



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Fitotecnia

Coordinación de Estudios de Posgrado

Doctorado en Ciencias en Agricultura Multifuncional para el  
Desarrollo Sostenible

**MULTIFUNCIONALIDAD DE LA MILPA RELACIONADA CON LA  
CONSERVACIÓN-CONFLICTO POR AVES DE BOSQUES TEMPLADOS EN  
LA REGIÓN MIXTECA ALTA DE OAXACA**

**TESIS**

QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
**DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA MULTIFUNCIONAL PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**PRESENTA**

URIEL MARCOS RIVERA

**BAJO LA DIRECCIÓN DE:**

DR. SAÚL UGALDE LEZAMA



**APROBADA**



Doctorado en Ciencias en  
AGRICULTURA MULTIFUNCIONAL  
PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Sociedad Economía Ambiente

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2023

**MULTIFUNCIONALIDAD DE LA MILPA RELACIONADA CON LA  
CONSERVACIÓN-CONFLICTO POR AVES DE BOSQUES TEMPLADOS  
EN LA REGIÓN MIXTECA ALTA DE OAXACA**

Tesis realizada por **URIEL MARCOS RIVERA** bajo la supervisión del comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA MULTIFUNCIONAL PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE.**

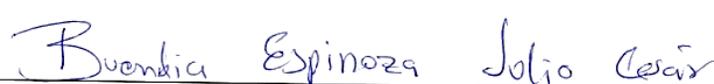
DIRECTOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. SAÚL UGALDE LEZAMA

ASESOR:

\_\_\_\_\_  
DR. EDUARDO VALDÉS VELARDE

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. JULIO CÉSAR BUENDÍA ESPINOZA

LECTOR EXTERNO:

  
\_\_\_\_\_  
LUIS ANTONIO TARANGO ARÁMBULA

## Contenido

1	CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1	Objetivos.....	3
1.1.1	Objetivo general .....	3
1.1.2	Objetivos particulares .....	3
1.2	Hipótesis.....	3
1.3	Presentación.....	4
1.4	Literatura citada .....	5
2	CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	7
2.1	Agricultura Multifuncional .....	7
2.2	El sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales .....	8
2.3	Trabajos realizados sobre el MIAF .....	8
2.4	Literatura citada .....	9
3	CAPITULO III. ESTADO DEL ARTE .....	12
3.1	Resumen .....	12
3.2	Introducción .....	13
3.3	Materiales y Métodos.....	14
3.4	Resultados y Discusión.....	15
3.4.1	Transferencia de Tecnología y Adopción del sistema MIAF .....	17
3.4.2	Componente Frutales .....	19
3.4.3	Componente Suelo.....	20
3.5	Conclusiones .....	21
3.6	Referencias .....	22
4	CAPITULO IV. MULTIFUNCIONALIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN LA REGIÓN MIXTECA ALTA DE OAXACA.....	25
4.1	Resumen .....	25
4.2	Abstrac .....	26
4.3	Introducción .....	26
4.4	Materiales y Métodos.....	28
4.4.1	Marco metodológico del Índice de Multifuncionalidad de Sistemas de Producción Agrícola (IMSPA) .....	28

4.4.2	Área de estudio .....	31
4.5	Resultados y discusión .....	32
4.5.1	Aplicación del IMSPA a los sistemas de maíz. ....	32
4.5.2	Multifuncionalidad de los sistemas de producción agrícola en la Mixteca de Oaxaca .....	33
4.6	Conclusiones .....	43
4.7	Agradecimientos .....	44
4.8	Referencias .....	44
5	CAPITULO V. DIVERSIDAD AVIFAUNISTICA EN SISTEMAS DE MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES, MILPA CONVENCIONAL Y BOSQUE DE PINO-ENCINO EN LA MIXTECA ALTA DE OAXACA .....	47
5.1	Resumen .....	47
5.2	Introducción .....	47
5.3	Materiales y métodos.....	49
5.3.1	Área de estudio y diseño de muestreo .....	49
5.3.2	Seguimiento .....	50
5.3.3	Análisis.....	51
5.4	Resultados y discusiones .....	53
5.5	Conclusiones .....	65
5.6	Agradecimientos .....	65
5.7	Literatura citada .....	66
6	CAPÍTULO VI. CARACTERIZACIÓN-USO DE HÁBITAT POR AVES EN SISTEMAS: AGROSILVICOLA, MILPA CONVENCIONAL Y BOSQUE TEMPLADO.....	71
6.1	Introducción .....	71
6.2	Materiales y métodos.....	72
6.2.1	Área de estudio .....	72
6.2.2	Seguimiento de la avifauna y de las variables de interés (vegetación y hábitat) .....	74
6.2.3	Análisis estadísticos .....	75
6.3	Resultados y discusión .....	76
6.4	Conclusiones .....	88
6.5	Literatura citada .....	88

7 CAPITULO VII. CONFLICTO POTENCIAL DE VERTEBRADOS SILVESTRES VS. PRODUCTORES AGROSILVICOLAS Y MILPA CONVENCIONAL.....	94
7.1    Introducción .....	94
7.2    Materiales y métodos.....	96
7.2.1    Área de estudio .....	96
7.2.2    Metodologías.....	97
7.2.3    Análisis de los datos.....	98
7.3    Resultados y Discusión.....	98
7.3.1    Resultados de Datos demográficos .....	98
7.3.2    Resultados de las Características del cultivo agrícola .....	99
7.3.3    Resultados de la Identificación del conflicto y especies de fauna silvestre involucrada.....	100
7.3.4    Resultados de los Métodos de control empleados por los productores y estrategias para reducir el conflicto. ....	102
7.4    Conclusiones .....	106
7.5    Literatura citada .....	107

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 4-1 Composición general del Marco Metodológico IMSPA. ....</b>	<b>29</b>
<b>Cuadro 4-2 Categorías que conforman al Marco Metodológico IMSPA.....</b>	<b>31</b>
<b>Cuadro 4-3 Caracterización general de los sistemas de producción agrícola evaluados. ....</b>	<b>33</b>
<b>Cuadro 4-4 Valores de integración del IMSPA.....</b>	<b>40</b>
<b>Cuadro 5-1 Aves registradas en el área de estudio para las condiciones MIAF, MC y BPQ en los municipios de Santa María Apasco, Santiago Apoala y, San Miguel Huautla; en la región Mixteca Alta de Oaxaca...54</b>	<b>54</b>
<b>Cuadro 5-2 Riqueza de especies promedio estimada por Jackknife1 para MIAF, MC, BPQ y Total. ....</b>	<b>58</b>
<b>Cuadro 6-1 Variables significativas del hábitat y la vegetación mediante análisis de Regresión Poisson en MIAF, MC y BPQ. ....</b>	<b>79</b>
<b>Cuadro 7-1 Resultados cualitativos de los Datos demográficos obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio. ....</b>	<b>99</b>
<b>Cuadro 7-2 Resultados cualitativos de las Características del cultivo agrícola obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio.....</b>	<b>100</b>
<b>Cuadro 7-3 Resultados cualitativos de la Identificación del conflicto obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio. ....</b>	<b>101</b>
<b>Cuadro 7-4 Resultados cualitativos de las especies de fauna silvestre relacionadas en el conflicto obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio. ....</b>	<b>102</b>
<b>Cuadro 7-5 Resultados porcentuales de las estrategias para reducir el conflicto obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio.....</b>	<b>104</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 Publicación de artículos científicos por año. ....	15
Figura 3-2 Número de artículos científicos publicados por revista. ....	16
Figura 3-3 Porcentaje correspondiente a los artículos publicados por cada componente evaluado. ....	17
Figura 4-1 Localización de los sitios de muestreo en la región Mixteca Oaxaqueña. ....	32
Figura 4-2 Valor acumulativo de funciones para el ámbito territorial por sistema. ....	35
Figura 4-3 Valor acumulativo de funciones para el ámbito ambiental por sistemas. ....	37
Figura 4-4 Valor acumulativo de funciones para el ámbito económico por sistemas. ....	38
Figura 4-5 Valor acumulativo de funciones que conforman el ámbito social por sistema. ....	40
Figura 4-6 Representación de los sistemas con multifuncionalidad media baja. ....	41
Figura 4-7 Representación de los sistemas con multifuncionalidad intermedia. ....	42
Figura 4-8 Representación del sistema con multifuncionalidad alta. ....	43
Figura 5-1 Localización de los sitios de muestreos en la región Mixteca Oaxaqueña. ....	50
Figura 5-2 Especies registradas por familia en la Sierra Mixteca Alta de Oaxaca. ....	53
Figura 5-3 Curvas de rarefacción de especies estimadas y observadas en los sistemas MIAF, MC y BPQ del área de estudio. ....	59
Figura 5-4 Abundancia relativa por especie en los sistemas bajo evaluación. ....	62
Figura 6-1 Localización de las parcelas de MIAF, MC y BPQ ubicadas en los municipios en Santa María Apasco, Santiago Apoala y, San Miguel Huautla; en la región Mixteca Alta de Oaxaca. ....	74
Figura 6-2 Inercia acumulada registrada entre las aves, los sustratos las estructuras de los sustratos registrados en las parcelas bajo el sistema MIAF. ....	80
Figura 6-3 Inercia acumulada registrada entre las aves, los sustratos y las estructuras de los sustratos registradas en las parcelas de MC. ....	80
Figura 6-4 Inercia acumulada registrada entre las aves, los sustratos y las estructuras de los sustratos registradas en el BPQ. ....	81

<b>Figura 6-5 Inercia acumulada registrada entre las aves, comportamientos y estratos registrados en las parcelas de MIAF. ....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 6-6 Inercia acumulada registrada entre las aves, comportamientos y los estratos registrados en las parcelas de MC. ....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 6-7 Inercia acumulada registrada entre las aves, comportamientos y estratos registrados en el BPQ.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 7-1 Localización de las parcelas de MIAF y MC en los municipios de Santa María Apasco, Santiago Apoala y San Miguel Huautla; al noreste del estado, en la región montañosa de la Mixteca Alta de Oaxaca.....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 7-2 Resultados porcentuales de los Métodos de control empleados por los productores para reducir el conflicto obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio. ....</b>	<b>103</b>

## **ABREVIATURAS USADAS**

**MIAF:** Milpa Intercalada con Árboles Frutales

**IMSPA:** Índice de Multifuncionalidad de sistemas de Producción Agrícola

**CITES:** Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre

**IUCN:** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

**SAF:** Sistemas Agroforestales

**INIFAP:** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

**COLPOS:** Colegio de Postgraduados

## DEDICATORIAS

A Dios, por prestarme vida para continuar siempre adelante, a pesar de cualquier adversidad.

A las personas que más quiero en la vida, mi señor padre Martín Marcos Valdez quien es mi ejemplo de superación e inspiración para nunca rendirme y sacar adelante mis compromisos, a mi señora madre Carmen Rivera Cervantes quien es la primera persona que mueve todos mis sentimientos; a ambos mi mayor respeto.

A mi hermano José Luis Marcos Rivera quien forma parte especial en mi vida y es mi mayor motivación para dejarle un buen ejemplo de superación.

A mi hermano Hugo Marcos Rivera† quien siempre ha sido y seguirá siendo mi ángel de la guarda; quien mejor para cuidarme y guiarme desde el cielo.

A toda mi familia quienes siempre están pendientes de mí, apoyándome, cuidándome y sobre todo por nunca olvidarme.

Como siempre lo eh hecho, una vez más dedico este trabajo a la tierra que me vio nacer, mi pueblo Oxpantla, en la sierra nororiental de Puebla, quien me ha cobijado con recursos naturales y humanos para tener una base sólida en mis creencias, tradiciones y formación personal. Por brindarnos a quienes vivimos ahí la fortuna de trabajar con la alfarería, oficio con el que eh logrado todo.

A mis compañeros y a todas las amistades que de una u otra manera están en comunicación conmigo, animándome y apoyándome para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Chapingo, principalmente al Departamento de Fitotecnia por la oportunidad que me brindaron para obtener el grado.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por otorgarme la beca para continuar mis estudios de posgrado.

Al Dr. Saúl Ugalde Lezama, por nunca rendirse y sobre todo por nunca abandonarme en este proyecto lleno de adversidades.

Al Dr. Eduardo Valdés Velarde y al Dr. Julio Cesar Buendía por formar parte de mi comité y apoyarme durante mi formación académica.

Al M.C. Claudio Romero Días por su valioso apoyo en la realización de los análisis estadísticos y revisión del documento de titulación.

Al Dr. José López Gaytán y al M.C. Prócoro Díaz Vargas por facilitar el acceso a las comunidades en la Sierra Mixteca Alta de Oaxaca.

A los productores de Santa María Apasco, Santiago Apoala y San Miguel Huautla por permitir trabajar en sus parcelas de milpa.

A la Sra. Cristina y al Sr. Celedonio de Llano del Sabino por brindarme todo el apoyo, hospedaje y alimentación durante los trabajos de campo.

A mis compañeros de posgrado: Lupita, Sergio, Alfredo, Axayacatl y a los muchachos de otros semestres que de una u otra manera aportaron en la formación e investigación.

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

### **Datos personales**

Nombre: Uriel Marcos Rivera

Fecha de nacimiento: 07 de agosto de 1993

Lugar de nacimiento: Oxpantla, Zautla, Puebla

No. de Cartilla Militar: 2505180

CURP: MARU930807HPLRVR09

Profesión: Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales

Cédula Profesional: 12490496

### **Desarrollo académico**

Cursó la Licenciatura en Biología en el Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla (2012-2016) obteniendo el título de Licenciado Biólogo en abril de 2017, con la Tesis titulada “Diversidad y uso de sustratos por aves en un bosque templado bajo tres gradientes altitudinales”.

Cursó la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo (2017-2019), obteniendo el título con la tesis “Diversidad y uso de hábitat (con énfasis en los planos vertical y horizontal) de un bosque templado en el Eje Volcánico Transmexicano”.

En agosto de 2019 continuó sus estudios de posgrado en el Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo, dentro del doctorado en Ciencias en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible.

## RESUMEN GENERAL

### <sup>1</sup>MULTIFUNCIONALIDAD DE LA MILPA RELACIONADA CON LA CONSERVACIÓN-CONFLICTO POR AVES DE BOSQUES TEMPLADOS EN LA REGIÓN MIXTECA ALTA DE OAXACA

Durante junio de 2021 a mayo de 2022 se evaluó la Multifuncionalidad de la Milpa relacionada con la conservación-conflicto por aves de bosques templados en la Región Mixteca Alta de Oaxaca; para ello se analizaron sistemas agrosilvícolas (MIAF), Milpa Convencional (MC), remanentes de bosque (Pino-Encino; BPQ). En ellos, se determinó la diversidad, caracterización y uso del hábitat; así como el conflicto potencial. Los datos de aves se obtuvieron empleando recuento en puntos con radio fijo y búsqueda intensiva; cuadros empotrados y vecino más cercano para vegetación; Líneas de Canfield para hábitat; además, entrevistas semiestructuradas para conflicto potencial. Los datos fueron analizados con Jackknife 1, Índice de Abundancia Relativa (IAR), Shannon-Wiener, Jaccard; se aplicó Kruskal-Wallis,  $\chi^2$ , Regresión *Poisson* (ARP), Correspondencias Canónicas (ACC); análisis cualitativo para categorizar el conflicto. Se identificaron 59 especies de aves; Jackknife exhibió una riqueza promedio de la avifauna registrada del 52.92% y el IAR fue de 0.33. La diversidad  $H'$ =3.68. La disimilitud de 38%. Kruskal-Wallis mostró diferencias en tres parámetros ( $p=0.002$ ,  $p=0.0012$ ,  $p=0.0001$ , respectivamente);  $\chi^2$  sugiere el registro teórico de dos (abundancia,  $p=0.1593$ ; diversidad;  $p=0.2124$ ) y de uno no (riqueza,  $p=0.002$ ). El ARP mostró efecto en tres variables del hábitat y una de vegetación; los ACC para sustratos y estructuras de los sustratos mostraron inercias del 84.52% (MIAF), 98.34% (MC), 100% (BPQ); para comportamientos y estratos del 92.42% (MIAF), 81.57% (MC), 91.22% (BPQ). Se demostró que BPQ mantiene su rol ecológico; no obstante, queda patente la relevancia a nivel local-regional del sistema MIAF y MC como coadyuvantes en la conservación de aves, especialmente endémicas y en riesgo. Se recomienda establecer prácticas de manejo agrícola (esquemas multifuncionales) compatibles con el sistema natural que promuevan la diversificación de estratos-sustratos como elementos esenciales del “hábitat”, manteniendo los remanentes de vegetación natural de la Región Mixteca Alta de Oaxaca.

**Palabras clave:** Diversidad de aves, milpa de conservación, fauna silvestre conflictiva, sistemas multipropósito.

---

<sup>1</sup>Tesis de Doctorado en Ciencias en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo  
Autor: Uriel Marcos Rivera  
Director de Tesis: Dr. Saúl Ugalde Lezama

## GENERAL ABSTRACT

### <sup>2</sup>MULTIFUNCTIONALITY OF MILPA RELATED TO CONSERVATION-CONFLICT FOR TEMPERATE FOREST BIRDS IN THE MIXTECA ALTA REGION OF OAXACA

From June 2021 to May 2022, the Multifunctionality of Milpa related to conservation-bird conflict of temperate forests in the Mixteca Alta Region of Oaxaca was evaluated; for this purpose, agroforestry systems (MIAF), Conventional Milpa (MC), and forest remnants (Pino-Encino; BPQ) were analyzed. Diversity, habitat characterization and use, as well as potential conflict were determined. Bird data were obtained using fixed radius point counts and intensive search; embedded boxes and nearest neighbor for vegetation; Canfield lines for habitat; and semi-structured interviews for potential conflict. Data were analyzed with Jackknife 1, Relative Abundance Index (RAI), Shannon-Wiener, Jaccard; Kruskal-Wallis,  $\chi^2$ , Poisson Regression (PRA), Canonical Correspondences (CCA); qualitative analysis was applied to categorize the conflict. 59 bird species were identified; Jackknife exhibited an average richness of the avifauna recorded of 52.92% and the RAI was 0.33. The diversity  $H'=3.68$ . The dissimilarity of 38%. Kruskal-Wallis showed differences in three parameters ( $p=0.002$ ,  $p=0.0012$ ,  $p=0.0001$ , respectively);  $\chi^2$  suggests the theoretical record for two (abundance,  $p=0.1593$ ; diversity;  $p=0.2124$ ) and does not do so for one (richness,  $p=0.002$ ). PRA showed effect on three habitat variables and for one vegetation variable; CCAs for substrates and substrate structures showed inertias of 84.52% (MIAF), 98.34% (MC), 100% (BPQ); for behaviors and strata of 92.42% (MIAF), 81.57% (MC), 91.22% (BPQ). It was demonstrated that BPQ maintains its ecological role; however, the relevance of the MIAF and MC system at the local-regional level as an aid in the conservation of birds, especially endemic and at-risk ones, is evident. It is recommended to establish agricultural management practices (multifunctional schemes) compatible with the natural system that promote the diversification of strata-substrata as essential elements of the "habitat", maintaining the remnants of natural vegetation in the Mixteca Alta Region of Oaxaca. 284 words

**Key words:** bird diversity, conservation milpa, conflicting wildlife, multipurpose systems

---

<sup>2</sup> Thesis, Universidad Autónoma Chapingo  
Author: Uriel Marcos Rivera  
Advisor: Dr. Saúl Ugalde Lezama

## 1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El crecimiento de la agricultura ha producido un intenso impacto sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos del mundo (Oesterheld, 2008; Rozzi, 2020), provocando una dominancia por agroecosistemas en la superficie terrestre del planeta (Defries et al., 2004; Altieri & Nicholls, 2018).

