regular”, 32 en excelente y 5 árboles en el IS pobre. Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis indicaron una variación marginal en altitud entre los índices de sitio ($P=0.03$), en rectitud del fuste se encontró diferencia altamente significativa ($P=0.006$), con variabilidad entre todos los árboles, recalcando que los testigos obtienen una calificación menor al árbol superior (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables no paramétricas de árboles selectos y testigos de acuerdo a su origen.

Origen	GL error	Altitud (m) ($P=0.0001$)		Rectitud de fuste ($P=0.2292$)		Poda natural ($P=0.7006$)		Forma de copa ($P=0.5188$)	
		SC	CM	SC	CM	SC	CM	SC	CM
Ixtepeji	49	4268	87.1	5338	109	4971	101.45	5133	104.7551
Jaltianguis	54	3112.5	57.63	5018.5	92.9	5081	94.092	5285	97.8703
Ixtlán	8	796	99.5	902.5	113	614	101.75	707	88.375
Teococuilco	68	8670	127.5	5985.5	88	6273	92.25	5985.5	88.022
Yolox	12	1490	124.2	1091.5	91	1197	99.75	1225.5	102.125

Prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0.05$). SC = suma de cuadrados, CM = cuadrados medios, GL = grados de libertad.

En poda natural se encontró que no son similares los árboles testigos y selectos ($P=0.0018$) siendo heterogéneos los árboles en general, teniendo en cuenta que los árboles testigos reciben una calificación

menor que los aboles selectos; y en forma de copa no se encontraron similitud en los árboles testigos y selectos ($P=0.0005$) indicativo que los árboles son heterogéneos especificando que los árboles testigos en forma de copa reciben la calificación 0 por definición.

Los resultados indican que la rectitud del fuste es similar entre los árboles evaluados ($P=0.2292$) indicando que esta variable es homogénea en los testigos y árboles superiores; es importante aclarar que, en esta variable, cuando se califican los árboles testigos y superiores reciben una calificación menor. La forma de copa, por igual, fue similar entre árboles testigos ($P=0.5188$) debido a que se aplicó la misma metodología de selección y reciben una menor calificación en esta variable en comparación al árbol selecto. La altitud no es similar entre los árboles testigos y selectos ($P=0.0001$) siendo heterogénea y mostrando la variabilidad donde se encuentra la especie en rangos de altitud diferentes; la poda natural también fue similar en los testigos y árboles selectos ($P=0.7006$).

Al realizar la comparación de variables se encontró que los árboles de mayor AT y DN están en Ixtlán y los de menor AT como en DN se encuentran en Jaltianguis. Así mismo, se observó que en la comunidad de Ixtepeji se encuentran los árboles más longevos (58 años en promedio) y los de menor edad en Teococuilco. En DN, volumen, longitud de viruta con corteza, longitud de albura, área basal y área basal de duramen se encontraron diferencias significativas, donde la comunidad de Ixtlán observó valores altos. En las variables radio de viruta sin corteza y área basal de albura no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comportamiento de árboles seleccionados y testigos.

Variables	Origen				
	Ixtlán	Yolox	Ixtepeji	Teococuilco	Jaltianguis
AT (m)	37.87±3.18 ^a	37.41±4.96 ^a	35.9±3.89 ^{ab}	34.07±5.58 ^b	33.13±4.60 ^b
DN (cm)	57.05±5.64 ^a	51.33±9.37 ^{bc}	53.76±9.41 ^{ab}	47.24±7.20 ^c	50.88±8.40 ^c
Edad (años)	53.87±8.09 ^{ab}	46.16±4.66 ^c	58.4±8.29 ^a	50.29±7.75 ^{bc}	49.57±10.10 ^{bc}
Volumen (cm ³)	5.22±1.29 ^a	4.29±1.74 ^{abc}	4.53±1.94 ^{ab}	3.34±1.41 ^c	3.74±1.49 ^{bc}
RVSC (cm)	18.32±2.73 ^a	19.12±4.14 ^a	17.79±5.41 ^a	16.45±3.80 ^a	18.6±4.28 ^a
LCC (cm)	23.91±3.41 ^a	19.94±4.32 ^{bc}	21.56±4.59 ^{ab}	18.56±3.78 ^c	20.32±4.27 ^{bc}
LAB (cm)	26.23±3.68 ^a	21.59±4.15 ^c	24.92±4.29 ^{ab}	20.52±3.92 ^c	22.77±3.87 ^{bc}
AB (m ²)	0.257±0.05 ^a	0.213±0.074 ^{abc}	0.23±0.085 ^{ab}	0.179±0.055 ^c	0.208±0.067 ^{bc}
ABAL(cm ²)	1075.5±293.7 ^a	1198.7±482.68 ^a	1085.5±636.55 ^a	895.2±426.86 ^a	1143.6±509.0 ^a
ABD (cm ²)	1502.6±482.7 ^a	934.2±479.13 ^b	1253.1±590.9 ^{ab}	897.8±440.90 ^b	944.1±542.89 ^b

Letras distintas indican diferencias significativas entre variables respecto a su origen (Duncan, $\alpha=0.05$). Media \pm desviación estándar. Altura total (AT), diámetro normal (DN), radio de viruta con corteza (RVSC), longitud de viruta con corteza (LCC), longitud de área basal (LAB), área basal (AB), área basal de albura (ABAL) y área de duramen (ABD).

DISCUSIÓN

En otros trabajos se ha encontrado que las variables que cumplen con el método de comparación y con los criterios de selección previos a su establecimiento fueron: rectitud de fuste, calidad de copa y poda natural; circunstancia que ocurrió en esta investigación y que propicia la homogenización de los caracteres bajo selección, influyendo sobre la característica en estudio (Zamora-Campos y Mendizábal-Hernández, 2004). Otros trabajos coinciden con estas variables, pero depende de la especie, ya que algunos autores le dan más prioridad a ciertos factores que influyen en el proyecto a establecer; como en el caso de Núñez *et al.* (2017),

donde los criterios seguidos en los sitios de muestreo al seleccionar ocho árboles, todos cumplieron con los demás estándares de selección prefijados.

En este caso se valoró fuera un árbol sano, con una copa simétrica (rectitud = 1), la superficie de la copa > 80%, el volumen de la copa > 10 m³, la longitud de la copa superior a 3.5 m, con floración y producción de frutos > 60%. Sin embargo, dentro de ellos, la variable más importante para la selección fue la producción de frutos por árbol (kg/árbol). Espitia *et al.* (2009) presentan la relación y el código de los 15 mejores árboles plus, con sus valores de diferencial de selección y clasificados de acuerdo a su índice de selección. Se corrobora lo detectado anteriormente, para diferencial de selección, que los caracteres en los cuales se localizó la mayor ganancia genética esperada, son en su orden: volumen comercial, altura comercial, calidad de fuste y diámetro altura del pecho. Si se seleccionan únicamente los mejores 15 árboles plus de la lista se podría estimar una ganancia genética esperada de 64.9%, en volumen comercial; 31.1%, en altura comercial; 26.6%, en calidad de fuste y 4.6%, en diámetro a la altura de pecho, siendo también relevantes las variables cuantitativas también en este trabajo como en el volumen comercial de acuerdo a los fines del proyecto.

Balcorta-Martínez y Vargas-Hernández (2004) encontraron, en lo que respecta a la rectitud del fuste, un valor promedio en la población de 1.6, con una desviación estándar de 0.1 y un coeficiente de variación de 5%, con valores extremos de 1 y 4. Estos datos muestran que la variación en esta característica es muy baja, a diferencia de lo ocurrido con los datos de crecimiento de este estudio. El valor promedio tan bajo también indica que en general, la población base tiene fustes con torceduras y desbalanceados. De cualquier manera, al menos un 18% de los árboles en la muestra presentaron valores de rectitud entre 3 y 4, que corresponden a fustes relativamente rectos y sin torceduras, por lo que podrían ser seleccionados si además presentan otras características de importancia económica.

Vallejos *et al.* (2010) describen que una calidad de fuste extraordinaria supera en más de un 85% a sus vecinos, pero un crecimiento en volumen mediocre, que registra inclusive una inferioridad de poco más de un 20% con respecto a sus vecinos. Estos dos casos serían claramente eliminados de un programa convencional de mejoramiento genético. Sin embargo, uno de ellos exhibe un extraordinario vigor y en el otro, una sobresaliente calidad de fuste, ambos criterios de importancia capital y altamente deseables, como los encontrados en los árboles selectos con fustes con tres caras de rectitud; pero con las variables diámetro normal, altura y edad se encontraron con volúmenes aceptables para su aprovechamiento de aserrío de calidad, demostrando que estas variables no se deben de perder de vista en la selección de árboles plus. No debe olvidarse, que en la mayoría de los casos los caracteres de volumen y los cualitativos se segregan de manera independiente.

Muñoz-Flores *et al.* (2012) señalan que en los resultados de la caracterización dasométrica de los árboles seleccionados de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. et. Cham, como superiores, el DN presentó un rango de 56-77 cm, con un promedio de 64.6 cm. En lo que respecta a la altura total el rango fue de 27-38 m, con un promedio de 33.9 m. Los árboles superiores seleccionados en este estudio presentaron un rango de edad entre 50 y 62 años, dando un promedio general de 56.2 años. Comparados con este estudio realizado, el DN presentó un rango de 33-72 cm y media de 50 cm, mientras que la altura tuvo un rango entre 25 y 40 m, con un promedio de 34 m. Con respecto a la edad, el rango fue de 34 a 70 años dando un promedio de 52 años; de esta manera se cumplen los requisitos que se mencionan en la metodología de selección de árboles superiores.

Gutiérrez-Vázquez *et al.* (2016) en su análisis de componentes principales concluye que el DN, altura total y diámetro de copa conducen más atinadamente a la selección de árboles sobresalientes, al representar 79.4% de la varianza total con el primer componente principal (CP); además, aportaron una contribución relativa semejante para explicar la variación total y para los efectos buscados, los resultados son semejantes al análisis de Duncan ya que en las mismas variables que se menciona anteriormente se encuentra que son diferentes.

La procedencia de los árboles también es una variable que implica a la selección de árboles selectos, así como mencionan Mesén y Vásquez (2009), que aplicaron un ensayo de 7 procedencias y 49 familias de polinización abierta de *Vochysia guatemalensis*, de 18 años de edad, en Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, los materiales fueron originados de árboles plus seleccionados en rodales naturales de Guatemala, Honduras y Costa Rica. El análisis incluyó información sobre altura total, diámetro a la altura del pecho (DN) y forma del fuste. Se encontró diferencias significativas entre procedencias y familias únicamente para DN. Lo mismo sucedió en este estudio con diferencias en esas mismas variables añadiendo el volumen, el área basal y la edad de los árboles selectos. Gálvez-López *et al.* (2018) describen que los caracteres de madera son rasgos fundamentales de la especie y que la presión selectiva sobre ellos no difiere entre poblaciones. Sin embargo, dado que la muestra por procedencia no fue al azar, si no sesgada por una selección por crecimiento, este hecho podría estar interfiriendo en la falta de control poblacional y baja diferenciación observada entre procedencias para calidad de madera, a diferencia del elevado control poblacional en las variables de crecimiento.

Bajo estas circunstancias y siempre que se haga una selección previa por crecimiento se sugiere que no es necesario incluir la calidad de madera en el primer paso de selección de procedencias, en el presente estudio la variación dentro de procedencias fue muy alta indicando una gran variabilidad dentro de la misma procedencia, demostrando que los árboles selectos pueden ser diferentes respecto a las otras procedencias de los árboles, ya que fueron seleccionadas una misma región. También mencionan Pavlotzky y Murillo (2014), la interacción genotipo-ambiente es un parámetro que registra el grado de adaptabilidad y comportamiento de los genotipos en varios ambientes. Por tanto, es esencial su análisis para reducir pérdidas en productividad cuando se busca plantar en todos los ambientes deseados, las colecciones de genotipos seleccionados y los valores de interacción genotipo-ambiente estimados en este estudio fueron casi nulos en los 8 caracteres investigados. Esto también se encontró en el proyecto ya que en el origen no fue similar, la altitud de la especie y en la estimación de las virtudes también se observó que son similares.

La distancia aplicada entre los árboles es adecuada ya que, Muñoz-Flores *et al.* (2011) mencionan el número de árboles superiores seleccionados corresponde a una intensidad de selección de 0.77%, que representan los seis árboles selectos en 12 ha. Estos resultados son similares a quienes afirman que solo debe aceptarse un árbol proveniente de cualquier rodal natural pequeño para reducir la posibilidad de obtener candidatos que sean parientes cercanos y con ello evitar la endogamia; señalan además que al elegir de 100 a 200 árboles de una población inicial de 100,000 (en 120 ha) la intensidad de selección es razonable, es decir se seleccionaron en promedio 1 árbol ha⁻¹, comparando con el presente proyecto es similar la cantidad de árboles encontrados por hectárea.

Salas-Rodríguez *et al.* (2016) mencionan que la altura total registró una correlación negativa significativa con la severidad del patógeno en todos los ensayos. Lo que sugiere que a mayor altura del árbol (vigor) menor severidad de la enfermedad de pudrición, con un valor promedio de significancia alta ($P < 0.05$). El DN no registró una correlación significativa con la severidad de la enfermedad, ya que estas variables cuantitativas son las principales que se evaluaron en el proyecto de selección; en este trabajo no se encontraron plagas en los árboles, y la importancia de la altura de los árboles selectos, la plaga puede darle un definís en su crecimiento a la altura (Espitia *et al.*, 2009).

Otros autores mencionan que las características que definen la selección de los árboles selectos se basan principalmente en características de heredabilidad como rectitud de fuste, media de DN, árbol libre de plagas y enfermedades y sin presencia de ramas gruesas a nivel de fuste. En el presente trabajo se aplicaron criterios técnicos para la selección de árboles superiores (DN, sanidad de árbol, rectitud de fuste otras medidas dasométricas), mismos que concuerdan con los ya mencionados por Oliva y Rimachi (2017). También lo describen Ramos-Huapaya y Domínguez-Torrejón (2016), los árboles seleccionados para el programa solo son candidatos a árbol plus hasta validar sus características mediante ensayos de progenie y/o ensayos clonales, lo cual haría falta en el presente estudio.

Por lo tanto, puede definirse a un árbol candidato como aquel individuo de apariencia sobresaliente (como sanidad y calidad de fuste), de características dasométricas no cuantificadas, pero calificadas como altas y/o por encima del promedio poblacional, es decir es aquel que muestra superioridad fenotípica comparada con sus vecinos más cercanos. Aguirre-Dianderas y Fassbender (2013) atribuyen que el factor de ponderación más alto (30%) es la característica forma de fuste, debido a que se la considera la más influyente en la calidad de una troza dentro la industria del aserrío. A las características bifurcación, posición sociológica y estado fitosanitario se les asignó un factor de ponderación del 20% a cada una.