Aunado a ello, en las últimas décadas se han intensificado los problemas globales vinculados con el binomio agricultura-alimentación, tales como el hambre, desnutrición, inseguridad, contaminación de los alimentos, pobreza, cambio climático, crisis financiera, entre otros (Zamilpa et al., 2016).

Estos se atribuyen a la agricultura convencional, misma que se convirtió en una técnica industrializada y mecanizada (Gerritsen et al., 2012), que se caracteriza por la dominancia de monocultivos con gran rentabilidad gracias al uso de insumos sintéticos, fertilizantes químicos, plaguicidas y Organismos Modificados Genéticamente (OMG; FAO, 2009; Gómez et al., 2015).

Lo anterior ha causado erosión, pérdida de biodiversidad, resistencia a plaguicidas y destrucción de los mecanismos de control natural, que se manifiestan como secuelas que deja a su paso la agricultura convencional (Altieri & Nicholls, 2000), lo que hace urgente el establecimiento de tecnologías agrícolas multipropósito que, por un lado, brinden alimento a la humanidad y al mismo tiempo preserven los ecosistemas (Gerritsen et al., 2012).

Diferentes alternativas han surgido para contrarrestar los efectos de la sobreexplotación de los recursos naturales. La agroforestería, es una alternativa con mucho auge que está atendiendo las demandas de consumo e interviene conservando la biodiversidad (Casanova-Lugo et al., 2016).

Sin embargo, existen regiones con topografía accidentada que no permiten el desarrollo eficaz de estas tecnologías, aunado a ello, habitan productores que cultivan bajo la agricultura convencional (maíz) y no se arriesgan a cambiar por un nuevo sistema de producción multifuncional (Turrent et al., 2017).

Los Sistemas Agroforestales de Milpa intercalada con Árboles Frutales (MIAF) fueron creados como un proyecto específico para agricultura de subsistencia en condiciones de laderas, el cual combinó el trabajo científico con la participación de campesinos y técnicos especialistas (Mendoza & Hernández, 2017).

Los MIAF son una tecnología que, a pesar de sus dos décadas de existencia, aún se encuentra rezagada su distribución y pocos son los estudios en los que se evalúan los beneficios directos de esta tecnología hacia los productores y al ecosistema (Torres et al., 2008; Mendoza & Hernández, 2017; Turrent et al., 2017).

Los productores que tienen sus parcelas de maíz bajo el sistema MIAF o bajo Milpa Convencional (MC), se enfrentan a diferentes problemas, y en la mayoría de las ocasiones no cuentan con el conocimiento o recursos para dar respuesta o solución. Uno de estos problemas es la relación entre la agricultura y la Fauna Silvestre (FS), la cual suele ser controversial (Canavelli & Zaccagnini, 2007; Flores-Armillas et al., 2020) generando un conflicto que requiere de enfoques particulares para definir un manejo o control de algunas especies vertebradas.

El conflicto con la FS se presenta por la conectividad y expansión de parcelas agrícolas en zonas de vegetación natural, aunado a ello, en los sistemas de producción agrícola abundan alimentos específicos que especies faunísticas aprovechan para alimentarse y aumentar sus poblaciones (Robles et al., 2003; Zaccagnini et al., 2011).

Sin embargo, existen especies de FS (principalmente aves) que cumplen con el rol de controladores de insectos dañinos para los cultivos, brindan servicio de polinización, dispersan semillas de árboles frutales que pueden germinar debido al proceso de escarificación que realizan en su tracto digestivo (Navarro-Sigüenza et al., 2014; Herrera-Flores et al., 2019).

La multifuncionalidad que un sistema de producción agrícola provee, es relevante y su implementación se desarrolla bajo dos vertientes: mediante la generación de bienes privados y públicos, lo que permite un margen amplio de opciones para

posibles intervenciones de forma eficaz (Reyes et al., 2017). Es por ello que el objetivo de la presente investigación fue determinar la multifuncionalidad en sistema de producción de maíz y remanentes de bosque templado en la Sierra Mixteca Alta de Oaxaca.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

- Determinar la multifuncionalidad del sistema agrícola Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) y Milpa Convencional (MC), asociada con la conservación-conflicto por aves silvestres de bosques templados de Pino-Encino (BPQ) en la región Mixteca de Oaxaca.

### **1.1.2 Objetivos particulares**

- Evaluar la multifuncionalidad de los diferentes sistemas de producción de Milpa en la región Mixteca Alta de Oaxaca, siguiendo el Marco Metodológico del Índice de Multifuncionalidad de Sistemas de Producción Agrícola (IMSPA), para conocer el impacto con los productores y el medio ambiente.
- Estimar los patrones de diversidad avifaunística en el sistema MIAF, MC y remanentes de BPQ de la Mixteca Alta de Oaxaca.
- Determinar el uso del hábitat por aves en el sistema MIAF, MC y remanentes de BPQ, para inferir cómo estos intervienen en la dinámica poblacional de las Aves en la Sierra Mixteca Alta Oaxaqueña.
- Analizar el conflicto entre la Fauna Silvestre (FS) y los productores MIAF, MC en el área de estudio.

## **1.2 Hipótesis**

- Los sistemas de milpa MIAF, MC y el BPQ presentan diferente multifuncionalidad en la Mixteca Alta de Oaxaca.

- Los patrones de diversidad avifaunística no son similares en los diferentes sistemas y BPQ del área de estudio.
- Las aves presentan diferentes comportamientos tanto en los sistemas de milpa como en el BPQ en las zonas de estudio.
- La probabilidad de conflicto entre FS y el hombre es mínima en los sistemas bajo evaluación.

### **1.3 Presentación**

El presente trabajo se conformó de siete capítulos donde se estudió, evaluó y discutieron los servicios multifuncionales que presentan los MIAF, MC y los BPQ en la región Mixteca Alta de Oaxaca, con énfasis particular en el conflicto potencial entre la fauna silvestre y los sistemas en comento, para promover la conservación de la vida silvestre, específicamente aves.

Siguiendo un orden temático, la información presentada en los capítulos se muestra de la siguiente manera:

En el primer capítulo se mostró una introducción al panorama general de la investigación, se presentaron el objetivo general, específicos y las hipótesis de trabajo. El segundo capítulo trató de una revisión de literatura para conocer a grandes rasgos el contexto actual de la investigación, se dio particular énfasis a la multifuncionalidad de la agricultura y al sistema MIAF debido a que es una tecnología que se ha adoptado lentamente en las regiones rurales del país, y se tiene muy poco conocimiento sobre su multifuncionalidad (impacto económico, social, ambiental y territorial).

El tercer capítulo mostró un estado del arte del sistema MIAF, donde se evidenciaron los avances reportados en artículos de investigación científica. Después de tener un conocimiento amplio sobre el sistema MIAF a nivel nacional, se procedió a evaluar la multifuncionalidad de los sistemas de maíz presentes en el área de estudio; toda esta información se mostró en el capítulo cuatro.

En el capítulo cinco se describieron los patrones de diversidad avifaunística presentes en el área de estudio y en cada uno de los sistemas evaluados. El uso de hábitat por parte de las aves en los sistemas bajo estudio se describió en el capítulo seis; por último, en el capítulo siete se mostró el conflicto potencial entre la FS (algunos vertebrados) y los productores en los sistemas MIAF y MC.

#### 1.4 Literatura citada

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2000). Teoría y práctica para una agricultura sustentable. *Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental*. PNUMA. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2018). Agroecología y cambio climático: ¿adaptación o transformación?. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(2), 235-243. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.52-2.14>

Canavelli, S. B., & Zaccagnini, M. E. (2007). Nuevos enfoques en el manejo de conflictos con fauna silvestre para una agricultura sustentable. *Agricultura Sustentable en Entre Ríos*. Ediciones INTA.

Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Parsons, D., Caamal-Maldonado, A., Piñeiro-Vázquez, A. T., & Díaz-Echeverría, V. (2016). Environmental services from tropical agroforestry systems. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(3), 269-284. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.029>

DeFries, R. S., Foley, J. A., & Asner, G. P. (2004). Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(5), 249-257.

Flores-Armillas, V. H., Valenzuela-Galván, D., Peña-Mondragón, J. L., & López-Medellín, X. (2020). Los conflictos humano-fauna silvestre en México: revisión del estado actual y perspectivas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(1), e2274. <https://doi.org/10.19136/era.a7n1.2274>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009). *Glossary on Organic Agriculture*. FAO Inter-Departmental Working Group on Organic Agriculture.

Gerritsen, P. R., Castillo Castro, X. C., & Álvarez Grzybowska, N. S. (2012). Algunas consideraciones sobre la transición a la agricultura sustentable en el occidente de México. *Agroecología*, 7(2), 85–100.

Gómez, R. R. (2015). Organismos genéticamente modificados, seguridad alimentaria y salud: trascendiendo la epidemiología y la salud pública. *Revista Salud Bosque*, 5(2), 67-78. <https://doi.org/10.18270/rsb.v5i2.1467>

Herrera-Flores, B. G., Santos-Fita, D., Naranjo, E. J., & Hernández-Betancourt, S. F. (2019). Importancia cultural de la fauna silvestre en comunidades rurales del norte de Yucatán, México. *Península*, 14(2), 27-55.

Mendoza, R. R., & Hernández, R. E. (2017). *Sistema de producción milpa intercalada en árboles frutales (MIAF-durazno)*. Desarrollo tecnológico. Colegio de Postgraduados.

Navarro-Sigüenza, A. G., Gómez de Silva, H., Gual-Díaz, M., Sánchez-González, L. A., & Pérez-Villafaña, M. (2014). *La importancia de las aves del bosque mesófilo de montaña de México. Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Oesterheld, M. (2008). Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas: fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. *Ecología Austral*, 18(3), 337-346.

Reyes, V. C., del Moral, J. B., García, A. E., Rodríguez, A. B., & Montes, M. S. (2017). Agricultura multifuncional y sistemas de producción bajo un contexto de agricultura diversificada. In M.A. Samorano, & J. del Moral (Eds.), *Agricultura multifuncional y políticas públicas en México*, (pp. 35-52). Chapingo.

Robles, J., Jacobsen, S. E., Rasmussen, C., Otazu, V., & Mandujano, J. (2003). Plagas de aves en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y medidas de control en el Perú central. *Revista Peruana de Entomología*, 43(1), 147-151.

Rozzi, R., Crego, R. D., Contador, T., Schüttler, E., Rosenfeld, S., Mackenzie, R., ... & Massardo, F. (2020). Un centinela para el monitoreo del cambio climático y su impacto sobre la biodiversidad en la cumbre austral de América: la nueva red de estudios a largo Plazo Cabo de Hornos. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 48(3), 45-81. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2020000300045>

Torres, Z. J. P., Cortés, F. J. I., Turrent, F. A., Hernández, R. E., & Muratalla, L. A. (2008). Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalados con milpa. *Terra Latinoamericana*, 26(3), 265-273.

Turrent, F. A., Cortés, F. J. I., Espinosa, C. A., Hernández, R. E., Camas, G. R., Torres, Z. J. P., & Zambada, M. A. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México?. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1169-1185. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.116>

Zaccagnini, M. E., Thompson, J. J., Bernardos, J., Calamari, N., Goijman, A., & Canavelli, S. (2011). *Riqueza, ocupación y roles funcionales potenciales de las aves en relación a los usos de la tierra y la productividad de los agroecosistemas: un ejemplo en la ecorregión pampeana*. Ediciones INTA.

Zamilpa, J., Schwentesius, R. R., & Ayala, O. D. A. (2016). Estado de la cuestión sobre las críticas a la agricultura orgánica. *Acta Universitaria*, 26(2), 20-29. doi: 10.15174/au.2016.854

## 2 CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Agricultura Multifuncional

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (Maier & Shobayashi, 2001; Song et al., 2020) define el concepto de multifuncionalidad de la agricultura e identifica dos elementos clave: 1) existencia de múltiples productos básicos y no básicos producidos en conjunto por la agricultura y; 2) algunos de los productos no básicos tienen características de bienes públicos, con la aclaración de que los mercados para estos bienes no existen.

El concepto de multifuncionalidad agrícola es un referente obligado en los estudios, normas y programas relacionados con el sector. De acuerdo con su implementación operativa, la multifuncionalidad puede considerarse desde dos ángulos: positivo y normativo (Silva, 2010; Peng et al., 2015).

Gómez-Limón et al. (2008), González y Rodríguez (2012) mencionan que la agricultura multifuncional produce diferentes bienes, los cuales, pueden ser clasificados en bienes privados que corresponden a un enfoque positivo y, los públicos o sociales a un enfoque normativo.

De acuerdo con Cooper y Baldock (2009) y Torres-Rivera (2018) algunas características públicas y privadas que los sistemas agrícolas presentan son: biodiversidad de tierras de cultivo, disponibilidad y calidad del agua, estabilidad climática, almacenamiento de carbono, calidad del aire entre otros.

Independientemente de las funciones que desempeñan los sistemas agrícolas en el espacio y tiempo, la gran mayoría de autores suelen agruparlas en generales de tipo económico, social y ambiental (Reig, 2002; Parra-López & Sayadi, 2009; Fernández & Gutiérrez, 2013).

Para la presente investigación, se evaluó la multifuncionalidad de los sistemas de Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) y Milpa Convencional (MC) bajo estos tres ejes temáticos: económico, ambiental y social.

## **2.2 El sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales**

En sus inicios, el MIAF se desarrolló como una tecnología tras la colaboración entre el INIFAP y el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (Turrent et al., 2017). La tecnología MIAF se fundamenta por dos líneas antecesoras: 1) intensificación de la milpa histórica (MH) la cual, se caracteriza por introducir el modelo de árboles frutales interactuando con la milpa (Cortés & Turrent, 2012) y; 2) tecnología terrazas de muro vivo para condiciones de ladera (Turrent et al., 1995).

El MIAF es una tecnología multi objetivo que intensifica el paradigma de la Agricultura Tradicional para: 1) incrementar los ingresos y fomentar el empleo familiar, sin descartar los alimentos básicos; 2) dar protección al recurso suelo contra la erosión, sin evitar su roturación, excepto en algunas condiciones que lo requieran; 3) interacción entre los componentes para disminuir el uso de los recursos naturales e insumos en la parcela y; 4) incrementar la captura del carbono atmosférico (Turrent et al., 2017).

De acuerdo con Camas et al. (2012), el MIAF propone sostenibilidad ecológica, diversidad alimentaria, mayor oportunidad de empleo y servicios ambientales como captura de carbono. Por tanto, resulta atractivo para los productores y actualmente se encuentra en adopción en diferentes estados de la República.

## **2.3 Trabajos realizados sobre el MIAF**

De acuerdo con Turrent et al. (2017), existen más de 60 publicaciones en las que se describen los componentes del sistema y se detallan los avances del MIAF, cabe mencionar que dentro de este listado se encuentran artículos científicos, documentos técnicos, manuales, tesis, entre otros, que no están disponibles en línea o que se imprimieron en un número limitado de ejemplares y dificultan su acceso.

Francisco et al. (2010) y Cortés et al. (2012) presentaron los manuales más detallados sobre los componentes del sistema MIAF, en ellos se puede encontrar

la historia del MIAF, conceptos básicos, componentes del sistema, técnicas agrícolas mejoradas y soluciones a posibles problemas futuros.

Directamente en campo, se han realizado algunos trabajos en los que se evaluaron algunos componentes del sistema MIAF; Santiago-Mejía et al. (2008) y Torres et al. (2008) determinaron la calidad y rendimiento del fruto del duraznero; destacando mayor eficiencia de la tierra en el MIAF que en el cultivo convencional.

Sobre seguridad alimentaria en los sistemas MIAF se pueden consultar los trabajos de Albino-Garduño et al. (2018), Muñoz-Ruiz et al. (2018) y Meza (2019), en ellos se evalúa la eficiencia de los componentes del sistema en el corto y largo plazos, la revitalización de las unidades productivas campesinas y el intercalado de los cultivos.

Por último, la eficiencia y aceptación del sistema MIAF por parte de los productores se discuten en los trabajos de Ruiz Mendoza et al. (2012), Turrent et al. (2017) y, Meza (2019).

## **2.4 Literatura citada**

Albino-Garduño, R., Santiago-Mejía, H., Cortés-Flores, J. I., & Turrent-Fernández, A. (2018). Sistema agroecológico Milpa Intercalada con Árboles Frutales en comunidades originarias del Estado de México. *Cadernos de Agroecología*, 13(1), 1-7.

Camas, G. R., Turrent, F. A., Cortés, F. J. I., Livera, M. M., González, E. A., Villar, S. B ... & Cadena, I. P. (2012). Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de Nitrógeno y Fósforo en laderas bajo diferentes manejos en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), 231-243.

Cooper, T. K. H., & Baldock, D. (2009). *Provision of Public Goods through Agriculture in the European Union. Report for DG Agriculture and Rural Development*. Institute for European Environmental Policy

Cortés, J. I., & Turrent, F. A. (2012). Una tecnología multiobjetivo para pequeñas unidades de producción. In J. L. Calva, (Eds.). *Agenda para el desarrollo desarrollo agropecuario forestal y pesquero*. UNAM. México. 162-178 pp.

Cortés, J. I., Torres, Z. J. P., Turrent, F. A., Hernández, R. E., Ramos, S. A., & Jiménez, L. (2012). Manual Actualizado para el establecimiento y manejo del

sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. Colegio de Postgraduados

Fernández, L., & Gutiérrez, M. (2013). Bienestar social, económico y ambiental para las presentes y futuras generaciones. *Información Tecnológica*, 24(2), 121-130. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000200013>

Francisco, N. N., Zambada, M. A., Turrent, F. A., Cortés F. J. I., & Becerra, L. E. N. (2010). El sistema agroforestal milpa intercalada en árboles frutales: innovación para el pequeño productor de laderas. INIFAP.

Gómez-Limón, J. A., Picazo-Tadeo, A. J., & Martínez, E. R. (2008). Agricultura, desarrollo rural y sostenibilidad medioambiental. *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 61(1), 103-126.

González, M. R., & Rodríguez, J. A. G. L. (2012). *Preferencias y percepciones sociales sobre la multifuncionalidad del medio rural en Castilla y León*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles.

Maier, L., & Shobayashi, M. (2001). *Multifunctionality: towards an analytical framework*. Organisation for economic co-operation and development.

Meza, J. R. (2019). Milpa intercalada con árboles frutales para la resiliencia al cambio climático, la sustentabilidad ambiental y la seguridad alimentaria en Nicaragua. *La Calera*, 19(32), 48-54. <https://orcid.org/0000-0003-2231-4054>

Muñoz-Ruiz, E., Mejía, H. S., Garduño, R. A., & Pineda, F. R. (2018). El sistema milpa intercalada con árboles frutales incrementa la eficiencia relativa de la tierra en una comunidad mazahua del Estado de México. *Cadernos de Agroecología*, 13(1), 1-5.

Parra-López, C. & Sayadi, G. S. (2009). *Oferta y demanda social por la multifuncionalidad agraria en el diseño de políticas públicas: estado de la cuestión*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Consejería de Agricultura y Pesca.