Se consideró que la forma de copa debía tener un factor del 10% debido a que es menos influyente para los objetivos del estudio, Así mismo, el peso de ponderación asignado no debía ser tan gravitante como para que un candidato sea rechazado como árbol plus, si se tiene en cuenta que la forma de la copa en un árbol puede responder a aspectos de competencia por luz que no necesariamente son transmitidos a la descendencia. Sin embargo, la importancia de su inclusión se basó fundamentalmente en aspectos fisiológicos del árbol y por la magnitud de producción de semillas que una copa vigorosa ofrece en términos cuantitativos. En la búsqueda de un árbol selecto con estas variables fueron importantes en este trabajo teniendo más ponderación la forma de copa debido al germoplasma que se desea conseguir.

Ávila-Arias *et al.* (2016), señalan que el resultado es de vital importancia en el proceso de filtrar los genotipos de mayor valor genético y más importante aún, si coinciden tanto para severidad e incidencia y en el análisis fenotípico y genotípico; esto proporciona certeza en la selección para continuar en el programa de mejoramiento genético o para sacarlo del mismo, se sustenta en información científica validada en campo. En tal sentido, la información generada resulta de valor para apoyar la selección de los árboles que se incorporen a un programa de mejoramiento genético, por cuanto permite hacer otros ordenamientos en función de cada variable, para seleccionar líneas de mejora independientes para biomasa o producción de frutos, o implementar otros criterios de selección, esto en el estudio se calificó y determino de manera permanente a su evaluación ya que un futuro perjudicaría en la clonación de genotipos (Gutiérrez *et al.*, 2016).

El uso de la biotecnología para la propagación clonal de especies forestales constituye una estrategia de apoyo a la silvicultura con estructura familiar siendo importante los estudios presentados que tienen como objetivo mejorar las especies mencionadas siendo este una metodología severa, pero al final lleva a los resultados finales de los proyectos (Schuler *et al.*, 2005). Teniendo como resultado final semillas de genotipos para poder implementar clones de estos genotipos y tener un buen manejo de las masas forestales que se generaran manera de calidad en aserrío.

CONCLUSIONES

Los árboles de *P. pseudostrabus* var. *apulcensis* seleccionados como fenotipos sobresalientes de Ixtlán, Oaxaca presentaron mayor altura total, diámetro normal, volumen, longitud de viruta con corteza, longitud de área basal, área basal y área basal de duramen. Para fines de establecimiento de plantaciones forestales comerciales, de restauración y reforestación de la especie, se recomienda ampliamente el uso de semillas de los árboles superiores S-33 y S-34 (Teococuilco), S-3 y S-9 (Ixtepeji), S-26 (Ixtlán) y S-23 y S-25 (Jaltianguis) como fuente de germoplasma de material selecto. La selección de estos árboles es el inicio de un proyecto de mejoramiento genético de la especie y los resultados derivados del presente estudio resultan de alta importancia en la agrupación de los árboles selectos para conocer los árboles superiores mediante índice de sitio. Esto ayudará enfocarse solamente en aquellos árboles clasificados en la categoría de excelente y buena, como los mejores fenotipos para suministro de germoplasma para proyectos posteriores de plantaciones forestales comerciales, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con el apoyo del Fondo Sectorial Para La Investigación, El Desarrollo Y La Innovación Tecnológica Forestal, CONAFOR-CONACYT, a través del proyecto CONAFOR-2016-4-277784 “Establecimiento de huertos semilleros asexuales regionales y ensayos de progenie de *Pinus pseudostrabus* para la evaluación genética de los progenitores”.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Dianderas, C.A. y D. Fassbender. 2013. Selección de árboles plus de siete especies forestales nativas de importancia ecológica y económica en la selva central del Perú. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Proyecto de Conservación de Bosques Comunitarios, Lima, Perú. pp. 27-27.
- Alba-Landa, J., L. Mendizábal-Hernández y A. Aparicio-Rentería. 2003. Estudio de germinación y plántulas de tres poblaciones de *Pinus oaxacana* Mirov de México. *Foresta Veracruzana* 5 (1): 37-43.
- Ávila-Arias, C., A. Salas-Rodríguez y R. Murillo-Cruz. 2016. Selección de genotipos superiores de *Gmelina arborea* Roxb, por su heredabilidad genética a la tolerancia de la enfermedad de pudrición del tronco, Pacífico del Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú Volumen especial*: 11-20.
- Balcorta-Martínez, H.C. y J.J. Vargas-Hernández. 2004. Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 10(1): 13-19.
- Cerón-Rojas, J.J. y J. Sahagún-Castellanos. 2005. Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia* 39(6): 667-677.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2017. (Consultado 24/11/2017). Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/973Pinus%20oaxacana.pdf>. (Consultado: 28/11/2018).
- Comisión Nacional Forestal. (CONAFOR) 2015. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1290Manual%20para%20la%20identificaci%C3%B3n%20y%20establecimiento%20de%20Unidades%20productoras%20de%20Germoplasma%20Forestal.pdf>. (Consultado: 22/11/2018).
- Espitia, M., O. Murillo, C. Castillo, H. Araméndiz y N. Paternina. 2009. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* Willd.) en Córdoba, Colombia. *Revista Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales Actualidad & Divulgación Científica* 13 (2): 99-107.
- Farjón, A., J.A. Pérez-de la Rosa y B. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, Kew. pp. 150-151.
- Gálvez-López, L., J. Jasso-Mata, S. Espinosa-Zaragoza, M. Jiménez-Casas, B. Ramírez-Valverde y J.L. Rangel-Zaragoza. 2018. Calidad de semilla de árboles selectos de *Tabebuia rosea* (Bertol) DC. En el Soconusco, Chiapas, México. *Agroproductividad* 11(3): 90-97.
- Gutiérrez-Vázquez, B.N., E.H. Cornejo-Oviedo, B. Rodríguez-Santiago, J. López-Upton, M.H. Gutiérrez-Vázquez, M. Gómez-Cárdenas y A. Flores-Montaña. 2016. Selección de árboles sobresalientes de caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en un rodal natural mediante métodos multivariados. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(37): 51-63.
- Hernández-Ramos, J., J.J. García-Magaña, X. García-Cuevas, A. Hernández-Ramos, H.J. Muñoz-Flores y M. Samperio-Jiménez. 2014. Índice de sitio para bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham. en el oriente del estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 24-36.
- Institute SAS. 2017. Base SAS 9.4 procedures guide: statistical procedures.
- Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos en México. Tercera Ed. Botas. México. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/981Pinus%20pseudostrabus.pdf> (Consultado: 28/11/2018). pp. 1-7.

- Mendizábal-Hernández, L., H. Cruz-Jiménez, J. Márquez-Ramírez e Y. Jácome- Álvarez. 2009. Potencial productivo de un huerto semillero *Pinus patula* Schl. et. Cham. en Potrero de García, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 4(2): 21-22.
- Mesén, F. y W. Vásquez. 2009. Variación genética de procedencias y familias de *Vochysia Guatemalensis* a los 18 años de edad en Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 33(2): 157-170.
- Muñoz-Flores, H.J., G. Orozco-Gutiérrez, V.M. Coria-Avalos, Y.Y. Muñoz-Vega y J. García-Magaña. 2012. Comparación de dos métodos de selección de árboles superiores en un área semillera de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. et. Cham. en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana* 14(1): 1-8.
- Muñoz-Flores, H.J., G. Orozco-Gutiérrez, V.M. Coria-Avalos, Y.Y. Muñoz-Vega y J. García-Magaña. 2011. Manejo de un área semillera de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. et Cham. Y selección de árboles superiores en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana* 13(2): 29-36.
- Muñoz-Flores, H.J., J.A. Prieto-Ruiz, A. Flores-García, M. Alarcón-Bustamante y J.T. Sáenz-Reyes. 2013. Selección de árboles superiores de *Pinus* sp. Folleto técnico 69. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, SAGARPA, Durango, Dgo. pp. 10-34.
- Núñez, J., E. Quiala, M. de Feria, S. Mestanza, R. Gómez-Kosky, F. Cuadrado, y M. Leiva-Mora. 2017. Establecimiento de un banco clonal de *Caesalpinia spinosa* (Mol.) O. Kuntz mediante selección de árboles plus e injerto. *Biotecnología Vegetal* 17(1): 41-49.
- Oliva, M. e Y. Rimachi. 2017. Selección fenotípica de árboles plus de tres especies forestales maderables en poblaciones naturales en el Distrito de Molinopampa (Amazonas). *Revista de Investigación Agroproducción Sustentable* 1(2): 36-43.
- Ortiz-Muñoz, E., C. Acosta-Hernández, P. Linares-Márquez, Z. Morales-Romero y B. Rebolledo-Camacho. 2016. Selección de árboles semilleros de *Juglans pyriformis* Liebm en poblaciones naturales de Cuatepec y Coacoatzintla, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(38): 43-58.
- Paredes-Veloso, G., A. López-Vega, S. Benedetti-Ruiz y S. Perret-Durant. 1997. Ciencia e Investigación Forestal 2(2): 29-34.
- Pavlotzky, B. y O. Murillo. 2014. Ganancia genética esperada e interacción genotipo-ambiente en *Acacia Mangium* en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 38(2): 7-17.
- Ramos-Huapaya, A.E. y G. Domínguez-Torrejón. 2016. Selección de árboles de Bolaina Blanca (*Guazuma Crinita* Mart.) como candidatos a árboles "Plus" para ensayos de rejuvenecimiento y brotación. *Ecología Aplicada* 15(2): 115-123.
- Salas-Rodríguez, A., O. Murillo-Gamboa, R. Murillo-Cruz y C. Ávila-Arias. 2016. Evidencia de tolerancia genética a la pudrición del tronco en clones de *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú Volumen especial*: 30-39.
- Schuler, I., S. Baquero-O, D. Gaona-T, E. Vega-G, J. Rodríguez-R, C. Ramírez-S, V. Nieto-R y E. Hodson-Jaramillo. 2005. Propagación *in vitro* de material seleccionado de *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. (Ocobo) y *Cordia Alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken (Nogal Cafetero). *Revista Colombiana de Biotecnología* 7(1): 39-50.
- Sotolongo-Sospedra, R., G. Geadá-López y M. Cobas-López. 2017. Mejoramiento genético forestal Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Mejoramiento%20Genetico%20Forestal.pdf. (Consultado 12/12/2017).
- Vallejos, J., Y. Badilla, F. Picado y O. Murillo. 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense* 34(1): 105-119.
- Zamora-Campos, E.M. y L. del C. Mendizábal-Hernández. 2004. Variación del peso específico de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. y Golf. En la región de los Tuxtla Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 6(2): 41-46.

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA DE YURIRIA, GUANAJUATO, MÉXICO PARA 2022

[ANALYSIS OF WATER QUALITY IN YURIRIA LAGOON, GUANAJUATO, MÉXICO FOR 2022]

Ileana Jimena Granillo-Suárez^{1§}, Eugenia López-López², Enrique Martínez y-Ojeda³

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Oaxaca. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Oaxaca de Juárez, México. ²Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Laboratorio de Evaluación de la Salud de los Ecosistemas Acuáticos. Ciudad de México, México. ³Profesor Investigador del Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Oaxaca. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Oaxaca de Juárez, México.

§Autor para correspondencia: (ileanagranillo@gmail.com).

RESUMEN

La Laguna de Yuriria es un ecosistema de agua dulce que constituye un área natural protegida con importancia internacional, nacional y regional. Actualmente, está afectada por una contingencia ambiental ocasionada por la descarga de aguas residuales, la contaminación, la sobrepoblación del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y la sobreexplotación de sus recursos naturales. Su preservación es importante debido a que genera beneficios ambientales, desarrollo social, cultural y económico. Como consecuencia, la calidad del agua de este recurso hídrico desempeña un papel importante y requiere su mantenimiento en condiciones adecuadas. El objetivo del estudio fue evaluar la calidad del agua de la laguna de Yuriria mediante el análisis de 21 parámetros físicos y químicos de 11 sitios de monitoreo y la aplicación del índice de la calidad del agua (ICA) de Dinius (1987). Esto permitirá obtener un índice de la calidad del agua de la laguna que proporcione información de su estado actual y que sea útil para los manejadores del recurso hídrico y la comunidad científica. Los datos muestran que las estaciones 4 y 8 presentan altas concentraciones de sólidos suspendidos y disueltos y una presencia elevada de coliformes totales y coliformes fecales. El valor de ICA fue de 61.77, por lo que la calidad del agua posee un conteo de bacterias aceptable y con tendencia a convertirse en contaminada para su utilización en la recreación. Su condición resultó en el límite para peces sensibles, y adecuada para la agricultura.

Palabras clave: Ecosistemas de agua dulce, desarrollo local, descargas residuales, gestión de recursos hídricos, sitio Ramsar.

ABSTRACT

The Yuriria lagoon is a freshwater ecosystem that constitutes a natural protected area with international, national and regional importance. Currently, it is affected by an environmental contingency caused by the discharge of wastewater, pollution, the overpopulation of the water lily (*Eichhornia crassipes*) and the overexploitation of its natural resources. Its preservation is important because it generates environmental benefits, social, cultural and economic development. As a consequence, the quality of the water of this important hidric resource plays an important role and requires its maintenance in suitable conditions. The objective of the study was to evaluate the water quality of the Yuriria lagoon through the analysis of 21 physical and chemical parameters from 11 monitoring sites and the application of the Dinius (1987) Water Quality Index (ICA). This will allow obtaining a water quality index that will help obtain actual information that it's useful for managers of water resources and the scientific community. The data shows that stations 4 and 11 present high concentrations of suspended and dissolved solids and a high presence of total coliforms and fecal coliforms. The ICA value was 61.77, so the water quality has an acceptable bacteria

Recibido: 26-agosto-2022

Aceptado: 02-diciembre-2022

count and a tendency to become contaminated for use in recreation. His condition was borderline for sensitive fishes and suitable for agriculture.

Index words: Freshwater ecosystems, local development, management of hydric sources, Ramsar site, residual discharges.

INTRODUCCIÓN

El agua es fundamental para el desarrollo de las distintas formas de vida. Sumando a esto, las aguas dulces dominan el 2.5% de toda el agua de la Tierra y su distribución y disponibilidad no es la misma en las distintas partes del mundo (Dodds y Whiles, 2010; Guerrero *et al.*, 2009). A partir del siglo XXI, el agua se convirtió en un tema prioritario en las agendas mundiales de gobierno pues las actividades antropogénicas han debilitado el bienestar ambiental y el mantenimiento de las actividades sociales y económicas que genera este importante recurso (Agudelo, 2005).

Por otro lado, la calidad del agua dulce ha ido deteriorándose, de manera considerable, desde la época de la revolución industrial. Está influenciada por factores naturales como: la materia orgánica, los materiales arrastrados y las partículas suspendidas. Así como por actividades antrópicas que son las descargas residuales y domésticas y los efluentes provenientes de la industria y la agricultura (Torres *et al.*, 2010). Zhao *et al.* (2012) sugieren que la calidad del agua de las aguas superficiales está claramente relacionada con la salud humana y tiene un papel importante en torno a los organismos acuáticos y como proveedor de bienes y servicios para la sociedad. García-Rodríguez *et al.* (2021) mencionan que la calidad del agua se refiere a las propiedades físicas, químicas y biológicas que en conjunto pueden clasificarse de acuerdo a normativas establecidas para cada tipo de uso. Por su parte, Mendoza-Fuentes (2018) explica que la definición de la calidad del agua no es sencilla y que genera controversia, pero su comprensión puede abordarse desde la perspectiva utilitaria, de sus características para mantener un equilibrio en el ecosistema y la perspectiva de sus propiedades físicas y químicas, así como microbiológicas. Por último, Villena-Chávez (2018) expresa que la calidad del agua es un tema relevante en los niveles políticos, sociales, económicos, ambientales y de salud pública.