Peng, J., Liu, Z., Liu, Y., Hu, X., & Wang, A. (2015). Multifunctionality assessment of urban agriculture in Beijing City, China. *Science of The Total Environment*, 537, 343-351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.136>.

Reig, M. E. (2002). La multifuncionalidad del mundo rural. *Globalización y Mundo Rural*, 803(1), 33-44.

Ruiz-Mendoza, A. D., Jiménez-Sánchez, L., Figueroa-Rodríguez, O. L., & Morales-Guerra, M. (2012). Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), 1605-1621.

Santiago-Mejía, E., Cortés-Flores, J. I., Turrent-Fernández, A., Hernández-Romero, E., & Jaen-Contreras, D. (2008). Calidad del fruto del duraznero en el sistema milpa intercalada con árboles frutales en laderas. *Agricultura Técnica en México*, 34(2), 159-166.

Silva, P. R. (2010). Multifuncionalidad agraria y territorio: Algunas reflexiones y propuestas de análisis. *EURE, Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 36(109), 5-33.

Song, B., Robinson, G. M., & Bardsley, D. K. (2020). Measuring multifunctional agricultural landscapes. *Land*, 9(8), 2-30. <https://doi.org/10.3390/land9080260>

Torres, Z. J. P., Cortés, F. J. I., Turrent, F. A., Hernández, R. E., & Muratalla, L. A. (2008). Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalados con milpa. *Terra Latinoamericana*, 26(3), 265-273.

Torres-Rivera, J. A., Fernández-Pereyra, S. L., López-Sánchez, S. A., Márquez-García, M. A., Benítez-Cruz, M. A., Heredia-Pérez, J. D., ... & Cipriano-Enríquez, M. (2018). La multifuncionalidad de ranchos ganaderos con tecnologías agroforestales en la región montañosa central de Veracruz. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 22(1), 63-64.

Turrent, F. A., Cortés, F. J. I., Espinosa, C. A., Hernández, R. E., Camas, G. R., Torres, Z. J. P. & Zambada, M. A. (2017). MasAgro o MIAF¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México?. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1169-1185. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.116>

Turrent, F. A., Uribe, G. S., Francisco, N. N. & Camacho, C. R. (1995). La terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México. I. nálisis del desarrollo de la terraza durante 6 años. *Terra*, 13(3), 276-298.

### 3 CAPITULO III. ESTADO DEL ARTE

#### MULTIFUNCIONALIDAD DEL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES EN MÉXICO

#### Multifunctionality of the system Milpa Intercalated with Fruit Trees in Mexico

##### 3.1 Resumen

**Objetivo:** Analizar los avances y aportaciones que presenta el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) con los productores y las ciencias agrícolas en México.

**Diseño/metodología/aproximación:** Durante septiembre de 2021 a febrero de 2022 se realizó una búsqueda de literatura en las bases de datos: *ScienceDirect*, *Scopus*, *JSTOR*, *SciELO*, *Springer*, *Redalyc* y *Google Scholar*. La revisión se hizo en los idiomas español e inglés y comprendió exclusivamente artículos de revistas científicas publicados hasta el año 2021.

**Resultados:** se revisaron 30 artículos científicos en los que se muestran avances sobre la transferencia y adopción de la tecnología, los frutales y las propiedades del suelo.

**Limitaciones/implicaciones:** solo se consideraron artículos desarrollados en México.

**Hallazgos/conclusiones:** se recomienda evaluar el sistema MIAF como proveedor de servicios ambientales como la conservación de Fauna Silvestre, la captura de carbono, entre otros.

**Palabras clave:** Milpa con Frutales, Milpa en condiciones de ladera, milpa histórica

### 3.2 Introducción

El sistema agrosilvícola conocido como Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) se encuentra dominado por diversos cultivos; entre los cuales, los básicos (frijol, haba, entre otros) y árboles frutales (durazno, manzana, etc.) crecen juntos en la misma parcela, presentando una alta interacción agronómica, donde el maíz es el eje central del mismo (Cortés et al., 2007).

El MIAF se desarrolló como una tecnología, resultado de la colaboración por más de 30 años, entre el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y; el Colegio de Postgraduados (COLPOS; Turrent et al., 2017).

Sus bases metodológicas tienen como precursores al modelo de intensificación de la milpa histórica (MH), el cual introduce el cultivo de árboles frutales en interacción con la milpa (Cortés & Turrent, 2012); el segundo es la tecnología de terraza de muro vivo para laderas, el cual, permite formar terrazas perpendiculares a la pendiente del suelo para disminuir la erosión del suelo (Uribe-Gómez et al., 2000).

De esta manera, el MIAF funciona como un sistema agrícola de producción diversificada que combina especies perennes-anales en el mismo espacio-tiempo y, forma una estructura vegetal que permite la interacción agronómica entre especies (Cortés et al., 2012; Juárez-Ramón & Fragoso, 2014; Albino-Garduño et al., 2015), además de ser una tecnología social y económicamente viable (Arriaga-Vázquez et al., 2020)

Como tecnología multi objetivo, busca intensificar el paradigma de la Agricultura Tradicional para: 1) incrementar el ingreso neto y el empleo familiar, sin olvidarse de los alimentos básicos; 2) proteger el suelo contra la erosión; 3) interacción entre los componentes para una mayor economía de uso en los recursos naturales e insumos en la parcela y; 4) incrementar la captura del carbono atmosférico. Existen más de 60 publicaciones diferentes (artículos científicos, documentos técnicos, manuales, tesis, entre otros) que se centran en describir

los antecedentes, componentes y metodologías del sistema, así como también se detallan algunos avances del MIAF atendiendo a sus multi objetivos en estas tres décadas de existencia (Turrent et al., 2017).

A pesar de ello, se desconoce cuáles son los componentes del sistema que mayores aportes tienen con los productores, los que más se han estudiado, cuáles presentan mayor rezago y, como el sistema MIAF puede colaborar en servicios ambientales: p. ej. la conservación del suelo, captura de carbono y la conservación de Fauna Silvestre.

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente fue analizar los avances y aportaciones que presento el sistema MIAF con los productores y las ciencias agrícolas, mediante la publicación de artículos científicos que permitieran la consulta de sus resultados a otros investigadores, así como detectar aquellas partes y componentes del sistema MIAF que han sido escasa o nulamente intervenidos.

### **3.3 Materiales y Métodos**

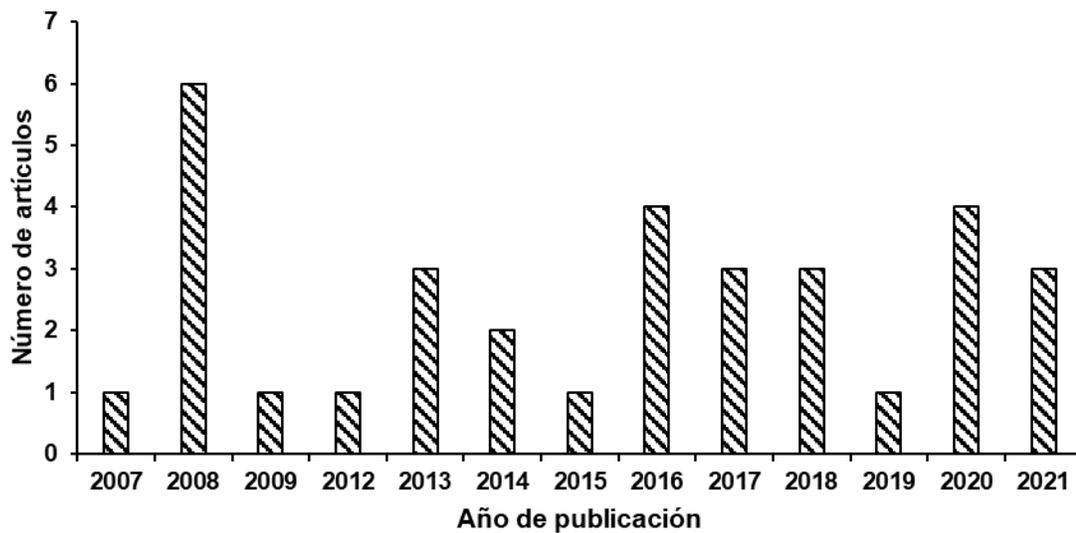
Durante septiembre de 2021 a febrero de 2022 se realizó una búsqueda de literatura en las bases de datos: *ScienceDirect*, *Scopus*, *JSTOR*, *SciELO*, *Springer*, *Redalyc* y *Google Scholar*. La revisión consideró documentos en los idiomas español e inglés y comprendió exclusivamente artículos de revistas científicas publicados hasta el año 2021.

Las palabras usadas se concentraron en título (Milpa Intercalada con Árboles Frutales) y palabras clave relacionadas con el tema: sistema MIAF, tecnología MIAF, MIAF, milpa intercalada con árboles frutales, conservación de Fauna Silvestre en sistemas agroforestales, Fauna Silvestre en agroecosistemas. Es importante mencionar que la revisión bibliográfica se centró específicamente en aquellos artículos que hicieran mención del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales en sus investigaciones, esto debido a que existen trabajos sobre milpa, frijol y/o calabaza intercalada con frutales pero que no se rigen bajo la

metodología del sistema MIAF y, la finalidad de esta investigación fue exclusivamente de este sistema.

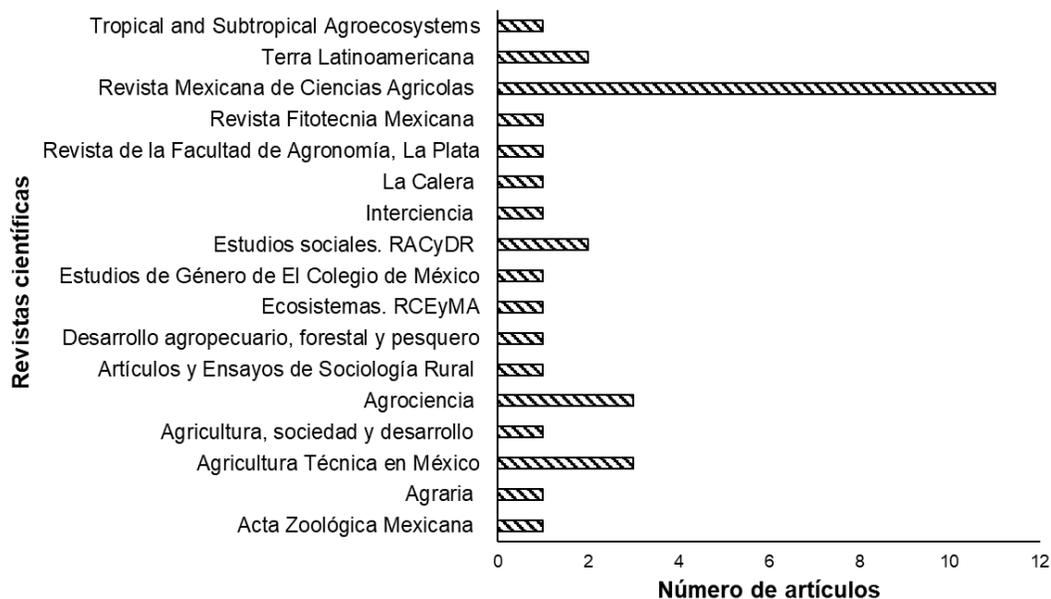
### 3.4 Resultados y Discusión

El periodo analizado en la presente fue del 2007 (primer documento científico) al 2021, en el cual se registraron y revisaron 30 artículos publicados en revistas científicas, cabe resaltar que, en 2008, se realizaron seis publicaciones (Figura 3-1).



**Figura 3-1 Publicación de artículos científicos por año.**

La Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, incorporada al INIFAP, es donde se ha publicado el 33% de los artículos revisados, seguida por Agrociencia del COLPOS y, Agricultura Técnica en México (Figura 3-2).



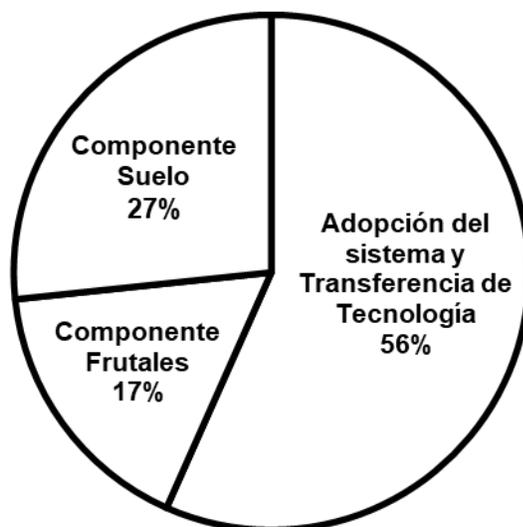
**Figura 3-2 Número de artículos científicos publicados por revista.**

**Nota:** RCEyMA: Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente; RACyDR: Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional.

Diferentes autores e instituciones han participado y colaborado en las publicaciones científicas sobre el sistema MIAF; el INIFAP y el COLPOS en sus diferentes campus, son las que mayores aportaciones han realizado.

En cuanto a los autores, el Dr. Antonio Turrent Fernández quien es considerado uno de los pioneros en el desarrollo de la tecnología MIAF, es quien más colaboraciones tiene en artículos científicos.

De acuerdo con la revisión bibliográfica, los trabajos consultados se clasificaron de la siguiente manera: 1) Transferencia de Tecnología y Adopción del sistema MIAF; 2) Componente Frutales y; 3) Componente Suelo; de los cuales, el primero es el que más publicaciones presenta (Figura 3-3).



**Figura 3-3 Porcentaje correspondiente a los artículos publicados por cada componente evaluado.**

#### **3.4.1 Transferencia de Tecnología y Adopción del sistema MIAF**

Se conoce como transferencia de tecnología al proceso que implica la transición de un conocimiento entre organizaciones o dentro de la misma entidad, esta transferencia fomenta la adopción de innovaciones y buenas prácticas por parte de los productores (Christoplos, 2010; Moreddu, 2016; Solleiro et al., 2020).

La Escuela de Campo (EC) es una de las metodologías más implementada para la capacitación, divulgación y adopción de una nueva tecnología con interés en el campo y las provincias de México (Cirilo et al., 2008; Gaytán et al., 2008; Cirilo et al., 2009). Se caracteriza por ser un método de extensión participativo que permite desarrollar capacidades analíticas, de pensamiento crítico y creatividad; se integra por facilitadores expertos, campesinos interesados que promueven la nueva y relevante tecnología agroecológica (Kenmore, 2002; Cirilo et al., 2008).

En el año 1999, el COLPOS en conjunto con otras instituciones, iniciaron el Proyecto Manejo Sostenible de Laderas (PMSL), presentando la tecnología MIAF, la cual fue difundida a los campesinos mediante EC bajo la dinámica de "aprender-haciendo", lo que más tarde permitió la adopción de diversos componentes del sistema MIAF por los campesinos (Ruiz-Mendoza et al., 2012).

La EC demostró facilitar la capacitación de los productores, formando promotores con conocimientos suficientes para promover la innovación en sus comunidades, entre sus familiares, amigos, vecinos y más personas interesadas (Gaytán et al., 2008).

Por otra parte, Regalado-López et al. (2020) implementaron otra metodología para transferir la tecnología MIAF en el municipio de San Andrés Calpan, Puebla. Crearon un modelo basado en la asociación y organización de los productores, rescatando aspectos como la organización, asistencia técnica, financiamiento y el mercado, los cuales permiten mayor rapidez en el escalamiento de la tecnología MIAF por parte de los pequeños productores.

El Aprendizaje cooperativo es otra manera de intercambiar saberes durante la transferencia de una tecnología, particularmente en regiones etnolingüísticas donde es indispensable la organización social, el trabajo colectivo, la interacción de saberes ancestrales y la inclusión de las nuevas generaciones (Martínez et al., 2021).

Después del proceso de transferencia de la tecnología agrícola, continúa la aceptación o rechazo de la misma, lo que determinará el éxito o fracaso de dicha tecnología; para ello, Mendoza et al. (2012) analizaron el grado de comprensión, aplicación, resultados, efectos y limitantes en la implementación de la tecnología MIAF en cinco municipios Mixes de Oaxaca, señalan innovaciones en componentes como la poda, injerto, trazos de curvas a nivel, siembra de la milpa y la no quema del rastrojo.

Considerar características geográficas, físicas, culturales y étnicas de las regiones antes de implementar el sistema MIAF, proporcionará alternativas adecuadas, a fin de hacer viable la adopción de la tecnología (Martínez et al., 2021).

La aceptación y/o rechazo del sistema MIAF se puede determinar también con el paso del tiempo, a pesar de ser una tecnología con productividad en el corto,

mediano y largo plazo, sus mejores resultados serán después del tercer o cuarto año (Cadena-Iñiguez et al., 2018).

### **3.4.2 Componente Frutales**

Los frutales son uno de los principales componentes del sistema MIAF, su integración enriquece a la milpa en diferentes ámbitos: incremento del ingreso neto familiar, protección del suelo ante la erosión y, el incremento de materia orgánica en el suelo (Turrent et al., 2017).

El rendimiento óptimo de los frutales dependerá estrictamente del manejo, formación estructural y la poda del árbol (Zambrano et al., 2008).

El sistema MIAF adopta la técnica de tatura modificado para formación y poda en los frutales, este consiste en dejar dos ramas en forma de “Y” como estructura del frutal, sin necesitar estructuras de apoyo, además, permite establecer altas densidades de plantación y hace uso eficiente de los recursos agua y suelo (Cortés et al., 2004).

De acuerdo con Zambrano et al. (2008), el duraznero es la especie frutícola principal, debido a la disponibilidad de variedades. Es un componente estratégico por el alto precio del fruto en temporadas de escasez (Santiago-Mejía et al., 2021), principalmente por incidencia de plagas y heladas que afectan a productores de durazno (García-Figueroa et al., 2013).

Avances sobre el rendimiento del duraznero y la calidad del fruto en sitios expuestos a heladas se pueden consultar en los trabajos de Santiago-Mejía et al. (2008, 2021) destacando la importancia de árboles compuestos por variedades que presenten diferentes tiempos de floración en sus estratos bajos y altos, con la finalidad de hacer frente a las heladas de radiación.

Zambrano et al. (2008) muestran la importancia del número de ramas del duraznero dentro del sistema MIAF, formación y poda en tatura modificado con dos y cuatro ramas fueron las bases del experimento y, aunque no se permitió definir si es mejor el árbol con dos o cuatro ramas, es importante resaltar que

ambas estructuras de ramas del duraznero dentro del MIAF permiten un uso más eficiente de la tierra que los cultivos simples.

Por último, Santiago-Mejía et al. (2008) evaluaron las condiciones nutrimentales de los durazneros y su relación con la calidad del fruto en un sistema MIAF bajo condiciones de ladera, escasos o exceso de nutrientes afectan directamente la calidad del fruto, la fertilización juega un papel muy importante para evitar efectos en la calidad del fruto, es por ello, la necesidad de atender este componente del sistema MIAF.

### **3.4.3 Componente Suelo**

El MIAF como un sistema multiobjetivo y multifuncional propicia un aprovechamiento integral de los recursos agua, luz solar, suelo y mano de obra familiar (Arriaga-Vázquez et al., 2020).

En el caso del suelo, ayuda a la recuperación y conservación en condiciones de laderas, reduce la pendiente con la formación de terrazas, incrementa el contenido de materia orgánica, reduce la emisión de CO<sub>2</sub>, y facilita un uso eficiente del agua de lluvia (Cortés et al., 2012, Cortés & Turrent, 2012).

Arriaga-Vázquez et al. (2020) evaluaron el impacto del MIAF sobre las propiedades químicas y biológicas del suelo, comparando sus resultados con los sistemas de manejo agrícola tradicional y de labranza de conservación. El sistema MIAF mejoró la actividad metabólica en grupos funcionales de microorganismos en la zona de recepción y filtro de sedimentos. Además, en la zona del filtro, se observó un pH más cercano a la neutralidad, mayor contenido de Materia Orgánica (MO), N inorgánico, N total, P total, P extractable y K.

Por otra parte, Camas et al. (2012) evaluaron maíz en labranza de conservación (MLC), maíz en barreras de muro vivo (MBMV) y, milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), para encontrar alternativas tecnológicas sostenibles en términos del escurrimiento superficial y producción de sedimentos. El sistema MIAF presentó niveles más bajos de degradación del suelo en comparación con los otros sistemas.

Por último, Juárez-Ramón y Fragoso (2014), analizaron las comunidades de lombrices de tierra en sistemas MIAF, aunque no se presentaron diversidad y abundancia significativas, es recomendable implementar técnicas de manejo que ayuden a incrementar la cantidad de estos organismos benéficos.

### **3.5 Conclusiones**

La MIAF como sistema se integra por componentes indispensables para su correcto funcionamiento, en esta revisión bibliográfica se analizaron investigaciones científicas del sistema MIAF y se lograron detectar los componentes más estudiados en cuanto al interés de los investigadores. Los frutales, propiedades del suelo y trabajos relacionados con la transferencia de la tecnología con los productores, fueron los principales avances que se pueden encontrar y consultar mediante la publicación de artículos científicos.

En base a estos estudios se puede concluir que el MIAF es un sistema multifuncional que aporta en la producción de frutales a los productores, para consumo o venta promoviendo la economía local y regional.

Ayuda a la conservación del suelo en terrenos con pendientes y, al mismo tiempo enriquece el suelo con MO evitando la erosión por lluvia, recupera el maíz nativo y promueve su conservación a nivel nacional.

A pesar de ello, aun es escasa la información acerca de los servicios que el sistema MIAF puede brindar. Se recomienda implementar más investigaciones en campo, con los productores, escuchar sus dudas, comentarios y peticiones; así como evaluar a los sistemas MIAF como proveedores de servicios ambientales, p. ej. la conservación de Fauna Silvestre, captura de carbono, entre otros.

### 3.6 Referencias

Albino-Garduño, R., Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., Livera-Muñoz, M., & Mendoza-Castillo, M. C. (2015). Distribución de raíces y de radiación solar en el dosel de maíz y frijol intercalados. *Agrociencia*, 49(5), 513-531.

Arriaga-Vázquez, A. M., Martínez-Menez, M. R., Rubiños-Panta, J. E., Fernández-Reynoso, D. S., Delgadillo-Martínez, J., & Vázquez-Alarcón, A. (2020). Propiedades químicas y biológicas de los suelos en milpa intercalada con árboles frutales. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 465-474. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.599>

Cadena-Iñiguez, P., Camas-Gómez, R., López-Báez, W., López-Gómez, H. C., & González-Cifuentes, J. H. (2018). El MIAF, una alternativa viable para laderas en áreas marginadas del sureste de México: caso de estudio en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1351-1361. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1670>

Camas Gómez, R., Turrent Fernández, A., Cortes Flores, J. I., Livera Muñoz, M., González Estrada, A., Villar Sánchez, B., ... & Cadena Iñiguez, P. (2012). Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), 231-243.

Christoplos, I. (2010). *Cómo movilizar el potencial de la extensión agraria y rural*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Cirilo, S. O., Sánchez, L. J., Chulím, N. E., Valverde, B. R., Olvera, B. P., Sánchez, A. R., & Guerra, M. M. (2008). Escuelas de campo y adopción de ecotecnia agrícola. *Ecosistemas*, 17(2), 94-102.

Cirilo, S. O., Valverde, B. R., Flores, R. A., Sánchez, L. J., Chulim, N. E., Olvera, B. V. P., ... & Guerra, M. M. (2009). Impacto del conocimiento tecnológico sobre la adopción de tecnología agrícola en campesinos indígenas de México. *Interciencia*, 34(8), 551-555.

Cortés, J. I., Mendoza, R., Hernández, E., Aceves, E., Turrent, A., & Estrella, N. (2004). *Manual para técnicos: el sistema agrícola 'Milpa intercalada en árboles frutales (MIAF) en terrenos planos*. Colegio de Postgraduados.

Cortés, J. I., Turrent, F. A., & Calva, J. L. (2012). Una tecnología multiobjetivo para pequeñas unidades de producción. *Análisis Estratégico para el Desarrollo, Políticas Agropecuarias y Pesqueras*, 9(1), 162-178.

Cortés, J. I., Turrent, A., Díaz, P., Claro, P., Hernández, E., Aceves, E., & Mendoza, R. (2007). La milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), una tecnología multiobjetivo para las pequeñas unidades de producción. *Desarrollo Agropecuario, forestal y pesquero*, 9(1), 100-116.

Cortés, J. I., Torres, Z. J. P., Turrent, F. A., Hernández, R. E., Ramos, S. A., & Jiménez, S. L. (2012). *Manual Actualizado para el establecimiento y manejo del*

*sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas*. Colegio de Postgraduados

García-Figueroa, G., Parra-Inzunza, F., Francisco, J., Escobedo-Castillo, B. P. O., Gutiérrez-Rangel, N., & Sagarraga-Villegas, M. (2013). Rentabilidad del cultivo de durazno en cuatro municipios del estado de Puebla, México. *Agraria*, 10(2), 71-78.

Juárez-Ramón, D., & Fragoso, C. (2014). Comunidades de lombrices de tierra en sistemas agroforestales intercalados, en dos regiones del centro de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 30(3), 637-654.

Kenmore, P. E. (2002). Integrated Pest Management. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 8(3), 173–174.

López Gaytán, J., Jiménez Sánchez, L., León Merino, A., Figueroa Rodríguez, O. L., Morales Guerra, M., & González Romero, V. (2008). Escuelas de campo, para capacitación y divulgación con tecnologías sustentables en comunidades indígenas. *Agricultura Técnica en México*, 34(1), 33-42.

Martínez Gómez, G., Santos Corral, M. J., Gortari Rabiela, R. N. D., Romo Lozano, J. L., & Vega Martínez, D. (2021). Aprendizaje cooperativo para la transferencia de la tecnología MIAF: los mixes de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 89-100. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2706>

Mendoza, A. D. R., Sánchez, L. J., Rodríguez, O. L. F., & Guerra, M. M. (2012). Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), 1605-1621.

Moreddu, C. (2016). Public-private partnerships for agricultural innovation: Lessons from recent experiences.

Regalado-López, J., Castellanos-Alanis, A., Pérez-Ramírez, N., Méndez-Espinoza, José A., & Hernández-Romero, E. (2020). Modelo asociativo y de organización para transferir la tecnología milpa intercalada en árboles frutales (MIAF). *Estudios sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 30(56), 1-32. DOI: <https://doi.org/10.24836/es.v30i56.983>

Ruiz Mendoza, A. D., Jiménez Sánchez, L., Figueroa Rodríguez, O. L., & Morales Guerra, M. (2012). Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(8), 1605-1621.

Santiago-Mejía, E., Cortés-Flores, J. I., Turrent-Fernández, A., Hernández-Romero, E., & Jaen-Contreras, D. (2008). Calidad del fruto del duraznero en el sistema milpa intercalada con árboles frutales en laderas. *Agricultura Técnica en México*, 34(2), 159-166.

Santiago-Mejía, H., Cortés-Flores, J. I., Turrent-Fernández, A., Albino-Garduño, R., Volke-Haller, V. H., & Zavaleta-Mancera, H. A. (2021). Rendimiento y calidad del fruto de duraznero bi-varietal en un sistema MIAF expuesto a heladas. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 44(1), 107-113. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.1.107>

Solleiro, J. L., Castañón, R., & Martínez, L. E. (2020). Buenas Prácticas De Extensionismo Y Transferencia De Tecnología-Recomendaciones Para El Sistema De Extensionismo Agroalimentario Mexicano. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 46(1), 508-522.

Torres Zambrano, J. P., Cortés Flores, J. I., Turrent Fernández, A., Hernández Romero, E., & Muratalla Lúa, A. (2008). Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalados con milpa. *Terra Latinoamericana*, 26(3), 265-273.

Turrent Fernández, A., Cortés Flores, J. I., Espinosa Calderón, A., Hernández Romero, E., Camas Gómez, R., Torres Zambrano, J. P., & Zambada Martínez, A. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México?. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1169-1185. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.116>

Uribe-Gómez, S., del Carmen Gutiérrez-Castorena, M., Tavarez-Espinosa, C., & Turrent-Fernández, A. (2000). Caracterización y clasificación de suelos de ladera manejados con terrazas de muro vivo en Los Tuxtlas, Veracruz. *Agrociencia*, 34(4), 403-412.

## 4 CAPITULO IV. MULTIFUNCIONALIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN LA REGIÓN MIXTECA ALTA DE OAXACA

Marcos-Rivera, Uriel<sup>1</sup>; Ugalde-Lezama, Saúl<sup>1\*</sup>; Valdés-Velarde, Eduardo<sup>1</sup>; Tarango-Arámbula, Luis A.<sup>2</sup>; Buendía-Espinoza, Julio C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México – Texcoco Km. 38.5, C.P. 56230, Texcoco, Estado de México.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus de San Luis, C. de Iturbide 73, San Agustín, C.P. 78622, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México.

\*Autor para correspondencia: biologo\_ugalde@hotmail.com

### 4.1 Resumen

**Objetivo:** Inferir el papel de la multifuncionalidad de los sistemas de milpa en la región Mixteca Alta de Oaxaca, México.

**Diseño/metodología/aproximación:** se empleó el Marco metodológico del Índice de Multifuncionalidad de Sistemas de Producción Agrícola (IMSPA), aplicando entrevistas semi estructuradas a los productores.

**Resultados:** se determinó el nivel de multifuncionalidad de cada uno de los sistemas de maíz evaluados, se destaca la Milpa Intercalada con Árboles Frutales como el sistema con mayor multifuncionalidad y atributos potenciales para el desarrollo local.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** El paradigma de algunos productores al cambio en sus parcelas, suele llevar a una negatividad en participación y desconfianza en este tipo de investigaciones.

**Hallazgos/conclusiones:** Es necesario dar seguimiento a las evaluaciones de multifuncionalidad, existen sistemas que se encuentran en una línea donde pueden avanzar o retroceder en cuanto a sus funciones se refiere.

**Palabras clave:** Milpa intercalada, MIAF, Agricultura multifuncional

## 4.2 Abstrac

**Objective:** To infer the role of multifunctionality in the milpa systems of the Mixteca Alta region of Oaxaca, Mexico.

**Design/Methodology/Approach:** The methodological framework of the Multifunctionality Index of Agricultural Production Systems (IMSPA) was used, applying semi-structured interviews to producers.

**Results:** The multifunctionality level of each evaluated systems was determined and the Milpa Intercropped with Fruit Trees (MIAF) showed the greatest multifunctionality and potential attributes for local development. Study

**Limitations/Implications:** The resistance among producers to make changes in their plots usually leads to a refusal to participate and to mistrust this type of research.

**Findings/Conclusions:** It is necessary to follow up on multifunctionality evaluations, since some systems are at a point where their functions can advance or regress.

**Keywords:** Intercropped milpa, MIAF system, multifunctional agriculture.

## 4.3 Introducción

Durante los últimos años han emergido enfoques alternativos que permitan hacer un mejor uso del suelo; la Multifuncionalidad de la agricultura (o también conocido como Agricultura Multifuncional) es uno de ellos, y hace referencia a la capacidad de generar diferentes tipos de productos y servicios derivados de prácticas agrícolas (Gómez-Limón et al., 2008; Silva, 2010), que tienen un impacto directo sobre la economía y la sociedad en su conjunto (Bonnal et al., 2003). Además, la agricultura multifuncional contribuye directamente con el bienestar e inclusión social, con el incremento en el flujo de dinero, actividades ecoturísticas, gestión y valorización de los recursos naturales (Ikova & Todorova, 2014). Desde su

origen hasta la actualidad, el concepto de Agricultura Multifuncional (AMF) ha recibido mucha atención por parte de académicos, instituciones y países (Cuevas et al., 2015).

La AMF ha sido practicada por pequeños agricultores en comunidades rurales como estrategia de autosuficiencia y diversificación desde hace décadas, pero fue hasta la Cumbre de la Tierra Río 92 cuando fue considerada en foros de desarrollo, política y ciencia globales (Callo-Concha, 2018). En 2001 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) estableció los objetivos de la AMF en los que se destaca la preservación de la producción y el consumo, promoción del desarrollo agrícola, y mejorar el beneficio económico de los agricultores (Huylensbroeck et al., 2007).

En México, uno de los principales sistemas agrícolas que pueden considerarse multifuncionales está constituido por la milpa, particularmente aquellos que se desarrollan en regiones rurales donde el cultivo principal es el maíz, al que se le puede asociar tanto con especies domesticadas como con especies silvestres (Cotler-Ávalos & Lazos-Chavero, 2019). Esta forma de producción presenta una dinámica espacio-temporal, relacionada con el entorno natural (suelo, nichos micro climáticos, nutrientes, agua), el contexto socio-cultural (dinámicas familiares, conocimientos, prácticas y arreglos institucionales) y económico-políticos (comportamiento de los mercados, mano de obra, políticas de desarrollo) que llevan a múltiples manejos de cultivos y decisiones, lo cual lo hace un agroecosistema exponencialmente complejo y multifuncional (Lazos, 1995; Cotler-Ávalos & Lazos-Chavero, 2019).

Dentro del territorio mexicano, la región sureste es donde el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) presenta mayor importancia y se considera como uno de los centros de origen de esta especie (Salinas Moreno et al., 2013). En el Estado de Oaxaca cerca de 90 % de la superficie cultivada de maíz se siembra con maíces criollos de diferentes razas, colores, texturas y ciclos de cultivo (Aragón et al., 2006). Existen zonas donde el maíz se cultiva en interacción de otros cultivos

y árboles frutales (MIAF) brindando beneficios extras en comparación con los monocultivos (Milpa Tradicional) (Turrent et al., 2017).

La región Mixteca de Oaxaca es una sierra en la que los pobladores cultivan la milpa de forma Tradicional, pero, poco a poco algunos de ellos están adoptando e implementando otros sistemas de producción más multifuncionales. Actualmente, no se ha evaluado la multifuncionalidad de la milpa en esta región de Oaxaca, y menos aún con el enfoque del análisis de sistemas, es por ellos que el objetivo de este estudio fue inferir el papel de la multifuncionalidad de los sistemas de milpa en la región Mixteca Alta de Oaxaca, México.

#### **4.4 Materiales y Métodos**

##### **4.4.1 Marco metodológico del Índice de Multifuncionalidad de Sistemas de Producción Agrícola (IMSPA)**

El IMSPA se compone por dos conceptos claves relacionados entre sí: 1) la agroecología y, 2) el desarrollo sustentable. Retoma la perspectiva sistémica de la agricultura y define como nivel de análisis al propio sistema de producción agrícola. Este exhibe un enfoque a escala local; en el cual, el productor maneja de manera integral los recursos disponibles que intervienen en la producción, por lo que, sus prácticas productivas tienen un efecto diferencial en el medio en el que inciden. Además, permite inferir el nivel de multifuncionalidad del sistema mediante cuatro ámbitos: 1) Ámbito Territorial; 2) Ámbito Ambiental; 3) Ámbito Económico y; 4) Ámbito Social, los cuales son evaluados bajo el análisis de 12 funciones (tres por cada ámbito; Cuadro 4-1).

**Cuadro 4-1 Composición general del Marco Metodológico IMSPA.**

<p><b>Función 1: Configuración del paisaje.</b> Variable excluyente: Heterogeneidad espacial. Indicador: Número de cultivos establecidos en el último año -Un cultivo, valor= 1.75 -2 a 3 cultivos, valor = 3.5 -4 a 5 cultivos, valor = 5.25 -Mayor a 6 cultivos, valor = 7</p> <p><b>Función 3: Historia Agrícola.</b> Variable excluyente: Tenencia de cambio. Indicador: Orientación del sistema determinado por el número de cultivos desarrollados a través del tiempo. -Simplificación (reducción de cultivos) valor = 2.33 -Estable (número de cultivos igual) valor= 4.66 -Complejidad (aumento de cultivos) valor = 7</p>	<p style="text-align: center;"><b>Ámbito Territorial</b></p> <p><b>Función 2: Conectividad espacial.</b> Variable aditiva: Fuente de abastecimiento. Indicador: Tipo de fuente de procedencia del agua para el desarrollo del sistema. -Valor por tipo = 1.2 -Unidad/distrito de riego -Lluvia -Bordo o represa -Río -Pozo</p>	<p style="text-align: center;"><b>Ámbito económico</b></p> <p><b>Función 8: Fortalecimiento economía local.</b> Variable excluyente: Mercado. Indicador: Producción integrada al mercado local. -Sin distribución, valor = 1.875 -Distribución externa a la localidad, valor = 3.75 -Distribución local y externa, valor = 5.625 -Solo distribución local, valor = 7.5</p>	<p><b>Función 7: Viabilidad rural.</b> Variable excluyente: Empleo. Indicador: Tipo y duración de empleo generado. -Empleo familiar temporal, valor = 2.5 -Empleo familiar constante, valor = 5 -Empleo familiar constante y externo temporal, valor = 7.5 -Empleo familiar y externo constante, valor = 7.5</p> <p><b>Función 9: Seguridad alimentaria.</b> Variable excluyente: Autoconsumo. Indicador: Producción para autoconsumo directo o indirecto a través de un subsistema ganadero. -Solo consumo directo, valor = 2.5 -Solo consume indirecto, valor = 5 -Consumo directo o indirecto, valor = 7.5</p>
<p><b>Índice de Multifuncionalidad de Sistemas de Producción Agrícola</b></p>			
<p><b>Función 4. Provisión de refugio y habitat.</b> Variable aditiva: Resguardo de fauna. Indicador: Avistamiento de madrigueras. Valor por tipo = 1.125 -En estrato arbóreo -En cercos de piedra u otros materiales -En subsuelo o paredón -En el cultivo</p> <p><b>Función 6. Preservación de biodiversidad.</b> Variable aditiva: Fomento de diversidad. Indicador: Prácticas para propiciar biodiversidad. Valor por práctica = 3 -Incorporación de más de una variedad por cultivo -Uso de dos o más cultivos diferentes -Uso de setos en madrigueras y/o dentro del sistema -Incorporación de actividades ganaderas</p>	<p><b>Función 5. Conservación de suelo y agua.</b> Variable aditiva: Estrategias sustentables. Indicador: Ejecución de prácticas favorables. Valor por práctica = 1,683 -Incorporación de materia orgánica -Prácticas de lombricultura -De rehabilitación de suelo -Cultivos de cobertura -Surcado en contorno -Rotación de cultivos -Labranza mínima -Riego por goteo</p>	<p><b>Función 12: Cohesión social.</b> Variable excluyente: Participación. Indicador: Grado de participación en plataformas sociales. -Sin integración, valor = 0 -Si pertenece a algún grupo social, valor = 2.1875 -Si asiste a las reuniones, valor = 4.375 -Si participa en acuerdos, valor = 6.5625 -Forma parte del grupo organizativo, valor = 8.75</p>	<p><b>Función 11: Arraigo territorial.</b> Variable excluyente: Precio local. Indicador: Sentido de pertenencia. -Terreno prestado o rentado y procedencia externa, valor = 1,875 -Terreno propio, procedencia externa, valor = 3.75 -Terreno rentado o prestado y procedencia local, valor = 5,625 -Terreno propio, procedencia local, valor = 7.5</p> <p><b>Función: Protección patrimonio cultural</b> Variable aditiva: Cosmovisión agrícola. Indicador: Disponibilidad y/o práctica del productor. Valor por opción: 1.75 -Usa diversos cultivos en el tiempo y espacio -Producir sin insumos químicos ni maquinarias -Usar interdependencias ecológicas para prevenir plagas y enfermedades -Producir en ambiente adverso por temperatura y/o pendiente del terreno -Usar plantas y/o animales silvestres de manera medicinal</p>
<p style="text-align: center;"><b>Ámbito Ambiental</b></p>		<p style="text-align: center;"><b>Ámbito Social</b></p>	

La suma de cada uno de los ámbitos integra el valor del IMSPA.

$$IMSPA = AT + AA + AE + AS$$

**Donde:**

$$\frac{AT (\text{Ámbito Territorial}) = \Sigma \text{Funciones } 1, 2, 3}{\text{Valor máximo de } AT = 20}$$

$$\frac{AA (\text{Ámbito Ambiental}) = \Sigma \text{Funciones } 4, 5, 6}{\text{Valor máximo de } AA = 30}$$

$$\frac{AE (\text{Ámbito Económico}) = \Sigma \text{Funciones } 7, 8, 9}{\text{Valor máximo de } AE = 25}$$

$$\frac{AS (\text{Ámbito Social}) = \Sigma \text{Funciones } 10, 11, 12}{\text{Valor máximo de } AS = 25}$$

El IMSPA toma valores entre 0 a 100; en donde 100 denota una mayor multifuncionalidad del sistema, cuyo grado se puede catalogar en cinco categorías, permitiendo con ello ubicar el resultado del estatus de este; el cual, puede cambiar súbitamente conforme avanza el monitoreo (Cuadro 4-2).