Así pues, la condición de la calidad del agua puede evaluarse a través del análisis de especialistas acerca de parámetros físicos, químicos y biológicos (Balmaseda-Espinoza y García-Hidalgo, 2014). Una herramienta para esta interpretación, son los Índices de la Calidad del Agua (ICA) que tienen como objetivo comunicar a la población, tomadores de decisiones y expertos sobre el estado actual de un determinado ecosistema acuático. Además, una característica importante, es que tienen la capacidad de sintetizar una gran cantidad de datos en una sola cifra (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2016). Varios autores coinciden en que el primer índice de la calidad del agua fue desarrollado por Horton en 1965 (Alarcón-Corro, 2019; Rana y Ganguly, 2020; Shala-Abazi *et al.* 2020). En tanto, Kachroud *et al.* (2019) y Uddin *et al.* (2021) mencionan que a lo largo del tiempo se han propuesto otros, como el del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente y los ICA del Programa de Mejoramiento de la Cuenca del Bajo Gran Miami en Dayton, Ohio, Estados Unidos. Además, indican, que en este mismo país y a principios de este siglo, fue desarrollado el índice de Scatterscore.

Para Gradilla-Hernández *et al.* (2020), hasta la fecha, no ha sido posible la construcción de un índice universal debido a la complejidad de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en un cuerpo de agua contaminado. En contraste, un aspecto que es igual para todos los modelos de ICA, es su formulación. Esta se lleva a cabo en cuatro etapas y son las siguientes: 1. Selección de los parámetros, pueden ser uno o varios. 2. Generación de los subíndices de los parámetros. 3. Asignación del valor del peso de los parámetros. 4. Cálculo del índice de la calidad del agua. En esta última etapa, los subíndices de los parámetros se combinan usando las ponderaciones. Esto resulta en un índice general y se clasifica de acuerdo a una escala para otorgarle un valor a la calidad del agua (Zotou y Tsihrintzis, 2019).

A nivel mundial, existen diversos estudios que muestran la aplicación de un ICA para la evaluación de la calidad del agua de determinados ecosistemas acuáticos. Bora y Goswami (2017) señalan la aplicación del ICA con el método de Brown *et al.* (1972) en el río Kolong en Assam, India. Su metodología incluyó el muestreo de siete sitios y el análisis de parámetros fisicoquímicos durante las épocas de pre-monzón, monzón y post-monzón durante enero de 2012 a noviembre de 2015. Conforme a sus resultados, la calidad del agua colectada durante la época de monzón mostró la calidad de agua más deteriorada con un valor promedio del ICA de 122.47. Los autores plantean que se deben de diseñar estrategias efectivas para aumentar la calidad del agua y propiciar la sustentabilidad y restauración del río. Otro estudio, es el de Shala-Abazi *et al.* (2020) quienes explican la evaluación de la calidad del agua en el río Sitnica, ubicado en la República de Kosovo, mediante el ICA de Canadá y el monitoreo de 16 parámetros de 10 sitios de estudio en primavera, verano y otoño. De acuerdo al tratamiento de los datos, el promedio del ICA para todo el período evaluado fue de 63.5. De acuerdo con la clasificación del índice empleado, quedó en la categoría de mala. Además, otros autores como Wu *et al.* (2018); Alarcón-Corro (2019) y Zotou y Tsihrintzis (2019) han evaluado la calidad de ríos y lagos a nivel internacional.

En México, la evaluación de la calidad del agua es muy importante. Ibararán *et al.* (2017) explican que se calcula que únicamente el 20% de las descargas residuales provenientes de las zonas urbanas y de la industria reciben tratamiento. Esta situación genera problemas de salud pública y desarrollo que se agrava debido a que la institución encargada de su monitoreo en las 12 regiones hidrológicas, solamente considera la materia orgánica como el principal agente de contaminación (demanda bioquímica de oxígeno a 5 días (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST).

En México, la calidad del agua evaluada a través de un ICA ha sido estudiada por diversos autores. Gradilla-Hernández *et al.* (2020) evaluaron la calidad del agua del lago Cajititlán en Jalisco, México mediante la aplicación del ICA de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos. Los datos fueron obtenidos mensualmente durante septiembre de 2009 a abril de 2018 en cinco sitios de muestreo localizados a lo largo del lago. El promedio del ICA fue de 50.4. De esta forma, el cuerpo de agua presentó una calidad del agua media que resulta en estrés para la vida acuática y que las actividades recreativas se tienen que llevar a cabo con precaución. Martínez-Zavala (2021) aplicó el ICA de Dinius (1987) utilizando 13 parámetros fisicoquímicos y monitoreos de seis localidades en la parte alta, media y baja del río Amacuzac en el estado de Morelos. Sus resultados arrojaron que la calidad del agua tuvo valores entre 51 y 80. Esto colocó a la calidad de agua de este cuerpo de agua en la categoría de regular.

Por su parte, en la laguna de Yuriria, también se han realizado este tipo de investigaciones. La primera, es la de Espinal-Carreón *et al.* (2013), donde emplearon el ICA de Dinius (1987) para evaluar la calidad del agua de la laguna en dos períodos de estudio (2005 y 2009-2010). Su objetivo fue comparar la calidad del agua entre ambos periodos, ya que entre éstos se aplicaron acciones para mejorar las condiciones del cuerpo de agua. Los datos mostraron que el promedio del ICA para 2005 fue de 60 ± 3.4 cuando se consideraron todos los sitios de estudio, de 61 ± 2.2 cuando se tomaron en cuenta solamente los 15 sitios del interior de la laguna y de 54 ± 3.3 para los tributarios. El análisis espacial de los autores muestra que los sitios 7, 9, 16, 17 y 18 tuvieron los valores más bajos de ICA. Para el segundo período de estudio el promedio global del ICA fue de 67 ± 3.9 y de 68 ± 1.9 cuando tomaron únicamente los sitios del interior de la laguna. Por último, el ICA fue de 58 ± 6.3 para los tributarios. La segunda investigación es la de Bonilla-Hernández *et al.* (2016); quienes en su estudio determinaron la calidad del agua a través del muestreo de 20 sitios en época de lluvias y de estiaje y mediante la aplicación de un ICA. El valor de este ICA fue de 57.43 y su clasificación fue etiquetada en levemente contaminada para la agricultura y la industria, contaminada para la pesca y agua potable y aceptable para uso recreativo sin considerar los deportes de inmersión.

La Laguna de Yuriria es un ecosistema acuático de importancia mundial, y regional debido a que posee tres decretos importantes. El primero es que este vaso de almacenamiento es un Sitio Ramsar. Esta distinción fue otorgada el 15 de enero de 2004 y tomó como referencia los criterios 2, 4 y 5 de la Convención Ramsar. Por otro lado, es un Área Natural Protegida Estatal en la categoría de preservación ecológica. Acorde a su

programa de manejo, es el sustento de las etapas de vida de especies de aves y desempeña la función de vaso regulador del microclima (SMAOT, 2005). Por último, es un Área de Importancia para la Conservación de las Aves. Esta distinción fue otorgada en el año de 1999 pues se registraron 143 especies de aves (CONABIO, 2015).

González-Banda *et al.* (2021) apuntan que la contaminación de la laguna de Yuriria se debe a sectores de la economía local como la pesca, el comercio y la agricultura. Cada uno de estos origina una presión sobre el estado de la calidad del agua. Por ejemplo, el correcto funcionamiento de las lanchas carece de normativa por lo que la laguna tiene acumulación de hidrocarburos. También, el comercio ejerce una influencia en la calidad del agua debido a la zona restaurantera de comunidades como La Angostura pues se desechan residuos sólidos y de alimentos. Esta situación se agrava, ya que no existe un plan de manejo de residuos y una conciencia ambiental. Por último, las zonas aledañas a la laguna son utilizadas para el cultivo de cebada, frijol, maíz, sorgo y trigo y predomina la agricultura de riego. Esta actividad origina un alto grado de toxicidad debido a los plaguicidas. En este sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del agua de la Laguna de Yuriria, Guanajuato mediante el análisis de 21 parámetros físicos y químicos de 11 sitios de monitoreo ubicados a lo largo de la laguna y la aplicación el índice de calidad del agua de Dinius (1987), para obtener datos actuales que contribuyan a los existentes y ayuden a plantear estrategias para su preservación ecológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la Laguna de Yuriria, Guanajuato. Este cuerpo de agua forma parte del Área Natural Protegida Laguna de Yuriria y su zona de influencia. Se ubica en la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago (SISR, 2004; Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato, 2022). La cuenca de la Laguna de Yuriria se localiza en los estados de Guanajuato y Michoacán. En total, cubre once municipios y abarca una extensión aproximada de 1,119.45 km² y se localiza entre los paralelos 20°19'59'' y 20°01'35'' latitud norte y 100°56'54'' y 101°27'32' longitud oeste. A su vez, esta cuenca colinda con otras cuencas hidrológicas que forman parte de la región RH12 Lerma Santiago-Pacífico. Otra característica de la cuenca, es que se ubica dentro del Sistema Volcánico Transversal y su topografía incluye sierras, valles, llanuras y lomeríos que poseen una altitud promedio de 2500 m. El clima que domina la región es el semicálido tipo subhúmedo con lluvias en verano y con lluvia de invierno menor a 5%. Posee una temperatura media anual mayor a los 18 °C (INEGI, 2020).

La Laguna de Yuriria recibe aportes del Río Lerma y del dren La Cinta, y su principal afluente es el Río Moroleón y se distingue por fungir como vaso regulador. Asimismo, su caudal se nutre del agua proveniente de la precipitación, del escurrimiento de las vertientes y de las aguas residuales de las zonas aledañas (SISR, 2004). Este ecosistema acuático es hábitat de especies de peces como el tiro (*Goodea atripinnis*) y el charal (*Chirostoma jordani*) y de anfibios como la rana leopardo de Moctezuma (*Lithobates montezumae*), que de acuerdo a la NOM 059-SEMARNAT-2010 es endémica y se encuentra sujeta a protección especial.

Trabajo de campo

Los datos analizados corresponden al mes de junio de 2022. Los sitios de muestreo se distribuyeron dentro de la laguna considerando zonas limnéticas y zonas litorales, sus tributarios y efluentes. Así como zonas próximas a la influencia de asentamientos humanos y sin ellos (Figura 1). En total, se establecieron 11 estaciones. En todos los sitios se colectaron muestras de agua de superficie y en los 3 y 6 se añadieron muestras de fondo. Todas en recipientes de polietileno. Para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los parámetros fisicoquímicos fueron de 500 mL y para los coliformes fecales de 250 mL. En cada sitio se registró *in situ* la temperatura del agua y del aire (°C) con un termómetro de alcohol Termómetro de -10 a

+50 °C LO tox Laboratory marca Brannan; la Transparencia (cm) mediante un Disco de Secchi; el pH mediante un medidor multiparamétrico Marca HACH Modelo HQ40D y el Oxígeno Disuelto (OD, mg L⁻¹) con una sonda modelo VTSYIQI. Posteriormente, las muestras se trasladaron en obscuridad y refrigeración (4 °C) al laboratorio.

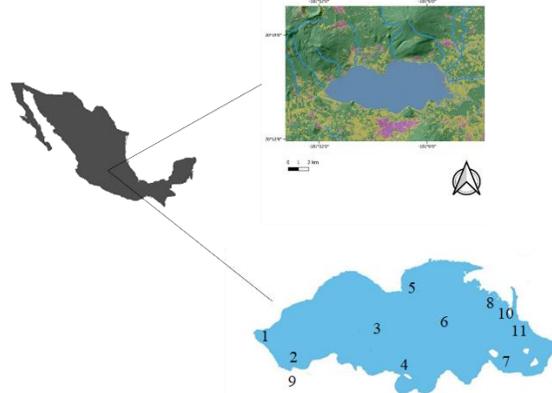


Figura 1 Área de estudio y ubicación de los puntos de muestreo.

Determinación de los parámetros de calidad del agua

La determinación de los parámetros físicos y químicos se realizó en el laboratorio y empleando las técnicas de Hach. Se determinaron las concentraciones de nitratos NO₃ (mg L⁻¹, reducción de cadmio), nitritos NO₂ (mg L⁻¹, sulfato ferroso), amoníaco NH₃ mg l⁻¹ (mg L⁻¹, método de salicilato), ortofosfatos (PO₄³⁻, mg L⁻¹, ácido ascórbico), sólidos suspendidos totales (SST, mg L⁻¹, método fotométrico), color (unidades Pt-Co), nitrógeno total (NT, mg L⁻¹, digestión con persulfato), fósforo total (FT, mg L⁻¹, digestión con persulfato), sulfatos (SO₄; mg L⁻¹, sulfaver 4) por medio de un espectrofotómetro HACH/DRL3900. Los coliformes totales (CT) y fecales (CF) número más probable (NMP, lauril, verde brillante y EC).

Análisis de datos

Índice de la calidad del agua de Dinius (1987)

El índice de calidad del agua de Dinius (1987) fue desarrollado mediante el método Delphi y su aplicación considera el uso del recurso hídrico destinado para la agricultura, la industria, el consumo humano, la pesca y la vida acuática y la recreación. Este ICA está conformado por 11 parámetros físicos y químicos. La función ponderada I_iW_i se calcula con la sustitución del valor de la función del subíndice y su ponderación (Cuadro 1). Este índice, clasifica la calidad del agua en una escala de 0 a 100 (Dinius, 1987). Se expresa de la siguiente manera:

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}$$

Donde:

ICA= índice de la calidad del agua, un número entre 0 y 100.

li= subíndice de la variable contaminante (un número entre 0 y 100).

Wi= peso unitario de la variable contaminante, un número entre 0 y 1.

n= indica el número de variables contaminantes.

Cuadro 1. Funciones del subíndice en el índice de calidad del agua de Dinius (1987).

Parámetro	Dimensión	Función
OD	% de Saturación	0.82OD+10.56
DBO 5	Mg L ⁻¹ , en 20 °C	108(DBO)-0.3494
Coliformes	NMP-Coli/100 ml	136(COLI)-0.1311
<i>E.Coli</i>	Fecal-Coli/100 ml	106(E-COLI)-0.1286
Alcalinidad	ppmCaCO ₃	110(ALC)-0.1342
Dureza	ppmCaCO ₃	552(DU)-0.4488
Cloruros	Mg L ⁻¹ , agua dulce	391(CL)-0.3480
Conductividad específica	µmhos/cm 25 °C	506(CES)-0.3315
p ^H	pH<6.9	100.6803+0.1856 (pH)
	pH – unidades (6.9-7.1)	1
Nitratos	pH<7.1	103.65-0.2216 (pH)
	NO ₃ mg l ⁻¹ /l	125(N)-0.2718
Temperatura	°C	102.004-0.0382(T-T)
Color	Unidades de color	127(C)-0.2394

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Muestreo de agua

Análisis de los parámetros *in situ*

Las estaciones de monitoreo superficiales mostraron un valor promedio de 21.44 °C y las profundas 21.43 °C. El pH se mantuvo entre los valores 7 y 8. La transparencia mostró ser de 25 cm en todos los sitios de muestreo. El OD registró mayor concentración en las estaciones 8, 10 y 11. Para estos sitios, incumplió la normativa ya que sus valores quedaron dentro de la clasificación de fuertemente contaminada. Los valores de Cond se mantuvieron constantes en todas las estaciones de monitoreo. Esto ocurrió también con los SDT y la sal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de los parámetros *in situ* registrados en cada estación de monitoreo en la laguna de Yuriria, Guanajuato.