**Cuadro 4-2 Categorías que conforman al Marco Metodológico IMSPA.**

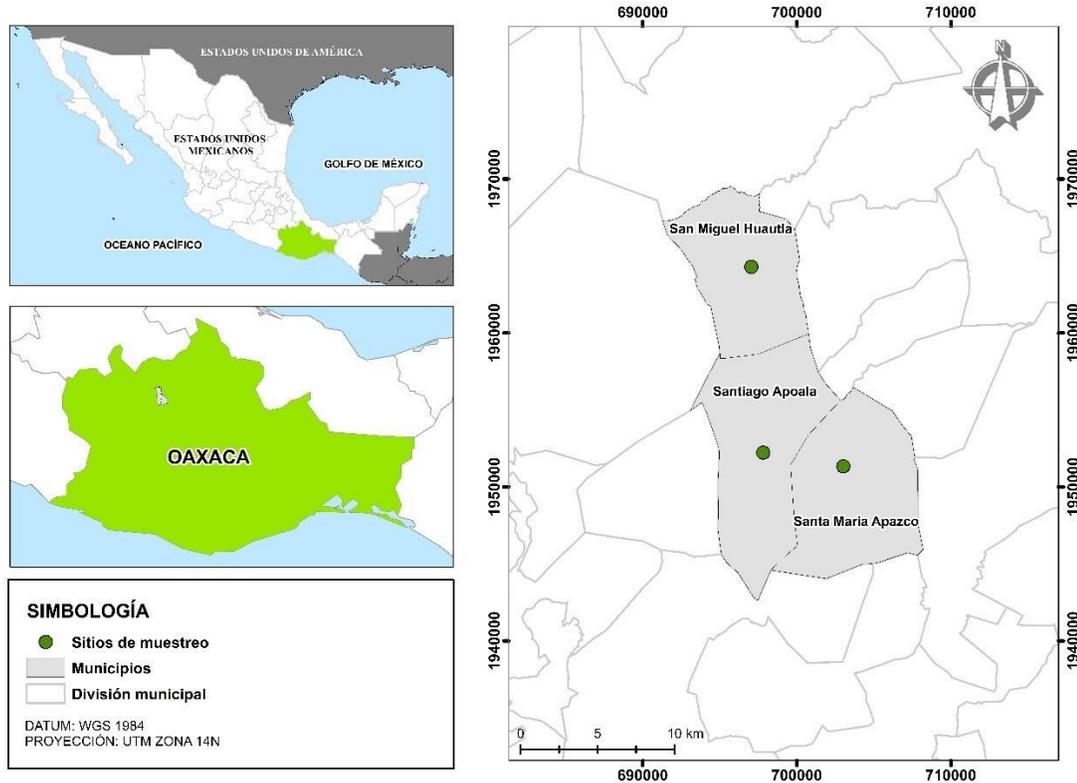
<b>Categorías del IMSPA</b>	<b>Definición</b>
I (< 20) Multifuncionalidad baja	Sistema en estado crítico debido al aporte mínimo de funciones tanto dentro como fuera del mismo, situados en el extremo de la convencionalidad de su forma de producción.
II (20.1 - 40) Multifuncionalidad media baja	Sistema que en su mayor producción se maneja de forma convencional, puede tener un aporte marcado en alguno de los cuatro ámbitos.
III (40.1 - 60) Multifuncionalidad intermedia	Sistema que se encuentra en estado de vulnerabilidad y que puede presentar mejoras o, por el contrario, retroceso en cuanto a la producción de las funciones.
IV (60.1 - 80) Multifuncionalidad media alta	Sistema que se encamina favorablemente hacia la producción de funciones en los diferentes ámbitos, definiendo sus rumbos hacia la diversificación y desarrollo de prácticas que benefician la multifuncionalidad del mismo.
V (80.1 - 100) Multifuncionalidad alta	Esta categoría se define como un estado excelente en cuanto al aporte de funciones en todos los ámbitos que el sistema genera, además, tiene un impacto positivo en el ambiente y sociedad, convirtiéndolo en sistemas ideales para replicar o aumentar.

#### **4.4.2 Área de estudio**

La Mixteca es una de las ocho regiones que conforman al estado de Oaxaca, se localiza al noroeste del Estado y cubre una superficie de 15,671.08 km<sup>2</sup>. La Mixteca Alta Oaxaqueña es una zona que presenta altas montañas, en donde la morfología plana es escasa y solo se reconoce al valle de Nochixtlán como el más extenso (Solís-Castillo et al., 2018).

El clima dominante es templado subhúmedo con lluvias concentradas en verano (Cw) y periodo de canícula marcado entre julio-agosto (García, 2004), con temperatura media anual de 15 °C y precipitación media anual de 649 mm. La vegetación predominante es el bosque de encino-pino secundario en las partes altas, con algunos relictos primarios (Solís-Castillo et al., 2018).

Asunción Nochixtlán es uno de los siete distritos que componen la región Mixteca, aquí se localizaron los municipios de Santa María Apasco, Santiago Apoala y San Miguel Huautla (Figura 4-1), en los cuales sus pobladores cultivan el maíz bajo diferentes Sistemas de Producción Agrícola (SPA).



**Figura 4-1 Localización de los sitios de muestreo en la región Mixteca Oaxaqueña.**

## 4.5 Resultados y discusión

### 4.5.1 Aplicación del IMSPA a los sistemas de maíz.

Se identificaron y evaluaron ocho Sistemas de Producción Agrícola (SPA) en las tres comunidades seleccionadas, en su conjunto cubren una superficie de nueve hectáreas (Cuadro 4-3). Los SPA y las parcelas fueron localizadas a través de informantes clave, los cuales presentaban conocimientos sobre el manejo de la agricultura local. Cada SPA se consideró como un nivel de análisis, sobre la cual, se llevó acabo una encuesta semiestructurada a las personas responsables del manejo en cada sistema, de esta manera se evaluó tanto al SPA como a los productores de cada sistema. El periodo de trabajo para la aplicación de encuestas comprendió de mayo a julio de 2022.

**Cuadro 4-3 Caracterización general de los sistemas de producción agrícola evaluados.**

<b>Sistema</b>	<b>Superficie</b>	<b>Características generales</b>
Maíz Apasco	1 ha	Cultivo convencional con aplicación de agroquímicos, producción destinada para consumo y venta
Maíz Apoala	1.5 ha	
Maíz Huautla	1 ha	
Maíz-Frijol Apasco	0.5 ha	Cultivo convencional con aplicación de agroquímicos, superficies pequeñas, con producción destinada del maíz para consumo, y el frijol para consumo y venta
Maíz-Frijol Apoala	0.5 ha	
Maíz-Frutal Apoala	1.5 ha	Cultivo intercalado con milpa y frutales como son: durazno, aguacate, manzana. No se rigen bajo la metodología del sistema MIAF. Producción para consumo y venta.
Maíz-Frutal Huautla	1 ha	
MIAF Apasco	1 ha	Se caracteriza por seguir las metodologías de siembra, plantación, podas y fertilizaciones del sistema MIAF. Los frutales son: durazno, manzana y aguacate. Producción principalmente para venta local y externa, en menor proporción para consumo.

#### **4.5.2 Multifuncionalidad de los sistemas de producción agrícola en la Mixteca de Oaxaca**

Se presentan los análisis de las 12 funciones evaluadas para cada ámbito (territorial, ambiental, económico y social), su representación gráfica y la integración con el IMSPA. Las funciones y sus variables no marcan un límite el amplio concepto de la multifuncionalidad, pero sí representan una contribución en la manera de abordarla.

##### **Ámbito territorial**

La configuración del paisaje es el resultado del manejo antrópico de los recursos naturales como elemento fundamental (Ruiz et al., 2016). Los componentes del paisaje agrícola actúan como fichas de rompecabezas que pueden favorecer o

interrumpir los procesos ambientales y servicios ecosistémicos (Francesconi & Montagnini, 2015; Clemente-Ortega & Álvarez, 2019).

Por ello, se considera que un sistema de producción influye directamente sobre el paisaje al crear una composición que indica funcionalidad y continuidad, a mayor heterogeneidad espacial, mayor multifuncionalidad (Ruiz et al., 2016).

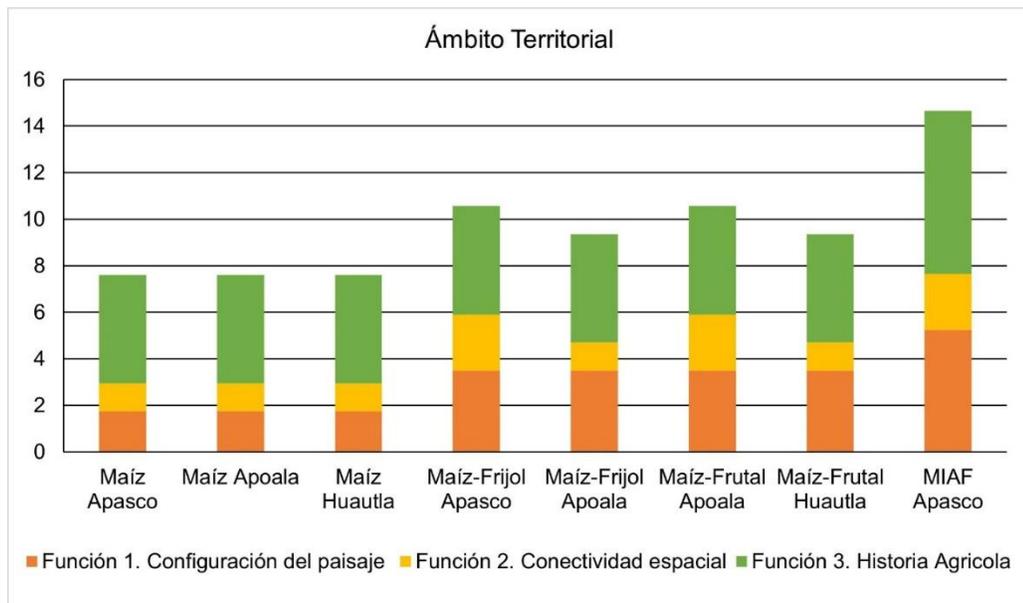
El número de cultivos implementados por año fue el indicador que permitió evaluar dicha heterogeneidad. Los resultados para esta función mostraron que ningún sistema cuenta con más de seis cultivos establecidos en el último año, el 12.5% de los sistemas evaluados implementaron de 4 a 5 cultivos, el 37.5% establecieron de 2 a 3 cultivos, y el 50% restante solo presentan un cultivo en el último año.

La agricultura es una actividad económica que requiere de altos consumos de recursos hídricos. La función de conectividad espacial considera la importancia de los sistemas de producción en la continuidad o fragmentación del espacio agrícola, lo cual no solo afecta el paisaje, sino que también interrumpe las interacciones ecológicas (Ruiz et al., 2016).

Para esta función se consideró al recurso agua como un requisito fundamental en la productividad y producción de manera continua de los sistemas agrícolas, contar con una fuente de abastecimiento independiente a la lluvia, será determinante. La fuente de procedencia del agua se consideró para la evaluación de la función. Los resultados mostraron que para cinco sistemas la lluvia es la única fuente de abastecimiento hídrico, y en los tres sistemas restantes se tiene una fuente alterna para asegurar la continuidad de producción.

Para la función de historia agrícola se contemplan los cambios en los cultivos que han conformado el sistema, lo cual permite realizar una caracterización paisajística de un territorio determinado, lo que permite proyectarlo hacia una producción de mayor complejidad (aumento en el número de cultivos), la constancia (mismo número de cultivos) o inclusive la simplificación (reducción de cultivos) del sistema.

La tenencia de cambio de un monocultivo a la diversificación agroecológica promueve procesos naturales que permiten mantener saludable el agroecosistema, su productividad y su capacidad de auto sostenerse (Nicholls et al., 2015). Los resultados mostraron que el 87% de los sistemas presentaron una tendencia estable, lo cual se atribuye a que permanecen desarrollando el mismo número y tipo de cultivos; mientras que solo el 12.5% (un sistema) tiende a la complejidad debido a que presenta un aumento cada determinado tiempo (Figura 4-2).



**Figura 4-2 Valor acumulado de funciones para el ámbito territorial por sistema.**

### Ámbito ambiental

La provisión de refugio y hábitat considera a un sistema de producción como refugio para la vida silvestre, particularmente la fauna, formando microhábitats que diferentes especies pueden aprovechar para su desarrollo (Canavellis & Zaccagnini, 2007; Figueroa-Sandoval et al., 2019); por tanto, el avistamiento de madrigueras y nidos, así como su localización dentro del sistema son un buen indicador de la multifuncionalidad (Ruiz et al., 2016).

Los resultados reflejaron que en el sistema Maíz-Frutal Apoala no se registraron avistamientos, en seis sistemas sólo se observaron madrigueras y nidos en una

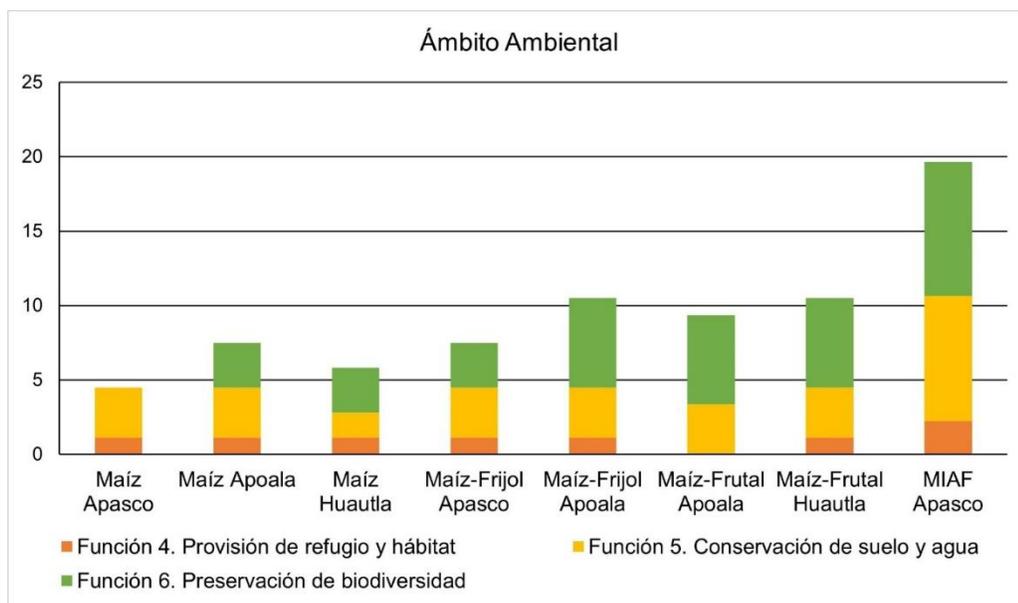
sola localización dentro de cada sistema (cercos, subsuelo y dentro del cultivo), y en el sistema MIAF Apasco se especificaron en dos localizaciones diferentes dentro del sistema (cercos de piedras u otros materiales y en el subsuelo). Se resalta que el avistamiento de madrigueras dentro del cultivo fue el mejor representado.

Por su parte, la función de conservación de suelo y agua contempla que las prácticas realizadas en las actividades agrícolas tienen efectos directos sobre estos recursos, de tal modo que se pueden conservar o deteriorar. Adoptar e implementar nuevas técnicas que favorezcan la conservación del suelo será un reto considerable para autoridades, productores y academia (Gómez-Calderón et al., 2018).

De las ocho prácticas evaluadas en esta investigación, la labranza mínima es la que más se practica en los sistemas. Además, se obtuvo que en el sistema Maíz – Huautla solo se realiza una práctica, en contraste con el sistema MIAF - Apasco, que resultó con el mayor número de técnicas implementadas (incorporación de materia orgánica, de rehabilitación de suelo, rotación de cultivos, labranza mínima, y riego por goteo).

La preservación de la biodiversidad considera las técnicas de manejo que el productor realiza para incentivar a la conservación de la biodiversidad en el sistema. La FAO (1999) menciona que diversificar las prácticas agrícolas repercute positiva y negativamente en la diversidad, y que, a mayor promoción de ésta, mayor será la multifuncionalidad que despliegue el sistema.

Diversificar las prácticas agrícolas encaminado a un sistema agroforestal representa un medio que une dos factores en la dinámica de la sociedad: la producción sostenible y la protección de la biodiversidad (Saborío, 2016). Los resultados mostraron que las prácticas de uso de dos o más cultivos e incorporación de actividad ganadera fueron las más representadas; el sistema Maíz – Apasco no presentó ninguna práctica, y el sistema MIAF – Apasco se reportaron tres de las cuatro prácticas (Figura 4-3).



**Figura 4-3 Valor acumulado de funciones para el ámbito ambiental por sistemas.**

### Ámbito económico

La viabilidad rural supone que un sistema productivo es rentable si oferta diversas opciones que incentiven al productor a mantener su producción y permanencia en un área específica; lo cual, asegurará la generación de empleo e ingresos que permitan la subsistencia de los núcleos familiares que dependen de ello (Ruiz et al., 2016).