	Estación de monitoreo								3 Profunda	6 Profunda
	3	4	5	6	7	8	10	11		
Temperatura del agua (T)	21.17	21.32	21.41	21.40	21.53	21.56	21.57	21.52	21.33	21.57
Transparencia	25	25	25	25	25	25	25	25		
pH	7.54	7.79	7.83	7.91	7.90	7.91	7.94	7.98	7.92	8
Oxígeno disuelto (mg l ⁻¹)	4.97	4.3	4.64	4.69	4.9	5.02	5.07	5.20	4.84	4.73
Conductividad (mS/cm)	0.70	0.69	0.70	0.69	0.69	0.70	0.69	0.69	0.68	0.69
Sólidos Disueltos Totales (g l ⁻¹)	0.449	0.450	0.453	0.447	0.448	0.455	0.448	0.450	0.440	0.448
Salinidad (Sal)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.34

Análisis de los parámetros en el laboratorio

En promedio, los sitios 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 y 11 superficial mostraron una concentración de Nitratos (NO_3) de 1.68 mg L^{-1} . Esto puede deberse a la influencia de las actividades humanas como la agricultura y los desechos industriales y domésticos. En este caso, esto se confirma debido a que en los sitios 4, 5 y 11 se determinaron las concentraciones más altas (1.85 mg L^{-1} , 1.80 mg L^{-1} y 2.35 mg L^{-1}) y además, son zonas que se ubican en la cabecera municipal de Yuriria y las comunidades rurales de Cahuageo y Loma de Zempoala donde se practica la agricultura de temporal anual, de riego anual y de humedad anual. En cuanto a los nitritos (NO_2), la concentración más alta (0.067 mg L^{-1}) se presentó en la estación 4, y la más baja en la estación 8 (0.046 mg L^{-1}).

El amoníaco (NH_3) mostró un valor promedio de concentración de 1.37 mg L^{-1} para las estaciones de muestreo superficial y 1.45 mg L^{-1} para las estaciones de muestreo de fondo. La estación 4 presentó la concentración más alta con un valor promedio de 1.62 mg L^{-1} y la más baja se mostró en la estación 10 con un valor promedio de 1.23 mg L^{-1} . La mayor concentración de amoníaco (NH_3) reflejó que existe influencia de actividades domésticas y la descomposición de materia orgánica sobre la calidad del agua de estos sitios. Respecto a la dureza, los valores más altos se registraron en las estaciones 4 y 8. Esta dureza muestra que en la calidad del agua de la laguna de Yuriria están presentes iones de calcio y magnesio.

Para los SST y de acuerdo a la normativa nacional, las estaciones 10 y 11 (Cimal y Loma de Zempoala) se clasificaron de buena calidad ($25 < \text{SST} \leq 75$). Mientras que las estaciones restantes se mantuvieron en aceptable ($75 < \text{SST} \leq 150$). El color tuvo los valores más altos en las estaciones 6 y 10. Esto indicó que la calidad del agua de estos sitios está influenciada por la presencia de sólidos disueltos (materia orgánica y minerales) y la descarga de aguas residuales. Estas estaciones, se ubican en el lado oriental de la laguna de Yuriria, que es donde se localiza una población elevada de lirio acuático (*E. crassipes*).

Las estaciones 4 y 11 mostraron la mayor concentración de Nitrógeno total (NT). La mayor concentración de Fósforo total (FT) ocurrió en las estaciones 3 (2.54 mg L^{-1}) y 8 (2.46 mg L^{-1}). En cuanto a los ortofosfatos (PO_4^{3-}), las estaciones 4 y 6 indicaron las concentraciones más altas (1.54 mg L^{-1} y 1.60 mg L^{-1}). La alcalinidad mostró valores elevados en las estaciones 4 (2.72 mL), 6 (2.70 mL) y 8 (2.67 mL). Las concentraciones más altas de sulfatos se localizaron en las estaciones 4, 5, 11 y en las 3 y 6 profunda. Las estaciones 4 y 3 superficial y profunda mostraron valores elevados de cloruros.

De acuerdo a la normativa y respecto a los Coliformes Totales (CT), la estación 6 (Isla El Patol), se clasificó en buena calidad ($100 < \text{CF} \leq 200$). Las estaciones 3 y 5 se clasificaron en aceptables ($200 < \text{CF} \leq 1000$). En tanto, las estaciones 4 y 8 presentaron una clasificación de contaminada ($1000 < \text{CF} \leq 10000$). En cuanto a los coliformes fecales (CF), las estaciones 4 y 8 se clasificaron en contaminadas ($1000 < \text{CF} \leq 10000$). A continuación, se ubicaron las estaciones 5 y 11 (comunidad de Cahuageo y Loma de Zempoala, respectivamente) que quedaron clasificadas en aceptables ($200 < \text{CF} \leq 1000$). Por último y en relación a *Escherichia coli*, las estaciones 4 y 8 quedaron clasificadas en contaminadas ($1000 < \text{CF} \leq 10000$); mientras que las 5 y 11 en aceptables ($200 < \text{CF} \leq 1000$).

Índice de la calidad del agua (ICA) de Dinius (1987)

Los sitios 4 y 8 obtuvieron los valores de ICA más bajos (56.66 y 57.89), mientras que los restantes mostraron un valor por encima de 60 (Cuadro 3). El ICA de los sitios 4 y 8 mostró que el agua para el uso recreativo está propensa a convertirse en contaminada y su conteo de bacterias se mantiene en los límites aceptables. Además, se mantuvo en el margen para los peces sensibles. Sin embargo, mostró una condición adecuada para la mayoría de los cultivos. De manera global, la laguna de Yuriria obtuvo un ICA de 61.77.

Cuadro 3. Valor de ICA de Dinius (1987) para cada estación de monitoreo en la laguna de Yuriria.

Sitio de monitoreo	Valor de ICA	Escala de clasificación del valor de ICA de Dinius (1987)		
		Recreación	Pesca	Agricultura
E3	62.61	Agua que se está convirtiendo en contaminada. Conteo de bacterias aceptable.	Se encuentra en el margen para peces sensibles.	Es adecuada para la mayoría de los cultivos.
E4	56.66	Agua que se está convirtiendo en contaminada. Conteo de bacterias aceptable.	Su condición es incierta para peces sensibles.	Es adecuada para la mayoría de los cultivos.
E5	60.59	Agua que se está convirtiendo en contaminada. Conteo de bacterias aceptable.	Su condición se encuentra en el límite para peces sensibles	Es adecuada para la mayoría de los cultivos.
E6	63.28			
E7	65.91			
E8	57.89	Agua que se está convirtiendo en contaminada. Conteo de bacterias aceptable.	Su condición es incierta para peces sensibles.	Es adecuada para la mayoría de los cultivos.
E10	62.46	Agua que se está convirtiendo en contaminada. Conteo de bacterias aceptable.	Su condición se encuentra en el límite para peces sensibles	Es adecuada para la mayoría de los cultivos.
E11	60.17			
E3 profunda	62.85			
E6 profunda	65.30			

El crecimiento de la población es un factor que afecta de forma negativa la calidad del agua (Kachroud *et al.*, 2019). En esta investigación, esto se reflejó en las estaciones 4 y 11, pues evidenciaron tener concentraciones altas en los parámetros que son indicadores de contaminación como los Nitratos (N-NO₃), sólidos suspendidos totales (SST) y los coliformes totales (CT) y un incremento de su población. La primera, ha incrementado su población del 2005 al 2020 de 21,708 a 25,845 habitantes (INEGI, 2020). La segunda, ha aumentado de 1583 a 1919 habitantes en el mismo periodo (INEGI, 2020). Respecto a Espinal-Carreón *et al.* (2013) y la CONAGUA (2021), en promedio, los SST aumentaron. Además, se puede apreciar que, en promedio, de 2005 a 2022, la concentración de los SST aumentó de 76 a 125 mg L⁻¹ y de 59.5 a 125 mg L⁻¹ respecto a 2009-2010. En comparación con estos mismos autores, el color aumentó de 70.59 unidades PtCo registrados en 2005 y 2009-2010 a 91.1 y de 46.2 de 2021 a 91.1.

En contraste con Espinal-Carreón *et al.* (2013), el nitrógeno total (NT) disminuyó su concentración de 29.66 a 1.53 mg l⁻¹ respecto a 2005 y 2009 -2010. El fósforo total, considerando el promedio de todos los sitios de estudio disminuyó de 1.88 a 1.72 mg L⁻¹. La temperatura aumentó de 19.37 a 21.49 °C, en comparación con el promedio de los sitios y los periodos de estudio de Espinal-Carreón *et al.* (2013). Mientras que se mostró una ligera disminución con el de Vargas-Sáenz *et al.* (2021) (22.53 °C) y la CONAGUA (2021) (22.94 °C).

Respecto al valor del ICA de Dinius (1987), se determinó que la calidad del agua aumentó respecto al 2005 y 2016 y disminuyó en comparación con el periodo 2009-2010. Esto muestra que de acuerdo con Espinal-Carreón *et al.* (2013) las variaciones temporales en la laguna de Yuriria son importantes para el estudio de la calidad de agua ya que determinan sus condiciones físicas y químicas.

CONCLUSIONES

El agua de la laguna de Yuriria resultó con un valor que refleja una calidad del agua aceptable únicamente para el riego. Aunque el uso del agua de la laguna de Yuriria está destinado en su mayoría a la agricultura, su calidad requiere una mejora para la preservación de las especies de fauna y sus diversas funciones ecológicas. Las estaciones de mayor crecimiento poblacional registraron una clara afectación en la calidad del agua, pues la normativa la clasificó como contaminada respecto a los parámetros de oxígeno disuelto y coliformes fecales. Por lo tanto, es necesario que la calidad del agua de la laguna sea monitoreada periódicamente y reforzar o crear nuevas estrategias para su preservación en condiciones adecuadas.

LITERATURA CITADA

- Agudelo, R.M. 2005. El agua, recurso estratégico del siglo XXI. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 23(1): 91-102.
- Alarcón-Corro, J.F. 2019. Aplicación de métodos de índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rimac. CYBERTESIS Repositorio de Tesis digitales UNMSM. Perú. (Consultado: 13/10/2022). Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/12169>.
- Balmaseda-Espinoza, C. e Y. García-Hidalgo. 2014. Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. *Revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias* 23(3): 11-16.
- Bonilla-Hernández, M., F. Alejo-Iturvide y M.A. Márquez-Lucio. 2016. Determinación de calidad de agua y estudio batimétrico en la presa de La Purísima y la Laguna de Yuriria del estado de Guanajuato. *Jóvenes en la Ciencia* 5(3): 16-20.
- Bora, M. and D.C. Goswami. 2017. Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): case study of the Kolong River, Assam, India. *Appl. Water. Sci.* 7: 3125-3135. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0451-y>.
- Brown, R.M., N.I. McClelland, R.A. Deininger y M.F. O'Connor. 1972. A water quality index—crashing the psychological barrier. In: Thomas, W.A. (Eds) *Indicators of environmental quality*. Environmental Science Research, Boston, MA. PP. 173-182. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2856-8_15.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2021). *Calidad del Agua Superficial 2012-2020*. (Consultado: 02/11/2021). Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2015. *Laguna de Yuriria*. México. (Consultado: 11/04/2022). Disponible en: http://avesmx.conabio.gob.mx/EspeciesRegion.html#AICA_56.
- Dinius, S.H. 1987. Design of an index of water quality. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 23(5): 833-843. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1987.tb02959.x>.
- Dodds, W.K. and M.R. Whiles. 2010. *Freshwater Ecology. Concepts and Environmental Applications of Limnology*. 2a. ed. Ed. Elsevier. Amsterdam. pp. 5-18.
- Espinal-Carreón, T., J.E. Sedeño-Díaz y E. López-López. 2013. Evaluación de la calidad del agua en la laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29(3): 147-163.
- García-Rodríguez, G., M.A. Sandoval-Rojas, E.R. Corona-Romano, R.E. De Jesús-De la Rosa, B. Martínez-Romay, E. García-Gil y E. García-Gil. 2021. Aplicación de dos metodologías para la evaluación de la calidad del agua de cuerpos superficiales destinados a la pesca en el Sur del Estado de Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 37: 89-107. <https://doi.org/10.20937/RICA.53681>.
- González-Banda, M.A., P.D. Quintanar-Rodríguez, G. Alcántara-Antonio, J.T. Zúñiga-Zúñiga, D.O. Rocha-Amador y R. Costilla-Salazar. 2021. Diagnóstico de las principales fuentes de contaminación que impactan la laguna de Yuriria. *Jóvenes en la Ciencia* 10: 1-9.
- Gradilla-Hernández, M.S., J. de Anda, A. García-González, C. Yebra-Montes, H. Barrios-Piña, P. Ruiz-Palomino and D. Díaz-Vázquez. 2020. Assessment of the water quality of a subtropical lake using the NSF-WQI and newly proposed ecosystem specific water quality index. *Environm. Monit. Assess.* 192(5): 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08265-7>.

- Guerrero, T., C. Rives, A. Rodríguez, Y. Saldívar y V. Cervantes. 2009. El agua en la ciudad de México. *Ciencias* 94(094): 16-23.
- Ibarrarán, M.E., A. Mendoza, C. Pastrana y E.J. Manzanilla 2017. Determinantes socioeconómicos de la calidad del agua superficial en México. *Región y Sociedad* 29(69): 89-125. <https://doi.org/10.22198/rys.2017.69.a325>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2020. Cuenca hidrológica Laguna de Yuriria: humedales: informe Técnico. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. (Consultado: 13/10/2022). Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825197100>
- Kachroud, M., F. Trolard, M. Kefi, S. Jebari and G. Bourrié. 2019. Water quality índices: challenges and application limits in the literature. *Water* 11(2): 1-26. <https://doi.org/10.3390/w11020361>.
- Martínez-Zavala, A. 2021. Aplicación de bioindicadores e índices biológicos y ecológicos para evaluar el estado de salud del río Amacuzac. Repositorio Institucional de Acceso Abierto de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. (Consultado: 13/10/2022). <http://riiaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/1925>.
- Mendoza-Fuentes, M.A. 2018. Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP. Perú. (Consultado: 13/10/2022). Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12256>.
- Rana, R. and R. Ganguly. 2020. Water quality índices: challenges and applications-an overview. *Arabian Journal of Geosciences* 13(20): 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06135-7>
- Rodríguez-Miranda, J.P., J.A. Serna-Mosquera y J.M. Sánchez-Céspedes. 2016. Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología* 8(1): 159-167.
- Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato (SMAOT). 2005. Resumen del programa de manejo del área natural protegida en la categoría de Área de restauración ecológica "Laguna de Yuriria y su zona de Influencia". Gobierno del Estado de Guanajuato. Guanajuato, México. (Consultado: 10/04/2022). Disponible en: <https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/areas-naturales-protégidas/10/Laguna-de-Yuriria-y-su-Zona-de-Influencia>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato (SMAOT). 2022. Laguna de Yuriria y su zona de influencia. Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato. Guanajuato, México. (Consultado: 13/10/2022). Disponible en: <https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/areas-naturales-protégidas/10/Laguna-de-Yuriria-y-su-Zona-de-Influencia>.
- Servicio de Información sobre Sitios Ramsar (SISR). 2004. Laguna de Yuriria. (Consultado: 11/04/2022). Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1361?language=es>.
- Shala-Abazi, A.M., B.H. Durmishi, F.S. Sallaku, H.S. Çadraku, O.B. Fetoshi, P.H. Ymeri and P.S. Bytyçi. 2020. Assessment of water quality of Sitnica river by using water quality index (WQI). *RASĀYAN J. Chem.* 13(1): 146-159. <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2020.1315344>.
- Torres, P., C.H. Cruz, P. Patiño, J.C. Escobar y A. Pérez. 2010. Aplicación de índices de calidad de agua-ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería e Investigación* 30(3): 86-95.
- Uddin, G., S. Nash and A.I. Olbert. 2021. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological indicators*. 122: 107218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>.
- Vargas-Sáenz, S.M., Z.G. Barrios-Martínez, N. Olvera-Rosales y A. Zanol. 2021. Evaluación de la calidad del agua de la laguna de Yuriria (Guanajuato) y su impacto antrópico. *Jóvenes en la Ciencia*, 10: 1-12.
- Villena-Chávez, J. 2018. Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Rev Peru Med Exp Salud Pública* (35)2: 304-308. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>.

- Wu, Z., X. Wang, Y. Chen, Y. Cai and J. Deng. 2018. Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment* 612: 914-922. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.293>.
- Zhao, Y., X.H. Xia, Z.F. Yang and F. Wang. 2012. Assessment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences* 13: 1213-1226. doi:10.1016/j.proenv.2012.01.115.
- Zotou, I. and V.A. Tsihrintzis. 2019. Performance of seven quality indices (WQIs) in a Mediterranean River. *Environ. Monit. Assess.* 191(8): 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7652-4>.

ESTADO DE SALUD EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN FAMILIAR BOVINA DE ROJAS DE CUAUHTÉMOC, OAXACA

[ESTADO SANITARIO EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN FAMILIAR BOVINA DE ROJAS DE CUAUHTÉMOC, OAXACA]

Magaly Aquino-Cleto¹, Mónica Aragón de la Cruz¹, Teodulo Salinas-Ríos¹, Jorge Hernández-Bautista¹, Héctor Magadán-Rodríguez¹, Araceli Mariscal-Méndez^{1§}

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Av. Universidad S/N, 5 Señores, Oaxaca, México. C.P. 68120. Tel. 9515110900.

§Autor para correspondencia: (mariscalma.am@gmail.com).

RESUMEN

La ganadería de traspatio es uno de los sistemas más antiguos en México, es parte del ingreso económico que sustenta la alimentación básica familiar a nivel rural, se caracteriza por el escaso o nulo manejo sanitario, el cual impacta de manera directa en la productividad de los animales. El objetivo fue determinar el estado de salud de los bovinos del sistema familiar del municipio de Rojas de Cuauhtémoc, Oaxaca. Se realizó un estudio transversal, se levantó un censo de unidades de producción familiar bovina (UPFB) de la localidad, se empleó cuestionario estructurado donde se analizaron variables de carácter socioeconómico y productivo, toma de muestra sanguínea y fecal correspondiente al 10% del inventario de las UPFB. Se registraron 59 productores, 62 muestras sanguíneas y fecales analizadas mediante hemograma y pruebas coproparasitoscópicas. Registrando como material genético cruces de Holstein y Cebú; con una edad de 3 a 6 años. El 31% de animales presentaron anemia, 44% leucocitosis, 21% neutrofilia, 45% linfocitosis y 16% carga parasitaria leve. Las alteraciones de salud se pueden relacionar a deficiencias alimentarias y procesos inflamatorios agudos derivados del escaso manejo sanitario que se registraron en las UPFB.

Palabras clave: Nivel sanitario, parasitosis, pequeña producción, rumiantes mayores.

ABSTRACT

Backyard livestock is one of the oldest systems in Mexico, it is part of the economic income that sustains basic family food at the rural level, it is characterized by little or no sanitary management, which directly impacts the productivity of animals. The objective was to determine the health status of cattle in the family system of the municipality of Rojas de Cuauhtémoc, Oaxaca. A cross-sectional study was carried out, a census of bovine family production units (BFPU) of the locality was carried out, a structured questionnaire was used where variables of a socioeconomic and productive nature were analyzed, blood and fecal sampling corresponding to 10% of the UPFB inventory were taken. There were 59 producers, 62 blood and fecal samples analyzed by blood count and coproparasitoscopic tests. Registering as genetic material crosses of Holstein and Cebu; with an age of 3 to 6 years. 31% of animals presented anemia, 44% leukocytosis, 21% neutrophilia, 45% lymphocytosis and 16% mild parasite load. Health alterations can be related to nutritional deficiencies and acute inflammatory processes derived from the poor sanitary management that were registered in the BFPU.

Index words: Sanitary level, parasitosis, small production, major ruminants.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la ganadería bovina representa un 40% del producto interno bruto agropecuario, creando así empleos para 1.30 millones de personas, además de formar medios de subsistencia para mil millones de personas de escasos recursos (FAO, 2017). Por otro lado, el crecimiento imparable de la población y la relación directa con la demanda por los alimentos, hace necesario garantizar que la población tenga acceso a la alimentación, mediante una alternativa económica, sustentable e inocua que garantice de alimentos a todos los integrantes del hogar.

México registra un inventario de 35,653,619 cabezas de ganado bovino (SIAP, 2020); criados en una variedad de sistemas productivos que se diferencian entre sí por el tipo de tecnología aplicada y al mercado que abastecen, de acuerdo a sus características se dividen en cuatro categorías: sistema tecnificado, sistema semi-tecnificado, doble propósito y traspatio o de autoabastecimiento, este último con una marcada presencia en las zonas rurales, siendo este último una estrategia de tipo familiar para obtener la producción de alimentos a bajo costo, mediante el trabajo de sus miembros en sus propias tierras y empleando técnicas de la región (Carmagnani, 2008).

Pese a que las ventajas que presenta el sistema de producción familiar, también presentan desventajas como malos rendimientos productivos, además de que tiene un carente o nulo manejo zoonosanitario, lo que implica ser un factor de riesgo para el consumo humano, considerando que se emplean técnicas rudimentarias, adquiridas a través de los tiempos por integrantes de la familia que han llevado a cabo este tipo de producción (Espinosa y Carrillo, 2011).

De manera particular, en el estado de Oaxaca se considera que el 51% de su territorio son zonas rurales, a la par cuenta con un inventario de 1,826,633 cabezas de bovinos (SIAP, 2021), distribuidos principalmente en las regiones del Istmo, Papaloapan, Costa y Valles Centrales. La región de Valles Centrales presenta un predominio en la producción de ganado bovino lechero en su mayoría bajo un sistema de traspatio como es el caso del municipio de Rojas de Cuauhtémoc, el cual permite a pequeños productores que con poca inversión generen ganancias al momento del aprovechamiento para su comercialización o consumo, también se caracteriza por presentar un carente o nulo manejo zoonosanitario lo que se considera un riesgo para el consumo humano, tomando en cuenta que no hay salud humana si no hay salud animal, y ambas no pueden existir si el entorno no es saludable (Garza, 2010).

Por ello, objetivo del presente estudio fue evaluar el estado sanitario de los bovinos de las unidades de producción familiar de Rojas de Cuauhtémoc, Oaxaca, dada la importancia cultural, alimentaria y socioeconómica que representa la producción de ganado bovino en la zona de estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el municipio de Rojas de Cuauhtémoc, que se localiza en la parte central del estado, en la región de los Valles Centrales, pertenece al distrito de Tlacolula. Se ubica en las coordenadas 96°37'05" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, 17°00'18" de latitud norte y una altitud de 1,570 metro sobre el nivel del mar (INEGI, 2009).

La investigación fue de tipo transversal, realizándose de diciembre de 2020 a febrero de 2021. Se empleó dos métodos de recolección de datos un cuestionario estructurado en el que se analizaron variables sociodemográficas, productivas y sanitarias, y la toma de muestras biológicas (sangre y heces), de la muestra sanguínea se obtuvo frotis sanguíneo, conteo de leucocitos, hematocrito, medición de sólidos totales y fibrinógeno; la muestra fecal se procesó de dos formas, mediante la técnica de flotación simple (cualitativo) y Mc master (cuantitativo).

Las unidades de producción bovina se identificaron de manera censal donde se aplicó el cuestionario previo consentimiento informado del productor y se realizó la toma de muestras biológicas al 10% del hato. La información obtenida, fue analizada mediante estadística descriptiva y medidas de asociación epidemiológica, en el paquete estadístico InfoStat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registró un censo de 66 Unidades de Producción Bovina (UPB), de los cuales sólo un 89.39% (59) aceptaron participar en el estudio con el levantamiento de la información y tomas de muestras. De las UPB estudiadas se registró que 86% (51) de los productores eran hombres y 14% (8) mujeres, estos resultados coinciden con el estudio de caracterización de UP en el estado de Veracruz, donde Méndez *et al.* (2019) indica tener mayor presencia de hombres que mujeres en las unidades analizadas. El promedio de edad de los productores fue de 55.56 (s=14.18), lo que es similar con lo que obtuvo Granados *et al.* (2018) en su estudio, donde menciona que la edad promedio de los productores fue de 54.5 años. La edad de los productores es un dato importante a considerar, dado que, si son en su mayoría de la tercera edad, se vuelve un poco más difícil que adopten nuevas tecnologías para beneficio de sus UP (Salas *et al.*, 2013). Se registró un promedio de 28.21 (s=17.64) años dedicados al cuidado de ganado bovino, dato similar a lo manifestado por Méndez *et al.* (2019), el cual indica en su análisis un promedio de 23 años dedicados a la producción bovina, lo que les hace tener una amplia experiencia a la mayoría de los productores en esta área. Además, se reporta un promedio de 11.88 h de trabajo diario (s=5.89) en la crianza de estos animales.

El promedio de inventario en las UPB es de 7.53 (s= 5.7) cabezas de ganado, lo cual es menor a lo reportado por Ruiz *et al.* (2021) en donde el promedio en el número de los bovinos es de 20 animales por UP. Así mismo, se registró la crianza de otra especie productiva, con un promedio de 2.44 (s=1.24) especies productivas dentro del predio, en su mayoría borregos y aves de traspatio.

En cuanto al fin zootécnico del ganado bovino 69% (43) indican la producción de leche como la principal producción, en segundo término, la producción de carne con un 11% (7), el resto 20% (9) entre pie de cría y trabajo. El sistema de alimentación en un 83% (49) son alimentados a base de forraje y el resto con una combinación de alimento balanceado y forrajes, datos que concuerdan con lo obtenido por Ruiz *et al.* (2021) donde la mayoría de los productores llevan a cabo una alimentación a base de forraje con estrategias alternas a base de residuos de cosechas.

Se registró que el 83% (49) de las UPB no realizan ningún registro; un 10% (6) reportó llevar un registro productivo, 2% (1) registros económicos y 5% (3) un registro sanitario. Dentro del manejo sanitario de las UPB, se observó que 34% (20) vacunan y 92% (57) desparasitan, sin embargo, solo un 37% (23) rotan los desparasitantes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Manejo sanitario unidades de producción bovina en Rojas de Cuauhtémoc, Oaxaca.

Categoría		FA	FR
Vacunación	Si	20	34
	No	39	66
Desparasitación	Si	57	92
	No	5	8
Rotación de desparasitante	Si	23	37
	No	39	63

FA: Frecuencia absoluta. FR: Frecuencia relativa.

Con respecto a lo anterior, se revela que las UPB carecen de un adecuado manejo preventivo lo cual coincide con el trabajo de Caicedo *et al.* (2011), donde señalan que este tipo de sistemas se caracteriza por la ausencia de calendarios de manejo, falta de asistencia técnica por parte de médicos veterinarios para resolver problemas de nutrición, reproducción y sanidad.

El 88% (52) de las UPB se clasifican como traspatio, de los cuales 93% (55) están bajo el régimen de propiedad privada, datos similares con lo obtenido por Granados *et al.* (2018), 86% (51) cuentan con corrales, 95% (56) presentan techo, 90% (53) piso, 100% (59) bebederos y comederos en sus unidades de producción, sin embargo, no poseen las características adecuadas como sugiere Blanco (2017), dado que él refiere que a pesar de ser un sistema de traspatio debe corresponder con las medidas, orientación e instalaciones aptas que permitan ofrecerle bienestar y fácil manejo de los animales, que en este caso, al momento del levantamiento de la encuesta no fue observado.

Los productores manifestaron que su principal problema es la alimentación, en segundo término, la falta de asesoría, las UP que tienen una baja asistencia técnica, tienen mayor susceptibilidad a enfermedades, así mismo de desconocer la causa y la presencia de estas en la zona (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009; Juárez-Barrientos *et al.*, 2015).

Con referencia a los problemas de salud el 44% de los productores reportaron problemas de mastitis, y en menor porcentaje problemas abortivos, diarreicos y cojeras, datos similares a lo obtenido por Ruiz *et al.* (2021) donde el 82% de los productores mencionan que la presencia de mastitis es de las principales enfermedades en sus UP. El 37% indicaron no observar ningún tipo de enfermedad en sus animales, sin embargo, aunque clínicamente no sean observados, es posible que cursen una etapa subclínica o que los signos pasen desapercibidos por el propietario.

Con referencia a los valores hematológicos el 31% (19) de los bovinos presentan anemia lo cual puede estar asociado a deficiencias nutricionales, principalmente hierro, cobre y cobalto, al respecto Rodríguez y Banchemo (2007) menciona que estos minerales son importantes durante la hematopoyesis; 3% (2) de bovinos presentaron eritrocitosis, la cual está relacionada con deshidratación (Quiroz-Rocha *et al.*, 2009); puede sugerirse a la poca disponibilidad de agua; 15% (9) registró hiperproteïnemia, lo que puede relacionarse a procesos inflamatorios y/o deshidratación. El 3% (2) de bovinos presentaron hipoproteïnemia, lo cual puede estar relacionado a una disminución al aporte proteico en la dieta, sin olvidar otras causas como síndrome nefrótico y síndrome de la mala digestión. Un 8% (5) con hiperfibrinogenemia, que al ser una proteína de fase aguda negativa permite identificar procesos inflamatorios la cual puede relacionarse a la mastitis reportada por los propietarios. Wittwer (2012) indica que la hiperfibrinogenemia se observa 2 horas posteriores a instaurarse un cuadro inflamatorio y permanece mientras dura la fase aguda de la infección. El 44% (27) de los bovinos manifiestan leucocitosis, dado por un proceso inflamatorio, probablemente por los casos de mastitis que reportaron los productores. El aumento de este analito puede ser consecuencia de una infección viral o bacteriana, local o generalizada (Latimer *et al.*, 2005). El 6% (4) de los animales presenta leucopenia lo que sugiere procesos inflamatorios sistémicos, esta alteración es una respuesta común hematológica a condiciones patológicas.