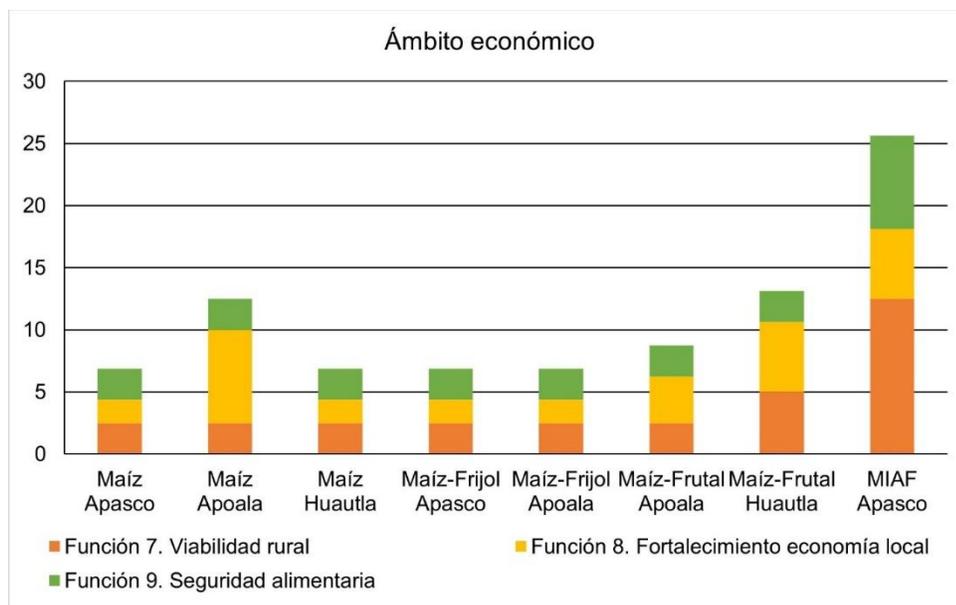
Los resultados mostraron que en 75% de los sistemas fomentaron empleo temporal a la familia; en el sistema Maíz – Frutal Huautla se generó empleo familiar de manera constante; mientras que en el sistema MIAF Apasco el empleo fue constante para la familia, como para personal externo, brindando multifuncionalidad, además de repercutir en la sociedad forma positiva.

En el fortalecimiento de la economía local, se considera una mayor incorporación de los productos en mercados locales distribuidos en las áreas donde se desarrolla el sistema agrícola; lo que promoverá una mayor multifuncionalidad de éste (Ruiz et al., 2016).

En este aspecto, se obtuvo que en el 50% de los sistemas evaluados sus productos no se distribuyen y son empleados para autoconsumo; mientras que en el 12.5% toda la producción es distribuida fuera de la localidad; en un 25% la distribución de los productos se comparte entre la localidad origen y fuera de la misma; por último, el 12.5% mantiene una distribución total de la producción en el lugar de origen.

La seguridad alimentaria, reconoce que los sistemas productivos diversificados promueven el autoconsumo y la seguridad alimentaria, esto se debe en gran medida a que satisfacen las demandas de alimento de las poblaciones humanas de manera directa e indirecta, mediante otro tipo de producción, como la ganadería, que permiten obtener recursos alimenticios complementarios (Urquía-Fernández, 2014; Ruiz et al., 2016).

Los resultados mostraron que en un 87.5%, favorecen el autoconsumo directo por parte de los que manejan el sistema, y en solo 12.5% se registraron ambos tipos de autoconsumo (Figura 4-4).



**Figura 4-4 Valor acumulado de funciones para el ámbito económico por sistemas.**

### Ámbito social

La protección al patrimonio cultural, considera la preservación del conocimiento tradicional en el cultivo de la tierra; es decir, las técnicas agrícolas que la persona responsable del sistema posee y aplica (Ruiz et al., 2016).

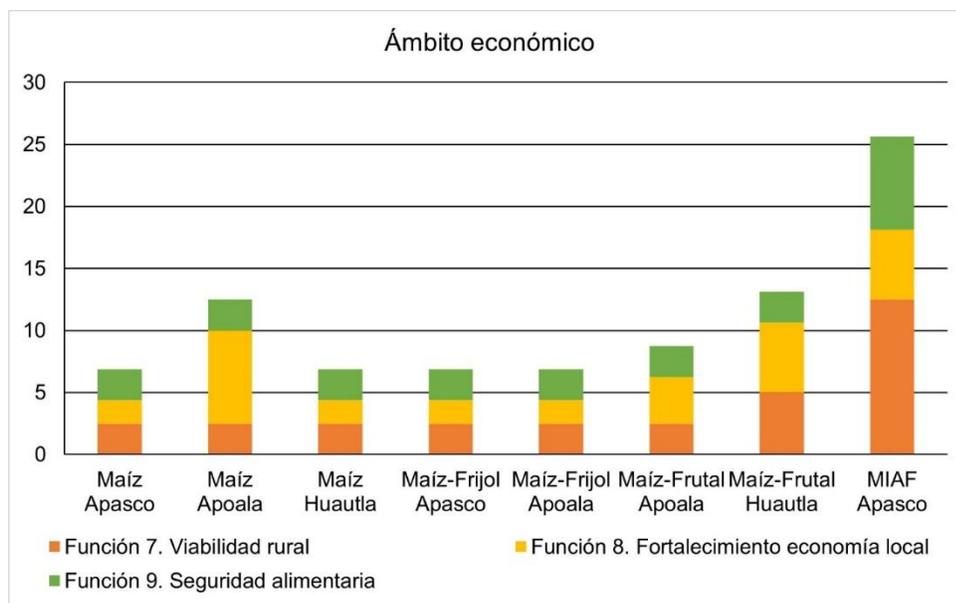
Los saberes campesinos están ligados a la realidad de las comunidades rurales que han permitido producir alimentos básicos para la subsistencia bajo diferentes condiciones. Los resultados reflejaron que el 62.5% de los sistemas suelen producir en ambientes adversos por temperatura y/o pendiente del terreno, el 50% usan diversos cultivos en el mismo tiempo y espacio.

Dos sistemas todavía hacen uso de plantas y/o animales silvestres de manera medicinal y, en un solo sistema se puede producir sin insumos químicos ni maquinaria, y se usan interdependencias ecológicas para prevenir plagas y enfermedades.

El arraigo territorial hace sentido a la pertenencia que tiene el productor con el lugar donde se desarrolla el sistema, la empatía y el aprecio serán mayores siempre que el terreno donde está el sistema sea propio, y dentro de la misma localidad de origen del productor. Para el presente estudio se registró el 100% como sistemas fueron manejados por productores dueños de los terrenos y que tiene residencia en la misma localidad.

Por último, la cohesión social distingue la existencia de una red de actores sociales (ejidos, asociaciones, etc.) que realizan trabajos en beneficio del pueblo y su campo. En esta función se considera la participación que tienen los encargados del manejo del sistema en las actividades sociales de la localidad.

Los resultados mostraron que todos los sistemas evaluados fueron desarrollados por productores que, si pertenecen a un grupo social, pero solo el 50% asisten a las reuniones y, el 25% son realizados por productores que sí participan con voz y voto (Figura 4-5).



**Figura 4-5 Valor acumulativo de funciones que conforman el ámbito social por sistema.**

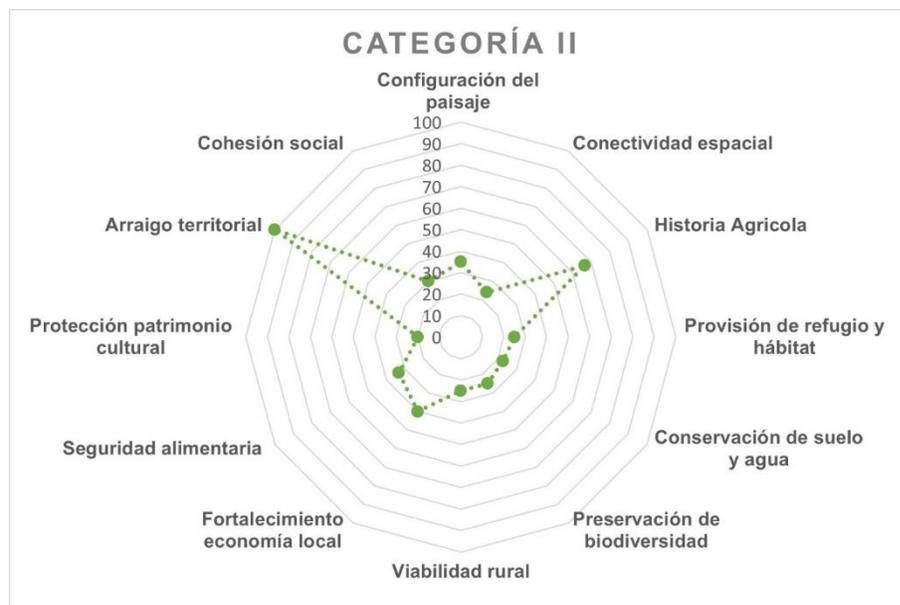
### Integración del IMSPA

Los resultados obtenidos por las evaluaciones de las funciones y el valor acumulado de cada uno de los ámbitos, mostraron que de las cinco categorías que maneja el IMSPA, la categoría I (Sistema con multifuncionalidad baja) y la categoría IV (Sistema con multifuncionalidad media alta) no fueron representadas en este análisis por algún sistema (Cuadro 4-4).

**Cuadro 4-4 Valores de integración del IMSPA.**

Sistema	Territorial (20)	Ambiental (30)	Económico (25)	Social (25)	IMSPA (0-100)	Categoría
Maíz Apasco	7.61	4.491	6.875	11.4375	30.4135	II
Maíz Apoala	7.61	7.491	12.5	11.4375	39.0385	II
Maíz Huautla	7.61	5.808	6.875	15.8125	36.1055	II
Maíz-Frijol Apasco	10.56	7.491	6.875	11.4375	36.3635	II
Maíz-Frijol Apoala	9.36	10.491	6.875	11.4375	38.1635	II
Maíz-Frutal Apoala	10.56	9.366	8.75	25.875	54.551	III
Maíz-Frutal Huautla	9.36	10.491	13.125	15.8125	48.7885	III
MIAF Apasco	14.65	19.665	25.625	27.625	87.565	V

Dentro de la categoría II (Sistemas con multifuncionalidad media baja), se encontraron los sistemas: Maíz Apasco, Maíz Apoala, Maíz Huautla, Maíz – Frijol Apasco y Maíz – Frijol Apoala, representando más del 50% de los sistemas dentro de esta categoría. Las funciones mejor representadas fueron las de los ámbitos territorial y social, en contraparte del ámbito ambiental y económico, lo cual se debe a que son sistemas que se desarrollan en lugares donde los productores son dueños de los terrenos y presentan continuidad por la agricultura convencional, manteniéndose estables en un mismo número de cultivos por cosecha (Figura 4-6).

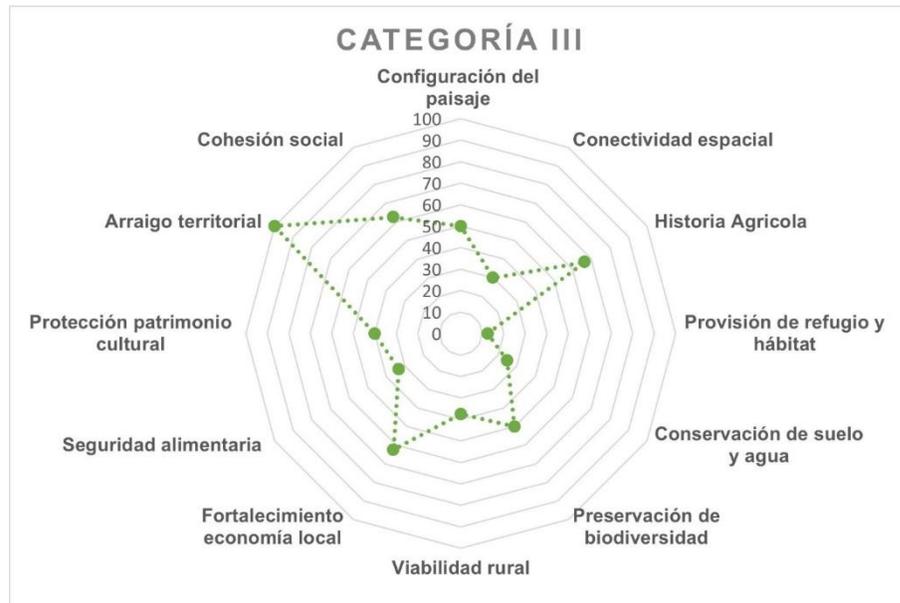


**Figura 4-6 Representación de los sistemas con multifuncionalidad media baja.**

La categoría III (Sistemas con multifuncionalidad intermedia) fue representada por los sistemas: Maíz – Frutal Apoala y, Maíz – Frutal Huautla, y obtuvieron un IMSPA de 54.551 y 48.7885 respectivamente.

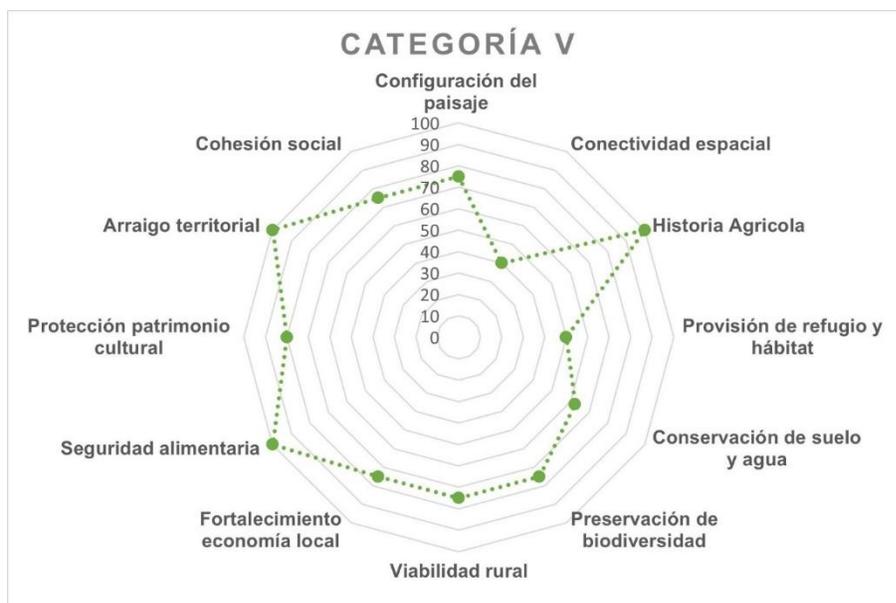
Se trata de una categoría donde los sistemas presentan vulnerabilidad ante la mejora o retroceso en cuanto a la producción de funciones; es necesario enfocar esfuerzos que permitan desarrollar actividades y estrategias con dirección a una mayor multifuncionalidad.

Los sistemas de esta categoría tuvieron un aporte en todas las funciones evaluadas, no obstante, en cada una de ellas se diferencian, de tal modo que se tiene un mayor aporte en las funciones del ámbito territorial, económico y social (Figura 4-7).



**Figura 4-7 Representación de los sistemas con multifuncionalidad intermedia.**

Por su parte, en la categoría V (Sistemas con multifuncionalidad alta) se concentró un solo sistema (MIAF Apasco), lo cual mostró que es el único sistema que está desarrollando de manera efectiva la realización de diversas funciones. La multifuncionalidad para este sistema no presenta equitatividad en todos los ámbitos, aunque si se percibe un aumento para las funciones del ámbito ambiental, el cual, en los demás sistemas evaluados no se observaba representado (Figura 4-8).



**Figura 4-8 Representación del sistema con multifuncionalidad alta.**

#### 4.6 Conclusiones

La multifuncionalidad en sistemas productivos de maíz resulta interesante para los productores y habitantes de estas comunidades; los productores juegan un papel importante en el desarrollo y desempeño de los sistemas, siendo la parte fundamental para la efectividad de estos; son la mano de obra principal y de ellos dependerá el éxito de producción multifuncional. El sistema MIAF Apasco es un ejemplo claro de como la dedicación de los productores puede transformar una práctica de agricultura convencional a algo más diversificado y multifuncional; es importante mencionar que se requiere de tiempo, dedicación, esfuerzo y mucha motivación para realmente hacer un cambio significativo.

La importancia de entender y atender la agricultura como una actividad multipropósito que es capaz de contribuir en la elaboración de esquemas que permiten mantener y mejorar el desarrollo rural. El desarrollo de una agricultura convencional a una multifuncional contribuye de manera positiva a los objetivos globales de la sustentabilidad.

El IMSPA como una herramienta de evaluación, entra al debate teórico-práctico de la multifuncionalidad de la agricultura; en el presente trabajo se destaca la importancia y la capacidad que tiene el IMSPA como una herramienta de análisis

de los sistemas productivos agrícolas al evaluar su grado de multifuncionalidad generada en un determinado espacio y tiempo. Es por ello que el índice en cuestión se puede emplear para monitorear la multifuncionalidad y favorecer a la toma de decisiones que tengan una repercusión en la sustentabilidad del campo agrícola.

#### 4.7 Agradecimientos

A los productores maíz de los municipios Santa María Apasco, Santiago Apoala y San Miguel Huautla que fueron muy amables con su participación, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo recibido.

#### 4.8 Referencias

Aragón, C. F., Taba, S., Hernández, C. J. M., Figueroa, C. J. D., Serrano, A. V., & Castro, G. F. H. (2006) *Catálogo de Maíces Criollos de Oaxaca*. INIFAP-SAGARPA.

Bonnal, P., Bosc, P. M., Díaz, J., & Losch, B. (2004). *Multifuncionalidad de la agricultura y nueva ruralidad: ¿reestructuración de las políticas públicas a la hora de la globalización?*. Pontificia Universidad Javeriana.

Callo-Concha, D., & Denich, M. (2014). A participatory framework to assess multifunctional land-use systems with multicriteria and multivariate analyses: A case study on agrobiodiversity of agroforestry systems in Tomé Açú, Brazil. *Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems*, 1.

Canavelli, S. B., & Zaccagnini, M. (2007). *Nuevos enfoques en el manejo de conflictos con fauna silvestre para una agricultura sustentable*. *Agricultura Sustentable en Entre Ríos*. Ediciones INTA.

Clemente-Orta, G., & Álvarez, H. A. (2019). La influencia del paisaje agrícola en el control biológico desde una perspectiva espacial. *Ecosistemas*, 28(3), 13-25. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1730>

Cotler-Ávalos, H., & Lazos-Chavero, E. (2019). La multifuncionalidad de agroecosistemas en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 16(4), 513-537.

Cuevas, V., Baca, J., Espejel, A., Barrera, A. & Sosa, M. (2015). Agricultura multifuncional y sistemas de producción bajo un contexto de agricultura diversificada. In M. Sámano, & J. Baca (Eds.), *Agricultura multifuncional y políticas públicas en México*. Universidad Autónoma de Chapingo.

Food and Agriculture Organization. (1999). *El carácter multifuncional de la agricultura y la tierra*. Documento para la Conferencia FAO/Países bajos sobre el carácter multifuncional de la agricultura y la Tierra.

Figueroa-Sandoval, B., Pimentel-López, J., Ugalde-Lezama, S., Figueroa-Rodríguez, O. L., Figueroa-Rodríguez, K. A., & Tarango-Arámbula, L. A. (2019). Aves en sistemas agrícolas con labranza de conservación en el centro-norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(22), 31-42. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1856>

Francesconi, W., & Montagnini, F. (2015). *Los SAF como estrategia para favorecer la conectividad funcional del paisaje fragmentado. Sistemas agroforestales—Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Editorial CIPAV

García, E., (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Serie Libros Instituto de Geografía.

Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K., & Solorzano-Quintana, M. (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 167-177. DOI: 10.18845/tm.v31i1.3506

Gómez-Limón, J. A., Picazo-Tadeo, A. J., & Martínez, E. R. (2008). Agricultura, desarrollo rural y sostenibilidad medioambiental. *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 61(1), 103-126.

Huylenbroeck, V. G., Vandermeulen, V., Mettepenningen, E., & Verspecht, A. (2007). Multifunctionality of agriculture: a review of definitions, evidence and instruments. *Living Reviews in Landscape Research*, 1(3), 1-43.

Ikova, J., & Todorova, S. (2014). *Problems of the specialization of production in the South Central Region*. Agricultural Economics and Management.

Lazos, C., E. (1995). La milpa en el sur de Yucatán: Dinámica y crisis. In E. Hernández-Xolocotzi, E. Bello & S. Levy (Eds.), *La milpa en Yucatán. Un sistema de producción agrícola tradicional, México*. Colegio de Postgraduados.

Nicholls, C. I., Henao, A., & Altieri, M. A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), 7-31.

Ruiz, S. S., Gerritsen, P. R., & Hernández, A. M. (2016). Evaluación de la multifuncionalidad de sistemas de producción agrícola en el sur de Jalisco, México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 16(31), 17-46.

Saborío, M. F. C. (2016). Agroforestería y biodiversidad: La importancia de los sistemas agroforestales en la conservación de especies. *Repertorio Científico*, 19(1), 1-4.

Salinas Moreno, Y., Aragón Cuevas, F., Ybarra Moncada, C., Aguilar Villarreal, J., Altunar López, B., & Sosa Montes, E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 23-31.

Solís-Castillo, B., Vázquez-Castro, G., García-Ayala, G., & Ortíz, M. A. (2018). Paisaje cultural y evidencias estratigráficas del antropoceno en la Mixteca Alta, Oaxaca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(1), 147-171.

Turrent, F. A., Cortés, F. J. I., Espinosa, C. A., Hernández, R. E., Camas, G. R., Torres, Z. J. P., & Zambada, M. A. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México?. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1169-1185.

Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*, 56(1), 92-98.

## **5 CAPITULO V. DIVERSIDAD AVIFAUNISTICA EN SISTEMAS DE MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES, MILPA CONVENCIONAL Y BOSQUE DE PINO-ENCINO EN LA MIXTECA ALTA DE OAXACA**

### **5.1 Resumen**

Se estimó la diversidad avifaunística en parcelas bajo el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), Milpa Convencional (MC) y remanentes de bosque de Pino-Encino (BPQ), en tres municipios de la Mixteca Alta de Oaxaca. Los datos se obtuvieron durante junio-2021 a mayo-2022, empleando de manera mixta: 1) Recuento en Puntos con Radio Fijo de 25 m y, 2) Búsqueda Intensiva. Se determinaron riqueza de especies, abundancia relativa, diversidad, similitud; empleando Jackknife1, índice de Abundancia Relativa (IAR), Shannon-Wiener, Jaccard, respectivamente. Pruebas de bondad de ajuste de  $\chi^2$  para detectar la proporción estadística de registro entre las especies de aves y sus individuos observados vs. esperados por el modelo y; Kruskal-Wallis para determinar posibles diferencias en los estimadores empleados entre condiciones. Se consultó el estatus de distribución y categorías de riesgo nacionales e internacionales. Se identificaron 59 especies en total, Jackknife exhibió el registró del 52.92% de la avifauna que potencialmente existe en la zona, para MIAF fue 28.9, MC 20 y BPQ 36.9%. La diversidad total promedio fue de  $H' = 3.68$  y para MIAF, MC y BPQ fue  $H' = 3.09, 2.75$  y  $3.14$  respectivamente. Jaccard mostro disimilitud del 38% entre MIAF, MC y BPQ. Kruskal-Wallis mostro diferencias significativas riqueza ( $p = 0.002$ ), abundancia ( $p = 0.0012$ ) y diversidad ( $p = 0.0001$ );  $\chi^2$  de abundancia ( $p = 0.1593$ ) y diversidad ( $p = 0.2124$ ) son los que teóricamente estuvieron presentes en el área de estudio, excepto la riqueza ( $p = 0.002$ ).

### **5.2 Introducción**

La diversidad de aves a nivel mundial se estima en 11 001 especies aproximadamente (Gill et al., 2023); de las cuales, 1 150 (Gill & Donsker, 2013)

habitan en los diferentes ecosistemas del territorio mexicano, lo que posiciona al país en el onceavo lugar entre los países megadiversos, de acuerdo con su riqueza avifaunística (Navarro-Sigüenza et al., 2014).

Particularmente, al suroeste de México se localiza el estado de Oaxaca, el cual, presenta una gran diversidad fisiográfica que define variaciones climáticas e incide directamente en la diversidad de flora y fauna (García-Mendoza, 2004, Llorente-Bousquets & Ocegueda, 2008; Cruz-Jácome et al., 2015). En el conocimiento de la riqueza avifaunística, el estado de Oaxaca ocupa el primer lugar a nivel nacional con 744 especies reportadas en colecciones científicas y por avistamientos confiables (Santos et al., 2013; Navarro-Sigüenza et al., 2014).

A pesar de esta gran riqueza, se presentan serios problemas para la conservación de las aves a consecuencia de factores antropogénicos y climáticos que destruyen y modifican sus hábitats (González-Pérez et al., 2004; Knudsen, 2011).

Los sistemas agroforestales (SAF) tradicionales de México expresan las formas de manejo, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales, además de proveer diferentes tipos de servicios ambientales (Narvárez et al., 2020). Entre estos, se encuentran el manejo y mantenimiento de la biodiversidad en paisajes con cierto grado de fragmentación, los cuales brindan hábitat y recursos a las aves silvestres para conectarse entre los paisajes formados por el hombre a través de los años (Beer et al., 2003; González-Valdivia et al., 2014). En comunidades rurales se pueden observar franjas de vegetación natural y árboles aislados en parcelas de uso agrícolas que forman micro paisajes y, mantienen una proporción de la riqueza avifaunística que se distribuye en las zonas forestales aledañas (Moreno-Calles & Casa, 2008; Tryjanowski et al., 2015).

Específicamente, la región Mixteca Alta de Oaxaca es una zona que presenta condiciones de alta montaña (Solís-Castillo et al., 2018), lo que permite el desarrollo de agricultura tanto convencional como multifuncional. Aunque esto implica invadir más las zonas boscosas aledañas, modificando la composición

del paisaje (Carrara et al., 2015) y por consecuente, la alteración de los patrones de diversidad avifaunística local (Carrara et al., 2015; Püttker et al., 2015).

Ante esto, resalta la importancia de utilizar los parámetros de diversidad avifaunística para evaluar impactos ecológicos de origen agrícola (Nájera & Simonetti, 2010; Jambari et al., 2012; Cajas-Castillo et al., 2015), debido a que las aves son un grupo de amplia distribución, susceptibles a la alteración de su hábitat y al bajo costo de su monitoreo en campo (Cajas-Castillo et al., 2015).

Bajo este contexto, el objetivo del presente estudio fue estimar los patrones de diversidad beta avifaunística en el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), Milpa Convencional (MC) y remanentes de Bosque de Pino-Encino (BPQ), que estos presentan en la Mixteca Alta de Oaxaca.

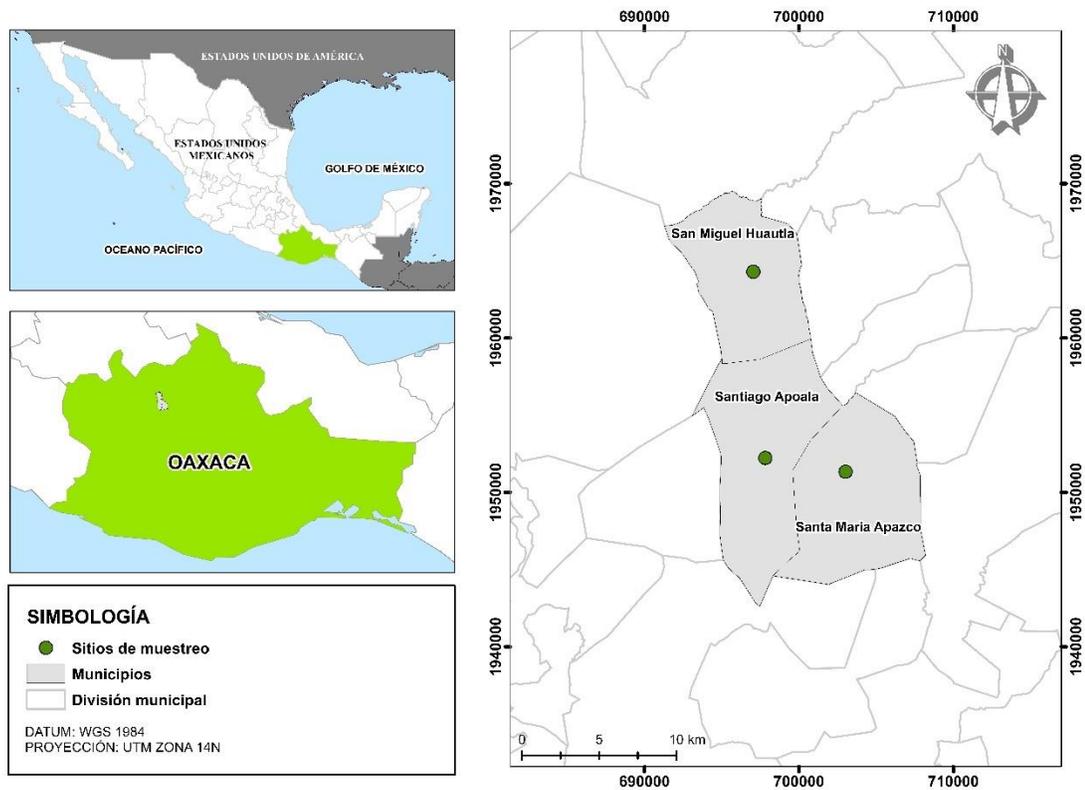
### **5.3 Materiales y métodos**

#### **5.3.1 Área de estudio y diseño de muestreo**

El área de estudio contemplo tres municipios localizados en la región Mixteca Alta de Oaxaca: 1) Santa María Apasco, 2) Santiago Apoala y, 3) San Miguel Huautla (Figura 5-1). En cada municipio se establecieron parcelas agrícolas de milpa, clasificándolas en dos grupos o sistemas A) Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF): se caracteriza por regirse bajo las normas establecidas para este tipo de sistema agrícola, donde, las bases del cultivo son el maíz, un frutal y otro cultivo de leguminosas y; B) Milpa Convencional (MC): se cultiva bajo las costumbres y tradiciones de los productores, puede ser maíz solo o con algún otro cultivo (frijol, aba o calabaza). También se consideró la vegetación natural cercana a las parcelas de maíz, identificando remanentes de Bosque de Pino-Encino (BPQ).

En cada parcela se establecieron sitios para el seguimiento y toma de variables, mediante un diseño de muestreo sistemático; ubicando unidades de elección (UEI) cada 0.5 ha para evitar pseudo replicas en los registros de las aves; es

decir con distancias entre cada uno de ellos mínimas de 250 m (Ralph et al., 1996).



**Figura 5-1 Localización de los sitios de muestreos en la región Mixteca Oaxaqueña.**

### 5.3.2 Seguimiento

El seguimiento de las aves se realizó de manera mensual durante junio de 2021 a mayo de 2022, dedicando un día para cada parcela; registrando en cada sitio de ellas, las variables consideradas durante un periodo de 10 min; dichos registros se realizaron en un horario entre 07:00 y 11:00 h periodo durante el cual las aves tienen un mayor rango de actividad y; de 16:00 a 20:00 h para complementar las observaciones. Para el seguimiento de las aves se emplearon dos metodologías de forma mixta: 1) Recuento en Puntos con Radio Fijo (RPRF) de 25 m y 2) Búsqueda Intensiva (BI). Se utilizaron de manera complementaria para reducir el sesgo por la poca o escasa identificación auditiva; particularmente en aquellas aves con comportamiento quieto, conspicuo y silencioso (Ralph et al.

1996). Los avistamientos de las aves se realizaron con binoculares de 8 x 42 mm (Bushnell visión en H<sub>2</sub>O). La identificación taxonómica de los ejemplares en campo se realizó empleando guías ornitológicas estándar (Peterson & Chalif 1989; Dunn, 2017); para la actualización de su nomenclatura taxonómica se empleó la American Ornithological Society (AOS; Chesser et al. 2023); su estado de conservación nacional, con la NOM-059-2010 (Semarnat, 2010) e internacional con la Lista Roja (IUCN, 2023); por último, su estatus de distribución anual en la base de datos de la CONABIO (2023).

### 5.3.3 Análisis

Para analizar la riqueza específica de especies se utilizó el estimador no paramétrico de Jackknife de primer orden (Moreno, 2001), es un método que no asume el tipo de distribución en el conjunto de datos y no es ajustado a un determinado modelo, por tanto, solo requiere datos de presencia-ausencia (Colwell & Coddington, 1994; Palmer, 1990; Zou et al., 2023). La ecuación que describe al estimador de Jackknife de Primer Orden es (Burnhan & Overton, 1978):

$$S_{jack1} = S_{obs} + L(n - 1/n)$$

Donde:

S<sub>obs</sub>=número total de especies observadas

L= Número de especies que ocurren solamente en una muestra

n = Número de muestras

Se obtuvieron curvas de rarefacción para contrastar gráficamente los valores observados vs. los esperados por el modelo, con ello, se calculó la proporción promedio de registro de las especies que potencialmente ocurren en cada condición evaluada (MIAF, MC y BPQ).

La abundancia relativa se estimó mediante el índice del mismo nombre (IAR); ésta se obtuvo al dividir el número de individuos de cada especie entre el número total de individuos de todas las especies, referido a la superficie neta de muestreo de cada sitio en cada condición, el cual fue de 0.5 ha.

La diversidad se estimó con el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) usando los datos de presencia-ausencia registrados en cada condición (Magurran, 2004; Omayio et al., 2019). La ecuación que describe al estimador fue:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde:

$p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra

La disimilitud se determinó con el estimador de Jaccard, esto, por su confiabilidad al analizar datos de presencia-ausencia (Bojorges-Baños, 2011). La ecuación que describe al índice fue:

$$J_{ij} = \frac{C}{S1 + S2 + S3} - C$$

Donde:

S1 = No. de especies presentes del sitio 1

S2 = No. de especies presentes del sitio 2

S3 = No. de especies presentes del sitio 3

C = No. de especies presentes en los tres sitios

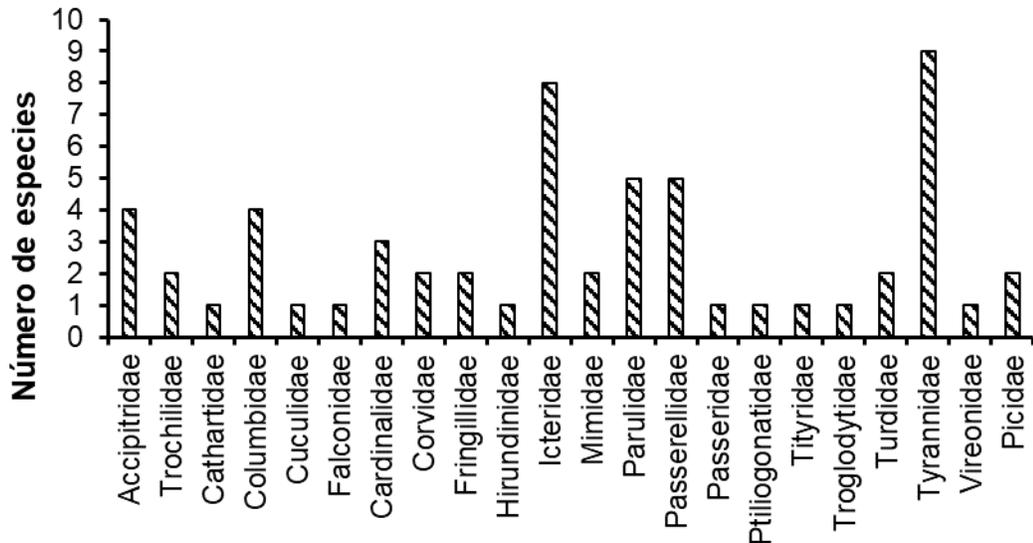
Para detectar la proporción estadística de registro entre las especies de aves y sus individuos observados vs. esperados por el modelo se utilizó pruebas de bondad de ajuste de  $\chi^2$ .

Para determinar si existieron posibles diferencias significativas entre los estimadores empleados entre condiciones se utilizó análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis (Zar, 1996, Gou et al., 2013), esto debido a que no se cumplió con los supuestos de normalidad y homogeneidad en las varianzas.

Dichos estimadores se realizaron mediante Estimates v.9.1.0 (Colwell, 2013); sus representaciones gráficas con Excel v.2310 (Microsoft, 2023). Los análisis estadísticos se ejecutaron en JMP IN v.14.0.1. En todos los casos de análisis se consideró un  $\alpha = 0.05$ .

## 5.4 Resultados y discusiones

Se identificaron 59 especies de aves, pertenecientes a ocho órdenes y 22 familias (Figura 5.2). De éstas, 35 se registraron en Apasco, 39 en Apoala y 31 en Huautla. Dentro de los sistemas MIAF, MC y BPQ, se registraron 29, 20 y 37 especies, respectivamente.



**Figura 5-2 Especies registradas por familia en la Sierra Mixteca Alta de Oaxaca.**

El ensamblaje de aves registrado representa el 5.1% de la avifauna nacional (1 150; Gill & Donsker, 2013), el 8% para el estado de Oaxaca (Navarro et al., 2004; Ramírez-Julián et al., 2011; Santos et al., 2013) y, el 40% reportada para el Área de Importancia para la Conservación de las Aves Valle de Tehuacán-Cuicatlán (AICA; Arizmendi & Márquez, 2000; Flores-Armillas et al., 2020).

De acuerdo con su distribución, 42 especies son nativas, 15 endémicas, dos exóticas-invasoras y; el 100% son de ambiente terrestre. El Halcón peregrino (*Falco peregrinus*) se encuentra en el Apéndice I, seis en Apéndice II; tres sujetas a protección especial (Pr); 58 en Preocupación menor (LC; Cuadro 5-1).