El 45% (28) de los animales presentan linfocitosis, a causa de una estimulación antigénica por procesos inmunológicos que pueden estar cursando en relación al estímulo del proceso inflamatorio. Sólo un 2% (1) de los bovinos reflejaron linfopenia. Niveles bajos de este analito es un hallazgo habitual en la inflamación o infección asociada al estrés productivo e incluso enfermedad viral o bacteriana (Latimer *et al.*, 2005). Un 21% (13) de los bovinos presentan neutrofilia lo cual puede deberse a un estrés físico, e incluso un proceso de inflamación. El 10% (6) se encuentra con neutropenia, animales que posiblemente se encuentren cursando por procesos de inflamación aguda, Latimer *et al.* (2005) indican que esta alteración es frecuente en animales enfermos. Por otro lado, 16% (10) de los bovinos presentan eosinofilia la cual se relaciona a un proceso de degradación tisular secundario a un proceso inflamatorio, que como menciona Manacero (2003)

estos leucocitos son las células que aumentan como respuesta al estrés provocado por las enfermedades y por la naturaleza del proceso patológico.

En el Cuadro 2 se muestra una asociación relevante entre una leucocitosis normal y la presencia de anemia (4), esto debido a la deficiencia de nutrientes como lo son hierro, cobre y cobalto. Rodríguez y Banchemo (2007) refieren que las deficiencias de minerales en las dietas pasan inadvertidas, pues otros factores limitantes (niveles de energía, proteína en la dieta, consumo ineficiente) condicionan la productividad animal. También se muestra que 21 animales resultaron estar en rangos normales en hematocrito, sin embargo, presentan leucocitosis, esto debido a la presencia de procesos inflamatorios (Quiroz-Rocha, 2007).

Cuadro 2. Tabla de contingencia hematocrito/leucocitos en bovinos de Rojas de Cuauhtémoc, Oaxaca, 2020.

Leucocitos	Hematocrito			Total	P-valor
	Anemia	Eritrocitosis	Normal		
Leucocitosis	4	2	21	27	0.0854
Leucopenia	1	0	3	4	
Normal	14	0	17	31	
Total	19	2	41	62	

En el cuadro 3, se relacionan los valores de leucocitos y las principales enfermedades reportadas en las unidades de producción bovina. La relación leucocitosis y mastitis es la más relevante dada la inflamación presente en estos animales, por ejemplo, 10 de 27 bovinos que presentaron mastitis tuvieron leucocitosis. La relación de leucocitosis con ningún problema de salud de los bovinos, donde 14 de 27 animales que los productores dijeron estar sanos presentaron leucocitosis, es decir, que los signos clínicos no sean evidentes, no quiere decir que subclínicamente no estén cursando por un proceso inflamatorio o déficit de algún mineral. Al respecto, Rodríguez y Banchemo (2007) mencionan que existen varios factores que afectan la predisposición del animal a desarrollar la enfermedad, y no necesariamente conlleva a la presencia clínica de esta.

Cuadro 3. Principales problemas de salud y alteraciones leucocitarias en las unidades de producción bovina en frecuencias absolutas, Rojas de Cuauhtémoc Oaxaca, 2020.

Leucocitos	Digestivos	Locomotores	Mastitis	Reproductivos	Ninguno	Total
Leucocitosis	1	1	10	1	14	27
Leucopenia	1	0	3	0	0	4
Normal	2	2	13	3	11	31
Total	4	3	26	24	25	62

En el diagnóstico coproparasitológico fue evaluado mediante la técnica de flotación, identificando 16% (10) de animales positivos a nematodos gastroentéricos, los cuales resultaron con una carga parasitaria leve con la técnica de Mc Master.

CONCLUSIONES

Se demostraron alteraciones en el estado de salud a nivel hematológico y parasitológico de los bovinos, lo cual se asocia al sistema de producción empleado en la localidad de Rojas de Cuauhtémoc.

La hiperfibrinogenemia observada en los animales, en conjunto con las alteraciones leucocitarias tales como leucocitosis, neutrofilia y linfocitosis están asociadas principalmente a procesos inflamatorios. Pese a que no se encuentren signos clínicos aparentes en los animales, no es descartable el hecho de que

hematológicamente se encuentran alteraciones que pueden indicar un proceso patológico por el que estén cursando. De igual manera tales alteraciones se pueden relacionar con los problemas de mastitis reportados. A partir de los nematodos gastroentéricos diagnosticados, se puede deducir que son causa del mal manejo de los desparasitantes.

Se registró escaso manejo sanitario, problemas alimentarios y ausencia de asistencia técnica los cuales son factores condicionantes que no garantizan el bienestar y la salud de los animales en las unidades de producción en Rojas de Cuauhtémoc.

LITERATURA CITADA

- Caicedo, R.R.E; G.J.L. Garita y N.M. Paz-Calderón. 2011. Salud animal de una cuenca lechera bajo el sistema de traspatio, Puebla, México. Actas iberoamericanas de Conservación Animal. Fecha de consulta: 17 de julio de 2021. URL: Caicedo2011_1_323_326.pdf (uco.es).
- Carmagnani, M. 2008. La agricultura familiar en América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México. EJournal. Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía. Vol. 36. 46 p. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4191>.
- Espinosa, M.R.M y S.M. Carrillo. 2011. Unidades familiares de traspatio. Acciones interdisciplinarias para el desarrollo integral, A.C. (AIDI A.C.). México.
- Garza, R.J. 2010. La situación actual de las zoonosis más frecuentes en México. Gaceta Médica de México. 146 (6).
- Granados R.LD., V.L. Quiroz., J.J.A. Maldonado, Z.L. Granados, R.P. Díaz y H.J. Olivia. 2018. Caracterización y tipificación del Sistema doble propósito en la ganadería bovina del Distrito de Desarrollo Rural 151, Tabasco, México. Acta Universitaria. 28 (6):47-57. ISSN: 2007-9621. <http://dx.doi.org/10.15174/au.2018.1916>.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2009. Censos de población y vivienda. Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2021 URL: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/20/20078.pdf>.
- Juárez-Barrientos, J.M., E. Herman-Lara, A. Soto-Estrada, D.A. Avalos-de la Cruz, J. Vilaboa-Arroniz y P. Díaz-Rivera. 2015. Tipificación de sistemas de doble propósito para producción de leche en el distrito de desarrollo rural 008, Veracruz, México. Revista Científica FCV-LUZ. XXV (4), 317-323.
- Latimer, K., E. Mahaffey y K. Prasse. 2005. Patología clínica veterinaria. 4ta. Edición. Ed. Multimedia. Madrid, España.
- Manacero, A. 2003. Hematología, herramienta para el diagnóstico. Atlas de morfología celular, alteraciones y enfermedades relacionadas. Centro Editorial Javeriana. Primera edición.
- Méndez, C.V., F.J.S. Mora, S.J.A. García, M.O. Hernández, M.R. García y S.R.C. García. 2019. Tipología de productores de ganado bovino en la zona Norte de Veracruz. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 22:304-314. ISSN: 1870-0462.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2017. Descripción y Clasificación de Sistemas. Capítulo 6. (Consultado el 05 de junio de 2021). URL: Análisis de sistemas de producción animal Tomo 1: Las bases conceptuales (fao.org).
- Quiroz-Rocha, G.F., S. LeBlanc, T. Duffield, D. Wood, K.E. Leslie and R.M. Jacobs. 2009. Evaluation of parturition cholesterol and fatty acids concentrations as predictors of postpartum retention of the placenta in dairy cows. J. Am Vet. Med. Assoc.
- Quiroz-Rocha, G.F. 2007. La patología clínica en la medicina y producción bovina. Memorias bovinas. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D.F.
- Rodríguez, A. y G. Bancharo. 2007. Deficiencia de minerales en rumiantes, Rev. INIA. Vol. 13: 10-15.
- Ruiz, O.M., C.J. Andrade, H.J. Cortés, S.C. Ortega, P.M. Viguera y C.J. Ponce. 2021. Caracterización de unidades de producción lechera en el valle de Tulancingo, Hidalgo, México. Abanico Agroforestal. 3:1-15. ISSN 2594-1992.

- Salas, G.J.M., J.A. Leos, L.M. Sagarnaga y P.M. Zavala. 2013. Adopción de tecnologías por productores beneficiarios del programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 4(2), 243-254.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. (Consultado el 13/07/2021). URL: https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Acciones y programas. 2021. (Consultado el 23/07/2021). URL: Producción Ganadera | Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gob.mx (www.gob.mx).
- Vilaboa-Arroniz, J., P. Díaz-Rivera, O. Ruiz-Rosado, D.E. Platas-Rosado, S. González-Muñoz y F. Juárez-Lagunes. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 53-62.
- Wittwer, F. 2012. Manual de patología clínica veterinaria. 2da. Ed. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. pp. 80-137.

DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO PARA LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA ALTERNATIVA EN UNA COMUNIDAD SUBURBANA DE LA CIUDAD DE OAXACA

[PARTICIPATORY APPRAISAL FOR THE TRANSFER OF ALTERNATIVE TECHNOLOGY IN A SUBURBAN COMMUNITY IN OAXACA CITY]

Edberg Daniel Martínez-Jiménez^{1§}, Enrique Martínez y Ojeda¹, Adela Vásquez-García^{2§}, Carlos Espinoza-Nájera⁴, Delia Cristina Altamirano-Juárez⁵, José Luis Caballero-Montes⁶

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Oaxaca. División de Posgrado e Investigación. Oaxaca de Juárez, México. ²Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca. ³Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Oaxaca de Juárez, Oaxaca. ⁴Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Oaxaca. Oaxaca de Juárez, México.

[§]Autor para correspondencia: (adevg@hotmail.com).

RESUMEN

La investigación se realizó con el objetivo de diagnosticar de manera participativa a la localidad de Santiago Cacaotepec, ETLA, Oaxaca (SCEO), localidad suburbana de la ciudad de Oaxaca, de Juárez, Oaxaca, México, y con base en ello definir la viabilidad para la implementación de tecnología alternativa como propuesta para el saneamiento de las aguas residuales. La metodología constó de dos etapas; en la primera se efectuó una investigación documental relacionada al medio natural y urbano de San Lorenzo Cacaotepec ETLA. En la segunda etapa se aplicó una encuesta estructurada de 27 preguntas agrupadas en cuatro ejes temáticos: percepción de la problemática, cultura del agua, saneamiento de las aguas residuales y disposición a la capacitación en tecnologías para el tratamiento de aguas residuales. Fue aplicada a los 890 núcleos familiares habitados en la localidad de manera directa a personas mayores de 18 años. El 72.43% de los pobladores identificó que existen problemas medioambientales en la comunidad; el 65.27% señaló que la contaminación del agua es su problemática fundamental a atender; el 30.85% identificó a la fosa séptica como una tecnología alternativa para el SAR y el 73.72% indicó que están dispuestos a asistir a cursos de capacitación y para conocer tecnologías de construcción apropiadas enfocadas al SAR.

Palabras clave: Diagnóstico participativo, saneamiento de aguas residuales, tecnología alternativa.

ABSTRACT

The research was carried out with the objective of a participatory diagnosis of the town of Santiago Cacaotepec, ETLA, Oaxaca (SCEO), a suburban town of the city of Oaxaca, de Juárez, Oaxaca, Mexico, and based on this, to define the feasibility for the implementation of alternative technology as a proposal for the sanitation of wastewater. The methodology consisted of two stages; in the first stage, documentary research related to the natural and urban environment of San Lorenzo Cacaotepec ETLA was carried out. In the second stage, a structured survey of 27 questions was applied, grouped into four thematic axes: perception of the problem, water culture, wastewater sanitation, and willingness to receive training in wastewater treatment technologies. It was applied directly to the 890 households living in the locality to people over 18 years of age. 72.43% of the inhabitants identified that there are environmental problems in the community; 65.27% indicated that water pollution is their main problem to be addressed; 30.85% identified the septic tank as an alternative technology for wastewater treatment and 73.72% indicated that they are willing to attend training courses and to learn about appropriate construction technologies focused on wastewater treatment.

Index words: Participatory diagnosis, wastewater sanitation, alternative technology.

Recibido: 05-agosto-2022

Aceptado: 02-diciembre-2022

INTRODUCCIÓN

A partir de los cambios ocasionados al medio ambiente por las actividades antrópicas, se ha establecido una nueva época denominada antropoceno; definida por Trischler (2017) como una crisis ecológica, producto de las acciones humanas, en la que se ha visto afectado de manera adversa y descontrolada a los recursos naturales. El recurso hídrico, manejado de forma irracional y con un mínimo reúso, se debe principalmente a dos factores, la falta de infraestructura para su correcta disposición final y por la fuerte vinculación en el uso e implementación de tecnologías convencionales usadas para el saneamiento de las aguas residuales (De Anda, 2017). Así mismo, se considera que se han generado inversiones sustanciales de capital con altos costos en la construcción, operación y mantenimiento de esta infraestructura, actualmente transformada en grandes “elefantes blancos”.

Otros factores que influyen en el reto del saneamiento de las aguas residuales es la baja concientización de la población en el manejo y saneamiento del recurso hídrico, así como el desconocimiento de la normatividad en materia de aguas residuales y el escaso conocimiento de tecnologías viables y factibles económicamente, lo que ha dado como resultado que el tratamiento de las aguas residuales, tanto domésticas como industriales, sea mínimo y se generen impactos negativos al medio ambiente (González *et al.*, 2021; Marlés y Cruz, 2021); debido a que su mal manejo transgrede de manera adversa a otros factores como al suelo, aire, flora y fauna, convirtiéndolas en focos de infección para la población y posteriormente en problemas de salud pública, si no son gestionados adecuadamente (Rodríguez *et al.*, 2016).

Organismos a nivel internacional, caso de la ONU (2015) reconocen la problemática, y señalan que el 80% de las aguas residuales generadas no reciben el tratamiento correcto para la disminución de contaminantes y parámetros que permitan al medio en el cual se disponen logren una resiliencia. En México, la CONAGUA (2015a) reporta que el 90% de las aguas residuales no reciben tratamiento alguno y son descargadas directamente a cuerpos de agua y bienes nacionales, afectando de manera adversa al medio ambiente, y la causa principal es el uso de tecnologías inadecuadas técnica y operativamente (González *et al.*, 2021).

Con base en lo anterior, se ha generado la búsqueda de soluciones a través de propuestas tecnológicas de uso a nivel unifamiliar, local o municipal, sean convencionales y social-apropiadas; como las ecotecnologías que resulten adecuadas para la población en el aspecto económico, benéficas en el sentido social y positivas al ambiente, para dar cumplimiento a las normas ambientales aplicables en materia de aguas residuales (SEMARNAT, 1996). Estas tecnologías sustentan de forma directa e indirecta el cumplimiento de los indicadores propuestos para el cuidado al medio ambiente; además, pueden ayudar de manera contextualizada a mejorar la calidad de vida de las personas en situación de vulnerabilidad. Sin embargo, es necesaria una intervención holística para mejorar los procesos de apropiación tecnológica para fomentar un ambiente favorable para su implementación a partir de la participación social, razón por la cual se debe de considerar como eje medular el diagnóstico con la participación de la población.

El diagnóstico participativo puede ser efectuado con enfoques cualitativos y cuantitativos a través del uso de técnicas participativas, consideradas como etnográficas (Cotán, 2020; Matarrese, 2015; Rodríguez, 2015). De acuerdo con Ramírez y Camacho (2019), para efectuar un diagnóstico participativo en una comunidad para identificar problemas ambientales se requiere de técnicas de investigación fundamentales, como son los recorridos de campo, las entrevistas (estructuradas o semiestructuradas) y los talleres participativos; con la finalidad de que la comunidad mediante su precepción identifique la problemática. Por su parte, Campos *et al.* (2020), realizaron un diagnóstico ambiental participativo (DAP) con 16 jóvenes de la localidad Dzoyaxché, Mérida, Yucatán, en la Reserva Ecológica Cuxtal (REC), en dos etapas de trabajo; en la primera etapa se efectuó una revisión documental de los acontecimientos socio ambientales en el sitio de proyecto en una línea de tiempo, se efectuaron pláticas formales e informales con las autoridades municipales y comunales para conocer su visión en torno a los problemas socio ambientales de

la localidad; Por su parte Pérez (2016) efectuó un diagnóstico comunitario participativo en el fraccionamiento ECO 2000 ubicado en Ciudad Juárez, en el Estado de Chihuahua, con la finalidad de determinar la posibilidad de implementar proyectos en un periodo de cinco meses. Este diagnóstico se realizó mediante pláticas formales e informales en juntas vecinales así como diseño y aplicación de una encuesta aplicada a 253 núcleos familiares, con la finalidad de jerarquizar las problemáticas a abordar de manera participativa en conjunto con la ciudadanía, lográndose una conducta positiva de los vecinos con respecto a su entorno, las nuevas formas de interrelacionarse entre los vecinos, la identificación comunitaria de necesidades colectivas, el fortalecimiento del tejido social, la recuperación de algunos servicios comunales municipales, el apoyo de las autoridades municipales, la recepción del equipo de intervención y la asimilación de las ideas propuestas.

En la comunidad de Santiago Cacaotepec Etlá, Oaxaca (SCEO), municipio de San Lorenzo Cacaotepec, Oaxaca, el escaso manejo del recurso hídrico ha fomentado una problemática en la población con impactos sociales, económicos y ambientales. En el ámbito social, existe un aumento en la frecuencia de enfermedades gastrointestinales, cólera, hepatitis, salmonella, debido al contacto directo o indirecto de las aguas residuales. Este problema se presenta principalmente en niños (Gobierno del Estado de Oaxaca, 2013). Con respecto al aspecto ambiental se ha producido una pérdida de la resiliencia ocasionada por el gasto excesivo generado, estimado en 8.22 l seg^{-1} de aguas residuales sin tratamiento alguno en la comunidad. Cabe señalar que, conforme a lo establecido por el Gobierno del Estado de Oaxaca (2013), Santiago Cacaotepec no cuenta con infraestructura para saneamiento de sus aguas residuales domésticas generadas. En el aspecto económico el impacto a los habitantes de la localidad de SCEO se debe a los gastos de inversión para la construcción de fosas sépticas en sus domicilios, con la finalidad de mitigar el impacto al medio ambiente debido a esta problemática.

Esta investigación se planteó como objetivo diagnosticar de manera participativa a la comunidad de Santiago Cacaotepec Etlá, en el Estado de Oaxaca, México, para establecer la posibilidad de la implementación de una ecotecnología para el saneamiento de las aguas residuales.

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de San Lorenzo Cacaotepec Etlá, en el Estado de Oaxaca, se localiza en las coordenadas $17^{\circ} 9'16.05''$ de latitud norte y $96^{\circ}47'18.00''$ de longitud oeste, a una altitud de 1,596 m y una distancia aproximada de 11.43 km de la ciudad de Oaxaca de Juárez (INEGI, 2010). Colinda al norte con los municipios de Guadalupe Etlá y Soledad Etlá; al sur con los municipios de San Andrés Ixtlahuaca y Santa María Atzompa; al oriente con San Felipe Tejalapam y Santo Tomás Mazaltepec; al poniente con Guadalupe Etlá y con Santa María Atzompa. Este municipio cuenta con una superficie total de 12.74 km^2 , que representa el 0.013% del Estado de Oaxaca. Cuenta con un total de 16 localidades (San Lorenzo Cacaotepec, Guadalupe Hidalgo, Santiago Cacaotepec Etlá, la Vía, Rancho Hacienda Vieja, Loma Cuache, Rancho Frio, San Nicolás, el Zapotal, Rancho el Ensueño, San Isidro, la Soledad, Rancho Tareas, El Pastón, El Trapiche y Los Pintos). El sitio en donde se realizó la investigación fue la localidad de Santiago Cacaotepec Etlá, ubicada a 5.46 km de la cabecera municipal (Figura 1).

Para la presente investigación se realizó una delimitación del área de estudio en base a dos criterios con la finalidad de identificar los domicilios en los cuales se aplicaría el censo. En el primero se consideró que las viviendas se localizaran dentro de los límites territoriales de la comunidad, y en el segundo se definió que fueran viviendas con una problemática de falta de saneamiento del agua.

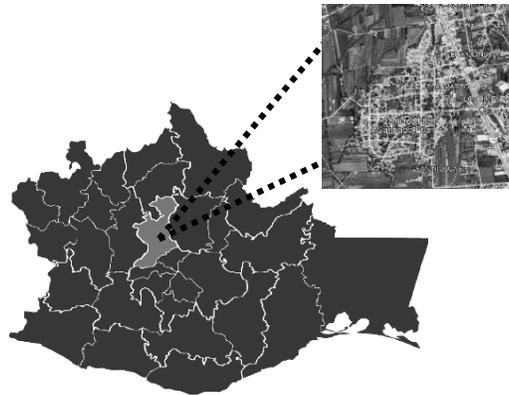


Figura 1. Localización de Santiago Cacaotepec ETLA, San Lorenzo Cacaotepec, Oaxaca.

Cabe señalar que, para la delimitación del área se empleó el Sistema de Información Geográfica para la Evaluación del Impacto Ambiental (SIGEIA) (SEMARNAT, 2017), con lo que se obtuvieron las coordenadas del área de trabajo y posterior intervención en SCEO (Cuadro 1).

Cuadro 1. Coordenadas de ubicación de la localidad de Santiago Cacaotepec ETLA, San Lorenzo Cacaotepec, Oaxaca.

Punto	X	Y
1	734809.76	1898276.94
2	735361.71	1898749.01
3	736348.64	1898556.77
4	736186.95	1897673.67
5	735344.61	1897445.68
DATUM: NAD27	ZONA: 14	BANDA: Q

Fuente: Elaboración propia a partir de SIGEIA.

METODOLOGÍA

El diagnóstico comunitario fue participativo, y se llevó a cabo para identificar el contexto de la problemática de la falta de saneamiento de las aguas residuales y para identificar la posibilidad de la implementación de una ecotecnología unifamiliar innovadora, la cual se estructura por un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) y un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) construido con materiales asequibles y propios de la región, aplicando para su transferencia tecnológica cuatro pasos fundamentales: sensibilización, capacitación, construcción y difusión.

El diagnóstico se conformó por dos etapas, acorde a lo establecido por Ramírez *et al.* (2015) y Pedroza *et al.* (2010). En la primera etapa se efectuó una investigación documental con el objetivo de realizar una revisión bibliográfica del área de intervención para generar información del medio natural y urbano e identificar áreas críticas de viviendas que no efectúan el saneamiento de sus aguas residuales generadas. En la segunda etapa se emplearon técnicas de investigación participativas acorde a lo señalado por Cotán (2020), Matarrese (2015) y Rodríguez (2015), quienes recomiendan los recorridos de campo, la observación directa no participante, la aplicación de una entrevista y las pláticas informales con pobladores y autoridades municipales de la comunidad para para identificar aspectos de su medio natural y urbano de la localidad y conocer sobre su percepción sobre el problema de la falta de saneamiento de las aguas residuales.

Finalmente se planearon y diseñaron estrategias de intervención, así mismo se realizó el diseño conceptual de una tecnología alternativa como solución a la falta de saneamiento de las aguas contaminadas en la comunidad, se aplicaron algunas técnicas para difundir y socializar el conocimiento general la tecnología diseñada y se realizó la evaluación del proyecto a través de indicadores sociales, económicos y ambientales.

La entrevista se diseñó con 27 temas agrupados en cuatro ejes temáticos: 1. Percepción de la problemática. 2. Cultura del agua. 3. Saneamiento de las aguas residuales. 4. Disposición a la capacitación en tecnologías para el tratamiento de AR. El instrumento consideró seis preguntas para identificar la percepción de la problemática, dos para indagar sobre la cultura del agua, diez sobre las prácticas de saneamiento de AR y tres preguntas para identificar la disposición de las personas para capacitarse en la construcción de tecnologías de saneamiento de aguas en sus viviendas. Fue aplicada a todas las viviendas del SCEO, acorde a lo recomendado por Paredes y Phélan (2008). Los recorridos de campo se realizaron durante el mes de mayo de 2022; en los que se logró identificar que, de las 1,125 viviendas de la comunidad, 80% se encuentra habitadas, por lo que el censo se aplicó en las visitas efectuadas a sus domicilios a algún miembro de la familia, siempre y cuando fuera mayor de 18 años.

Para el reporte de los datos obtenidos de la encuesta se empleó estadística descriptiva. Las respuestas, se agruparon en cuadros, en la cual se indica la frecuencia con la coincidencia de las contestaciones (F), así mismo se señala el porcentaje de acuerdo al total de los encuestados (%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primera fase del diagnóstico

La localidad de SCEO cuenta con una población total de 4,374 habitantes, de los cuales el 47.60% son hombres y 52.40% mujeres; y conforman un total de 1,125 viviendas habitadas; lo cual coincide con lo reportado por INEGI (2015a). La población manifiesta un grado de rezago social medio, debido a la falta de acceso a la infraestructura básica, incluyendo carencias en el suministro de agua potable, electrificación, drenaje e infraestructura para el SAR, lo que ocasiona que se descargue un gasto de 8.22 l seg⁻¹ de aguas contaminadas sin tratamiento alguno directamente al suelo y cuerpos de agua (cauce del río Atoyac).

En los aspectos del medio natural, se identificó que el clima es semicálido subhúmedo (A)C(wo) basado en el sistema Köppen (SEMARNAT, 2017), coincidiendo con lo establecido por el INEGI (2015b), quien define a este clima perteneciente del grupo C, con una temperatura media anual mayor de 18 °C, la temperatura del mes más frío presenta una temperatura media de 18 °C y la temperatura del mes más caliente presenta temperaturas medias mayor a los 22 °C, la precipitación del mes más seco es menor de 40 mm y presenta lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2. Este dato es de gran relevancia para el proyecto debido a que a partir del tipo de clima se determina el promedio de consumo de agua potable, por los habitantes de la localidad de SCEO, que de acuerdo con CONAGUA (2015b) es de 203 l/habitante/día.

Se identificó que en el casco urbano de la población existe poca vegetación debido a las viviendas construidas y que existe una mayor concentración de viviendas en la zona centro y noroeste; sin embargo, en la zona noroeste, el 90% de las viviendas carecen de acceso al drenaje, por lo que resulta apremiante esta zona para la transferencia de la tecnología alternativa propuesta para lograr el resarcimiento de las aguas residuales generadas debido a que las descargas se dan directamente a cuerpos de agua (Figura 2).



Figura 2. Medio natural de la zona centro del SCEO.

En relación a la hidrología, la localidad de SCEO pertenece a la Región Hidrológica No. 20 (RH-20), cuenca del Río Atoyac y subcuenca de Coyotepec, lo anterior determinado a partir de los análisis efectuados por el SIATL (INEGI, 2022), que coincide con lo establecido por la SEMARNAT (2017) y CONABIO (2022). Esta región hidrológica cuenta con una superficie de 3,727 km², y se encuentra localizada al sureste de la República Mexicana en la región centro del estado de Oaxaca (SEMARNAT, 2017). A partir de este dato se determinó que las aguas residuales generadas en la población, son descargadas de manera directa o indirecta a la cuenca del Río Atoyac, acción que incrementa el grado de contaminación que presenta esta cuenca.

Esta localidad se caracteriza por la presencia de arbustos, vegetación arbustiva y agricultura en las zonas aledañas al casco urbano. El INEGI (2015b) reporta que el uso de suelo en CSEO es de tipo agrícola, por lo que a partir de este diagnóstico efectuado se puede suponer que el agua tratada por la tecnología alternativa propuesta (RHU) será utilizada para riego de áreas verdes o zonas agrícolas.

El cuanto, a la generación de información relacionada al medio artificial, marzo a julio de 2022, se identificó que las viviendas se encuentran construidas con concreto, y en menor proporción con muros de concreto y techos de lámina. En relación al área de construcción con respecto a la disponibilidad del terreno, aún se encuentran espacios que pueden ser utilizados para la implementación de una biojardineras o humedales para el tratamiento de aguas. Así mismo, se corroboró que aún existe una carencia de infraestructura básica en la comunidad, tal es el caso de electrificación, agua potable y drenaje, principalmente en la zona noroeste de la población. Así mismo, se identificó la problemática sentida por la falta de saneamiento de las aguas residuales y se conoció el contexto de la comunidad, los sitios donde se vierten las aguas contaminadas y las tecnologías empleadas por los pobladores para mitigar la falta de tratamiento de las aguas residuales (Cuadro 2).

Cuadro 2. Indicadores de la localidad con problemáticas de falta de saneamiento del agua.

Indicador	Porcentaje (%)
Viviendas con letrina	6
Viviendas con fosa séptica	30
Viviendas con conexión a drenaje	64

Fuente: Elaboración propia.

Segunda fase del diagnóstico

En esta segunda etapa se identificó que la población en general muestra interés por el saneamiento de las aguas residuales, en especial la gente adulta de la comunidad y las autoridades, como el agente municipal, quien manifestó:

“que este es un tema muy importante porque se nos está acabando el agua, y sería bueno que se propongan nuevas soluciones de manera inmediata y más aquí que la gente ya lo pide” (P. Jiménez, comunicación personal, 12 de marzo de 2022).

Coincidiendo con opiniones declaradas por habitantes de la comunidad, quienes indican:

“que no hay drenaje y pues le hacemos como podemos para limpiar el agua” (E. Marín, comunicación personal, 07 de abril de 2022).

Mientras que otros comentaron:

“que algunos tenemos espacios en nuestras casas, pero pues apostarle a un humedal es muy grande y luego los mosquitos no se les aguanta” (F. López, comunicación personal, 27 de julio de 2020).

Como se indicó en un principio, la entrevista se aplicó en 890 viviendas, de los cuales los entrevistados fueron 632 mujeres y 258 hombres, el 52.81% se encontró entre 18 a 25 años de edad, 31.01% de 26 a 35 años, 6.74% de 35 a 45 años y 9.44% de 45 a 63 años de edad. Los habitantes de SCEO identifican una problemática con la falta de saneamiento de las aguas residuales, definen que existe una falta de difusión de tecnologías alternativas para el saneamiento y presentan una buena disposición para la capacitación en la construcción de ecotecnologías. En el Cuadro 3 se indica la apreciación de la problemática ambiental por los pobladores de SCEO.

Cuadro 3. ¿Cree que existen problemas en su comunidad relacionadas con la contaminación ambiental?

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	645	72.43
No	245	27.53
Total	890	100

De acuerdo a esta percepción de la problemática ambiental por parte de los habitantes de la localidad de SCEO, se identificó que existe un alto porcentaje reconoce que existen problemas en este rubro en localidad. Esto coincide con lo reportado por Ramírez y Camacho (2019); Ramírez (2015) y Gelis y La Llave (2013), quienes definen que en las comunidades rurales, suburbanas y urbanas ya existen problemas medioambientales, sin embargo, son más perceptibles en las localidades rurales. En el Cuadro 4 se muestran los resultados de la percepción de los pobladores con relación a los problemas ambientales existentes en su localidad.

Cuadro 4. Si la respuesta anterior fue si, mencionar cuáles de acuerdo al recuadro siguiente.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Contaminación de las calles por basura	152	23.57
Contaminación del agua	421	65.27
Contaminación del aire	12	1.86
Malos olores causados por las AR	60	9.30
Total	645	100

El 65.27% de los habitantes perciben como prioritario la contaminación del agua en su localidad, el 23.57% reconoce como el problema más perceptible a la contaminación de las calles generadas por la disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos (RSU); sin embargo, esta problemática no solo es altamente perceptibles a nivel local, sino a nivel mundial, tal como lo señalan Barrasa (2017) y Severiche *et al.* (2016). En el Cuadro 5 se muestra el motivo por el cual pobladores del SMTO no realizan el saneamiento de las aguas residuales generadas en las viviendas.

Cuadro 5. ¿Por qué no realiza el saneamiento de sus aguas residuales generadas?

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Desconozco tecnologías existentes para el saneamiento del agua	123	26.28
Por falta de asesoría técnica en el uso de tecnologías	72	15.39
Por excesivos costos de las tecnologías	1	0.21
Por falta de espacio en la vivienda	10	2.14
Por temor a ocasionar daños, malos olores, o contaminación en la vivienda	1	0.21
Por falta de asesoría y apoyo económico de las autoridades para realizar el saneamiento de las aguas	229	48.93
Porque espero que más adelante las autoridades resuelvan el problema como parte de sus acciones	32	6.84
Por desinterés	0	0
Otro	0	0
Total	468	100

En relación al eje temático de saneamiento y tecnología, el 48.93% de las personas establecen que el motivo principal por el que no efectúan el saneamiento de las aguas residuales, se debe a la falta de asesoría y apoyo económico de las autoridades para realizar el saneamiento de las aguas, coincidiendo con lo establecido por Vizuet y González (2011), que existe una falta y consolidación de apoyos económicos para la construcción de tecnologías alternativas, y esto también impacta de manera indirecta la consolidación de nuevas tecnologías propuestas para su implementación en viviendas en donde se carece de infraestructura correcta para el saneamiento de las aguas residuales. Así mismo, el 26.28% desconocen las tecnologías alternativas unifamiliares existentes para el saneamiento de las aguas residuales. En este sentido se coincide con lo establecido por Álvarez y Tagle (2019); quienes definen que aún existen retos para la difusión de tecnologías alternativas, lo que ha llevado al desconocimiento de las innovaciones o propuestas de nuevas tecnologías que pueden presentarse como propuesta de solución a problemáticas medioambientales. En el Cuadro 6 se describe el conocimiento de tecnologías para el saneamiento del agua por parte de pobladores de SMTO.

Cuadro 6. ¿Cuál de las tecnologías para tratamiento de aguas residuales considera que se pueda implementar en su vivienda?

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Biofiltro	224	29.28
Baño seco	225	29.41
Humedales artificiales	80	10.46
Fosa Séptica	236	30.85
Total	765	100

En relación a la pregunta para identificar las tecnologías apropiadas unifamiliares para el saneamiento de las aguas residuales, el 30.85% de los habitantes identificaron la fosa séptica como tecnología alternativa primaria para el resarcimiento de las aguas residuales, el 29.1% referenció al baño seco y en menor orden

los humedales artificiales en un 10.6%. Aunque estas tecnologías alternativas han sido ampliamente utilizadas para el saneamiento de las aguas residuales a nivel unifamiliar, la falta de su difusión es evidente, se infiere que el resultado se debe principalmente a la ausencia de procesos participativos en donde se incluya la información, seguimiento y difusión de tecnologías alternativas en la comunidad (Álvarez y Tagle, 2019). El Cuadro 7 se muestra los resultados de la pregunta relacionada con la disposición de las personas encuestadas para capacitarse o recibir cursos de tecnologías para el saneamiento del agua.

Cuadro 7. ¿Asistiría a cursos para capacitarse en la construcción de tecnologías para el saneamiento del agua?

Respuestas	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	101	73.72
No	36	26.28
Total	137	100

El 73.72% de los habitantes indicaron que están dispuestos a asistir a algún curso o taller relacionado con la información o capacitación de tecnologías alternativas para lograr el saneamiento correcto de sus aguas residuales. Esto coincide con lo reportado por Ortiz (2014), quienes definen que existe una gran importancia en establecer estrategias de inclusión de las tecnologías alternativas involucrando actores sociales y habitantes con la finalidad de convertir una propuesta de tecnología como un nuevo producto o método. Así mismo, Hernández *et al.* (2018) establecen que resulta fundamental establecer talleres en donde exista un involucramiento social, ya que es la forma en que una tecnología se difunde entre los saberes de la comunidad.

CONCLUSIONES

Se identificó que existe una preocupación latente por la falta de infraestructura para el saneamiento de las aguas residuales por parte de las autoridades municipales y de los pobladores de la comunidad, y se reconoció la necesidad de abordar esta problemática presente a través de una propuesta apropiada factible y viable.

La población identificó problemas medioambientales en su localidad, priorizando la necesidad de infraestructura para el saneamiento de las aguas residuales, sin embargo, debido a la falta de apoyo económico federal, estatal o municipal, la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) no es posible, dado los elevados costos que implica la construcción, operación y mantenimiento de esta tecnología convencional.

Los habitantes de esta población reconocen la existencia de tecnologías empleadas para el saneamiento del agua, sin embargo, en las viviendas se identificó que, se carece de sistemas que pueden ser empleados para mitigar la falta de saneamiento de las aguas residuales en su población, la razón fundamental se debe a la falta de apoyos económicos gubernamentales para su implementación, este hecho demuestra que existe un bajo interés en la aportación económica propia de los usuarios del agua para sanear sus aguas residuales generadas.

En la localidad se ha adoptado como una forma de saneamiento de las aguas residuales la implementación de fosas sépticas, a pesar de que reconocen, su baja eficiencia en la disminución de parámetros y remoción de contaminantes básicos conforme a la SEMARNAT, 1996.

La población de esta localidad suburbana de la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca, presente una buena disposición a la capacitación y para recibir información acerca de tecnologías alternativas que permitan el saneamiento de las aguas residuales, ya que los pobladores y las autoridades municipales lo identifican como una problemática latente y urgente a solucionar, por lo que se requiere definir una

planeación estratégica para lograr una transferencia tecnológica del RHU que contribuya al saneamiento del agua en esta localidad. Lo anterior, a través de la capacitación y la elaboración de un programa de sensibilización y concientización para la gestión adecuada del agua.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Castañón, L.D.C. y D. Tagle-Zamora. 2019. Transferencia de ecotecnologías y su adopción social en localidades vulnerables: una metodología para valorar su viabilidad. *Ciencia UAT*, 13(2), 83-99.
- Barrasa-García, S. 2017. Percepción del cambio climático en comunidades campesinas de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 56(3), 44-65.
- Campos-Castillo, A. A., G. Gil-García, W.D.J. Cordero-Aguilar, R.M. Ricalde-Vermont y Y. Olivia-Peña. 2020. Diagnóstico ambiental participativo con jóvenes de una Reserva Ecológica municipal para el diseño de una propuesta de educación ambiental no formal. *Acta Universitaria*, 30 (1): 1-17. <http://doi.org/10.15174/au.2020.2355>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015a. Estadísticas del agua en México Edición 2014. Estado de México. 50-56p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015b. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado. 4. México. Estado de México. 10 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2022. Software del sistema nacional de información sobre la biodiversidad (2.5). Estado de México. (Consultado: 19/04/2022). Disponible en: <http://geoportal.conabio.gob.mx/>.
- Cotán-Fernández, A. 2020. El método etnográfico como construcción de conocimiento: un análisis descriptivo sobre su uso y conceptualización en ciencias sociales. *Márgenes, Revista de Educación de la Universidad de Málaga*, 1 (1), 89-92. <http://dx.doi.org/10.24310/mgnmar.v1i1.7241>.
- De Anda-Sánchez, J. 2017. Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y Ambiente*, 1(14), 119-143.
- Gelis-Bery, M.I. y S. La Llave-Rodríguez. 2013. Diagnóstico integral ambiental de dos comunidades santiagueras: los cangrejitos y flores antes del huracán Sandy. *Ciencia en su PC*, (1), 32.
- Gobierno del Estado de Oaxaca. 2013. Plan de municipal de desarrollo sustentable de San Lorenzo Cacaotepec, Oaxaca 2011-2013. Oaxaca: Oaxaca de Juárez. (Consultado 12/10/2022). Disponible en: https://finanzasoxaca.gob.mx/pdf/inversion_publica/pmds/11_13/227.pdf.
- González-Ávila, M.E. J.I. Vera-López y S. Hernández-Solórzano. 2021. Estudio de la percepción ambiental geográfica de la contaminación de un arroyo urbano, Tonalá, Chiapas. *Región y Sociedad*, 33(1).1-34. <https://doi.org/10.22198/rys2021/33/1510>.
- Hernández-Cortez, N., L.C. Ruelas-Monjardín y M.E. Nava-Tablada. 2018. Sustentabilidad del desarrollo: desafíos y propuestas. Xalapa-Veracruz, México: Secretaría de Educación de Veracruz.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. San Lorenzo Cacaotepec, Oaxaca. (Consultado 06/04/2022). Disponible en: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjE2LjkzNjQ5LGxvbjotOTYyNzc5ODksejo5LGw6YzQxMHxjNDE4>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015a. Principales resultados de la encuesta intercensal 2015 Oaxaca. Estado de México. (Consultado 17/03/2022). Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/inter_censal/estados2015/702825079857.pdf.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015b. Mapa nacional de México. Estado de México. (Consultado 05/04/2022). Disponible en: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjE2LjkzNjQ5LGxvbjotOTYyNzc5ODksejo5LGw6YzQxMHxjNDE4>.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2022. Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL). Estado de México. (Consultado: 14/04/2022). Disponible en: https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/.
- Marlés-Betancourt, C. y L. Cruz-Correa. 2021. Estado actual de la educación y la cultura hídrica: un mapeo sistemático de literatura. *Revista Guillermo de Ockham*, 19(1) 17.
- Matarrese, M.L. 2015. De la entrevista al recorrido territorial: reflexiones etnográficas. Avá. *Revista de Antropología*. Universidad Nacional de Misiones Argentina. 1(27), 119-140.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2015. Un objetivo global para el agua post-2015: Síntesis de las principales conclusiones y recomendaciones de ONU-Agua. Francia, Paris. (Consultado: 20/11/2022). Disponible en: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/findings_and_recommendations_post2015_goal_water_spa.pdf.
- Ortiz-Moreno, J.A., O.R. Masera-Cerutti y A.F. Fuentes-Gutiérrez. 2014. La ecotecnología en México. *Imagina comunicación Estado de México*, México. 12 p.
- Paredes, A. y M.L. Phélan. 2008. Los censos comunitarios herramienta para revelar las desigualdades. Experiencia de nuevo horizonte, parroquia Sucre, Caracas. *Revista Latinoamericana de Población*. 2(3) 69-87.
- Pedroza-Sandoval, A., J. Ruiz-Torres, R. Trejo, S.A. Carmona-Veyna, J.A. Chávez-Rivero y S. Torres-Barraza. 2010. Desarrollo integral en comunidades marginadas en zonas áridas del norte de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. IX (1):46-51.
- Pérez-Díaz, A. 2016. Teoría y práctica del desarrollo comunitario. Un estudio de caso en un fraccionamiento de Ciudad Juárez, Chihuahua (México). *Theory and practice of community development. A case study in a subdivision of Ciudad Juarez, Chihuahua*. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 6(12), 540-550.
- Ramírez-García, A.G. y M. Camacho-Bercherlt. 2019. Diagnóstico participativo para determinar problemas ambientales en comunidades rurales. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 21(1), 86-113. <https://doi.org/10.36390/telos211.06>.
- Ramírez-García, A.G., P. Sánchez-García y A. Cruz-León A. 2015. Diagnóstico participativo para desarrollar un proyecto de turismo alternativo en la comunidad de Agiabampo, Huatabampo, Sonora, México. *Ra Ximhai*. 11(5):159-163.
- Ramírez-Hernández, O. 2015. Identificación de problemáticas ambientales en Colombia a partir de la percepción social de estudiantes universitarios localizados en diferentes zonas del país. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 307.
- Rodríguez-Domínguez, E. 2015. La delimitación cuantitativa de divisaderos de observación etnográfica: una herramienta metodológica para el estudio antropológico del Estado. *Nueva Antropología*. 28(83) 74-76.
- Rodríguez-Miranda, J.P., C.A. García-Ubaque y J.C. García-Ubaque. 2016. Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. *Revista de Salud Pública*. 18, 734-744.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 1996. NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Estado de México, México. (Consultado 01/03/2022). Disponible en: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3290/1/nom-001-semarnat-1996.pdf>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2017. Sistema de información geográfica para la evaluación del impacto ambiental (SIGEIA). Estado de México. (Consultado 01/04/2022). Disponible en: <https://mapas.semarnat.gob.mx/sigeia/#/sigeia>.
- Severiche-Sierra, C.A., E. Gómez-Bustamante y J. Jaimes-Morales. 2016. La educación ambiental como base cultural y estrategia para el desarrollo sostenible. *TELOS: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*. 18(2), 273.
- Trischler, H. 2017. El Antropoceno, ¿Un concepto geológico o cultural, o ambos? *Desacatos*, (54), 47.
- Vizuet-Isunza, G. y C.R. González-Dávila. 2011. Desafíos de los programas de vivienda sustentable en México. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*. 4(7) 70-72.