**Cuadro 5-1 Aves registradas en el área de estudio para las condiciones MIAF, MC y BPQ en los municipios de Santa María Apasco, Santiago Apoala y, San Miguel Huautla; en la región Mixteca Alta de Oaxaca.**

Orden	Familia	Especie	Nombre común	Distribución	CITES (Apéndice)	NOM-059	IUCN	Apasco	Apoala	Huautla	MIAF	MC	BPQ	
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilán de Cooper	N	II	Pr	LC		x	x			x	
		<i>Buteo brachyurus</i>	Aguililla Cola Corta	N	II	SS	LC	x						x
		<i>Buteo plagiatus</i>	Aguililla Gris	N	II	SS	LC		x					x
Apodiformes	Trochilidae	<i>Rupornis magnirostris</i>	Aguililla Caminera	N	II	SS	LC		x				x	
		<i>Archilochus colubris</i>	Colibrí Garganta Rubí	N	II	SS	LC	x						x
		<i>Lampornis clemenciae</i>	Colibrí Garganta Azul	N	II	SS	LC		x					x
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote Aura	E	SS	SS	LC		x	x		x		
Columbiformes	Columbidae	<i>Columba livia</i>	Paloma Doméstica	Ex, I	SS	SS	LC	x		x	x	x		
		<i>Columbina inca</i>	Tortolita Cola Larga	E	SS	SS	LC	x	x	x	x	x		
		<i>Columbina passerina</i>	Tortolita Pico Rojo	E	SS	SS	LC	x		x			x	
		<i>Zenaida macroura</i>	Huilota Común	N	SS	SS	LC	x	x	x	x	x		
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero Pijuy	N	SS	SS	LC		x	x		x	x	
Falconiformes	Falconidae	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón Peregrino	N	I	Pr	LC		x				x	
		<i>Passerina caerulea</i>	Picogordo Azul	N	SS	SS	LC		x		x	x		
Passeriformes	Cardinalidae	<i>Pheucticus melanocephalus</i>	Picogordo Tigrillo	N	SS	SS	LC	x			x			
		<i>Piranga ludoviciana</i>	Piranga Capucha Roja	N	SS	SS	LC		x		x		x	
	Corvidae	<i>Aphelocoma ultramarina</i>	Chara de Collar	N	SS	SS	SS		x				x	
		<i>Cyanocitta stelleri</i>	Chara Copetona	N	SS	SS	LC	x	x	x	x			x
	Fringillidae	<i>Haemorhous mexicanus</i>	Pinzón Mexicano	N	SS	SS	LC	x	x	x	x	x		
		<i>Spinus psaltria</i>	Jilguerito Dominicó	N	SS	SS	LC		x				x	



<i>Troglodytidae</i>	<i>Troglodytes aedon</i>	Saltapared Común	E	SS	SS	LC	x		X		x	
<i>Turdidae</i>	<i>Turdus migratorius</i>	Mirlo Primavera	N	SS	SS	LC	x	x	x	x	x	
	<i>Turdus rufopalliatus</i>	Mirlo Dorso Canela	E	SS	SS	LC	x	x		x	x	
	<i>Empidonax minimus</i>	Papamoscas Chico	N	SS	SS	LC	x				x	
	<i>Myiarchus nuttingi</i>	Papamoscas Huí	N	SS	SS	LC			x		x	
	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Papamoscas Cardenalito	N	SS	SS	LC	x	x	x	x	x	
	<i>Sayornis nigricans</i>	Papamoscas Negro	N	SS	SS	LC	x		x		x	
<i>Tyrannidae</i>	<i>Tyrannus crassirostris</i>	Tirano Pico Grueso	E	SS	SS	LC		x	x	x	x	
	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tirano Pirirí	E	SS	SS	LC	x			x		
	<i>Tyrannus verticalis</i>	Tirano Pálido	E	SS	SS	LC			x		x	
	<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano Chibiú	E	SS	SS	LC	x	x		x	x	
	<i>Xenotriccus mexicanus</i>	Mosquerito del Balsas	E	SS	Pr	LC		x			x	
<i>Vireonidae</i>	<i>Vireo gilvus</i>	Vireo Gorjeador	E	SS	SS	LC			x		x	
<i>Piciformes</i>	<i>Picidae</i>	<i>Dryobates scalaris</i>	Carpintero Mexicano	N	SS	SS	LC	x	x	x		x
		<i>Melanerpes formicivorus</i>	Carpintero Bellotero	N	SS	SS	LC	x	x		x	x

**Nota:** E=Endémica; N=Nativa; Ex=Exótica; I=Invasiva; Pr=Sujetas a Protección especial; LC=Preocupación menor.

La presencia de especies endémicas en la Mixteca Alta de Oaxaca se debe en gran medida a que el área bajo estudio forma parte de la reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (Farías et al., 2016); la cual, de acuerdo con Vázquez et al. (2009) es considerada de gran importancia biológica para la conservación de este grupo taxonómico, en esta región particular de los estados de Oaxaca y Puebla.

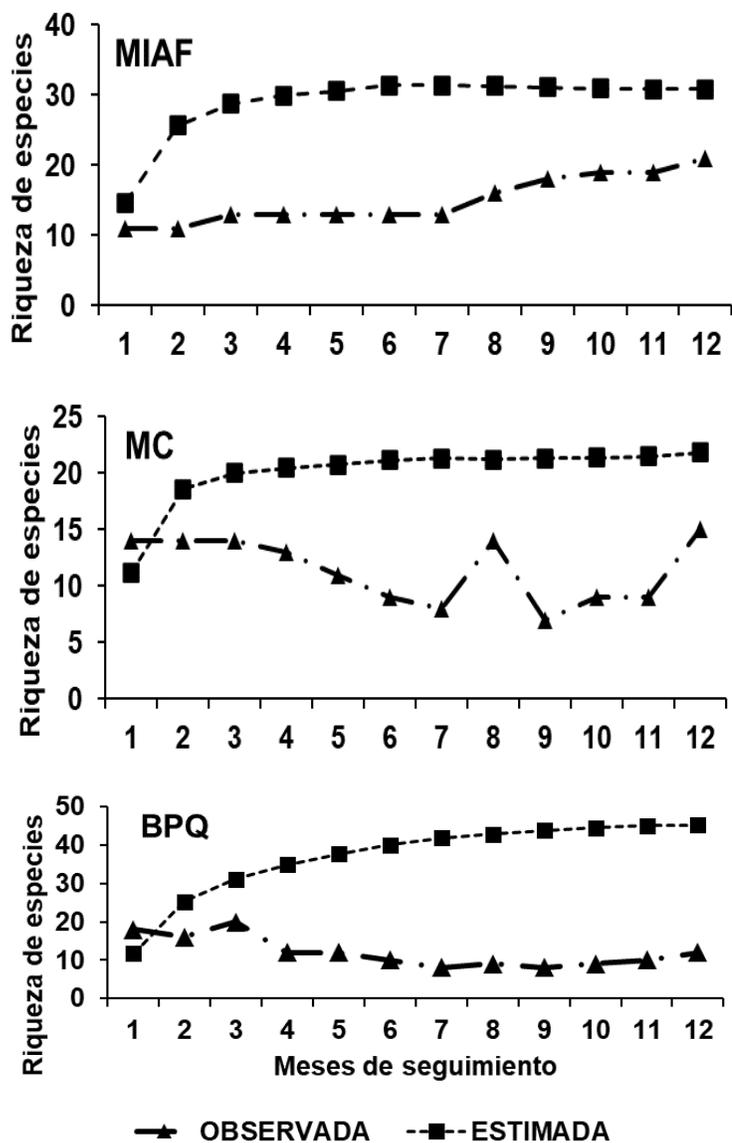
De las especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, *Accipiter cooperii* y *F. peregrinus* son aves rapaces, migratorias, de amplia distribución (Chesser et al., 2023); de acuerdo con Forcey (2001), para *A. cooperii* existen registros de poblaciones reproductoras en bosques de Pino-Encino, zonas urbanas y rurales del estado de Oaxaca; mientras que para *F. peregrinus*, sus primeros registros fueron en primavera y otoño, en zonas urbanas del estado (Grosselet, 2001). Por su parte, *Xenotriccus mexicanus* perteneciente a la familia *Tyrannidae* (Chesser et al., 2023); es otra de las especies endémicas registradas para el sureste del país y se ha reportado en matorrales de montaña, bosques espinosos, bosques de encino, áreas semiabiertas y pastizales (Arismendi & Márquez, 2000); particularmente sobre el área de influencia de la cuenca del río Balsas, reconocida como una de las principales áreas de endemismos de aves en el mundo (Stattersfield et al., 1998; Vázquez et al., 2009). A diferencia de los autores antes mencionados, nuestras observaciones fueron dentro y fuera de las parcelas del sistema MIAF, siendo el primer registro para este tipo de sistemas multifuncionales; lo que destaca la importancia de estos sistemas y sus componentes como proveedores de condiciones para el mantenimiento de especies de aves con características particulares (número reducido de individuos, especialistas y de hábitats restringidos) en la Mixteca Alta de Oaxaca.

De acuerdo con el estimador de Jackknife<sup>1</sup>, se registró el 52.92% total de la riqueza de especies promedio que potencialmente incide en el área de estudio; por otro lado, se reportó el 28.9, 20 y 36.9% para MIAF, MC, BPQ, respectivamente (Cuadro 5-2).

**Cuadro 5-2 Riqueza de especies promedio estimada por Jackknife1 para MIAF, MC, BPQ y Total.**

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>Especies observadas</b>	<b>Jackknife1 (promedio)</b>
<b>Total</b>	59	52.9 %
<b>MIAF</b>	29	28.9 %
<b>MC</b>	20	20 %
<b>BPQ</b>	37	36.9 %

Las curvas de rarefacción de especies mostraron gráficamente una menor proporción de registro en MC, misma que pudo estar relacionada a los periodos de cosecha durante el año (Figura 5-3).



**Figura 5-3 Curvas de rarefacción de especies estimadas y observadas en los sistemas MIAF, MC y BPQ del área de estudio.**

Los niveles de riqueza que presentan áreas pequeñas como las parcelas de MIAF y MC, son el resultado de la heterogeneidad en mosaicos de Bosque-Agroforestería (Fernández-Badillo & Goyenechea-Mayer, 2010; González-Valdivia et al., 2012), los cuales, pueden soportar una gran riqueza avifaunística. De acuerdo con Santos et al. (2013) existen especies de aves con hábitos generalistas, tolerantes a perturbaciones y endémicas en el hábitat; mismas que se distribuyeron en las parcelas MIAF y BPQ bajo análisis, lo cual sugiere la

relevancia de los sistemas MIAF en la dinámica de los ensamblajes de aves que hacen uso de estas y de los remanentes de bosque; alojando, de igual forma, a individuos de especies generalistas, en categoría de riesgo y endémicas que son desplazadas y segregadas por ensamblajes altamente competitivos en BPQ; encontrando en el MIAF un sitio que les permite llevar a cabo su dinámica poblacional y supervivencia coexistiendo en dichos sistemas, por lo que queda patente como estos disminuyeron las interacciones ecológicas negativas en esta provincia de la Mixteca Alta de Oaxaca.

Aunado a ello, las áreas de agricultura multifuncional pueden albergar una riqueza sustancial de aves siempre y cuando éstas conserven vegetación arbórea (Cerezo et al., 2009; MacGregor-Fors & Schondube, 2011). La presencia del estrato arbóreo jugó un papel importante en el área de estudio, en las parcelas de MIAF se presentan hileras de frutales que brindaron refugio, zonas de descanso y percha para las aves, por su parte, las parcelas de MC presentaron estructuras arbóreas en las orillas de los terrenos como barreras o colindancias, que, a su vez, funcionaron como estructuras para la construcción de nidos, canto y vocalizaciones que inciten a la reproducción de las aves.

Santos et al. (2013) mencionan que la riqueza avifaunística en parcelas de agricultura se debe a la presencia de zonas de transición de vegetación natural. Esto permite albergar mayor número de especies, originando un efecto de borde entre dos ecosistemas adyacentes que disponen recursos alimenticios para las aves (Calixto et al., 2008; Medina-Macías et al., 2010). En la Mixteca Oaxaqueña, región de montaña (Solís-Castillo et al., 2018) las parcelas MIAF generalmente están colindantes con remanentes de vegetación natural, por lo que éstas son importantes ya que permiten la interconectividad entre parches de vegetación natural, promoviendo el intercambio genético entre poblaciones, regulando su dinámica; particularmente de especies endémicas y/o en categoría de riesgo para esta zona particular de México.

El IAR mostró que la especie más abundante en el MIAF fue *Quiscalus mexicanus* (Zanate mayor), seguida de *Pyrocephalus rubinus* (Papamoscas

cardenalito) y *Passer domesticus* (Gorrión doméstico); para MC fueron *Passer domesticus*, *Zenaida macroura* (Huilota común) y; en BPQ, fue *Ptiliogonys cinereus* (Capulínero gris), *Aphelocoma ultramarina* (Chara de collar) (Figura 5-4). Nuestros resultados sugieren que el ensamblaje registrado en los sistemas MIAF en término de las abundancias está dominado por especies flexibles y generalistas en la utilización del hábitat; sin embargo, los individuos de este tipo de especies parecen responder a las interacciones negativas que establecen en BPQ con sus similares, en las cuales resultan segregados hacia dichos sistemas en los que se establecen en números poblacionales que permiten su coexistencia con la especies de interés para la conservación, tales como aquellas que se encuentran en categoría de riesgo y/o son endémicas.

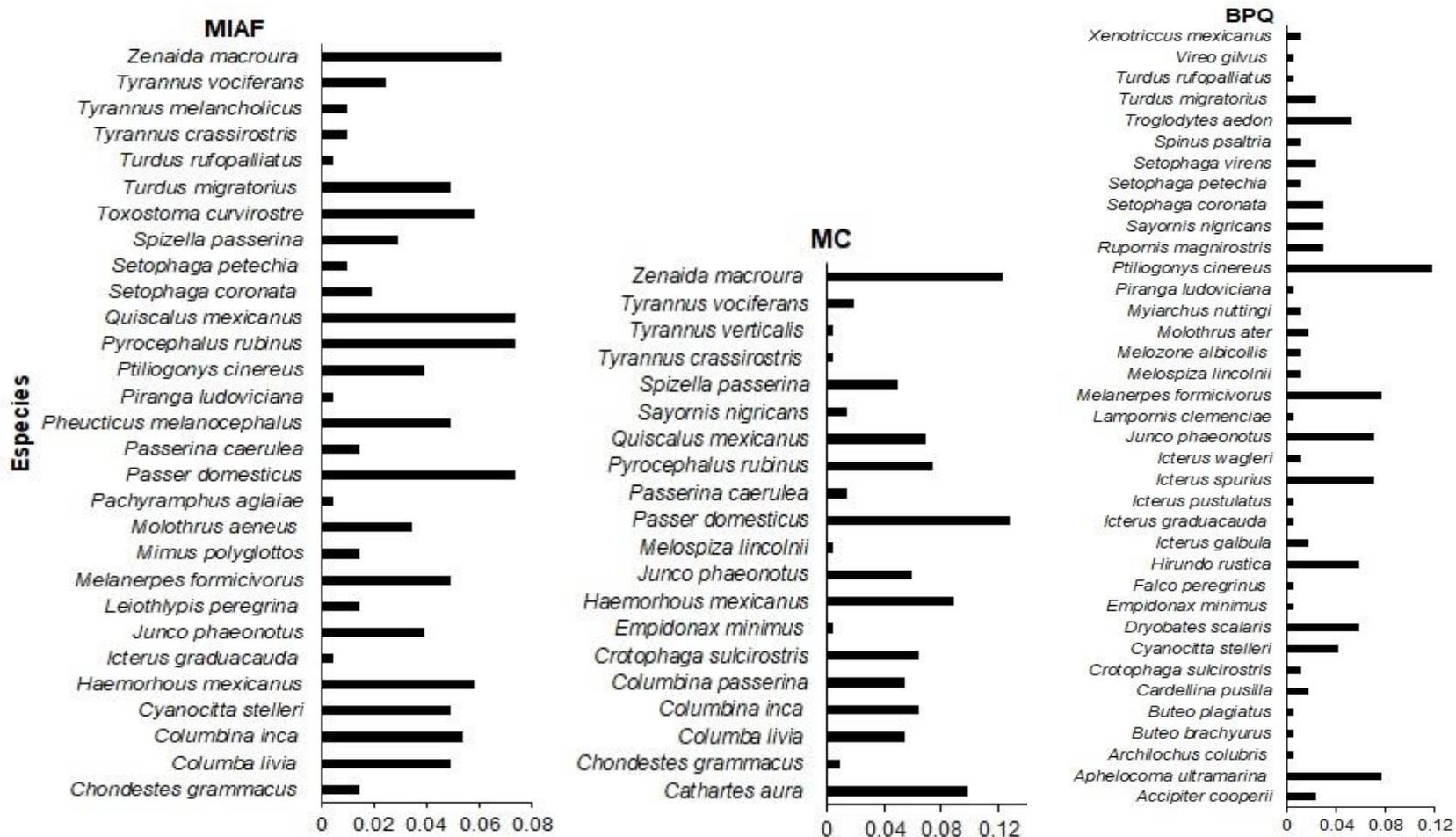


Figura 5-4 Abundancia relativa por especie en los sistemas bajo evaluación.

De acuerdo con el estimador de diversidad ( $H'$ ) el Bosque de Pino-Encino tuvo el valor más alto con un  $H'=3.14$ , mientras que para los sistemas MIAF y MC fue de  $H' = 3.09$  y  $2.75$  respectivamente. Estos resultados mostraron una diversidad relativamente alta en los sistemas evaluados, lo cual sustenta el postulado de Connell (1978) en su hipótesis del disturbio intermedio, en el que menciona que sitios con mediano grado de perturbación, favorecen el incremento en la riqueza y diversidad, particularmente de especies generalistas y algunas especialistas (Ugalde-Lezama et al., 2022). Sin embargo, la tendencias registradas en la presente evidencian los primeros reportes en torno a dichos comportamientos en sistemas MIAF para esta región particular de México; en los cuales, la avifauna logra encontrar los recursos necesarios para su supervivencia en términos de sustratos y composición florística que les permite utilizar el plano vertical y horizontal adecuadamente, disminuyendo las interacciones negativas con las especies oportunistas en dichos sistemas, permitiendo su simpatria ecológica.

Los resultados del estimador de Jaccard mostraron una disimilitud de 0.38, 0.48, 0.53 y 0.29; Total, MIAF, MC y BPQ, respectivamente. Lo cual da constancia de que, aunque los valores de diversidad son altos; específicamente en BPQ, la equidad y la uniformidad de los ensamblajes de aves registrados en las condiciones bajo estudio son diferenciales en cuanto a estructura y composición de especies; tal como lo sugiere algunos estudios (Chávez-Villavicencio, 2017; Pulido et al., 2020).

Las tendencias reportadas en Kruskal-Wallis mostraron que existen diferencias significativas en la riqueza ( $p = 0.002$ ), abundancia ( $p = 0.0012$ ) y diversidad ( $p = 0.0001$ ) registrada; por su parte,  $\chi^2$  evidenció que la abundancia ( $p = 0.1593$ ) y diversidad ( $p = 0.2124$ ) son los que teóricamente estuvieron presentes en el área de estudio, no así para la riqueza registrada ( $p = 0.002$ ). Dichas diferencias pudieron estar marcadas por los registros avifaunísticos en BPQ en relación con el MIAF y MC; debido a que comparten cierto número de especies. Dichas similitudes en las especies compartidas parecieron estar asociadas a la cercanía

que tienen los sistemas MIAF y MC con respecto con BPQ, ya que en esta región parecen funcionar como zonas de efecto de borde, por lo que son importantes debido a que proporcionan recursos valiosos para las aves, como alimento, anidación, refugio y facilitan el movimiento entre fragmentos ecosistémicos; tal como lo sugieren algunos estudios (Sekercioglu, 2009; MacGregor-Fors & Schondube, 2011; Lavariega et al., 2020).

Además, la combinación MIAF, MC y BPQ conforman sustratos con árboles maderables y frutales, otorgando variadas fuentes de alimento por la presencia de insectos y frutas (Lentijo & Botero, 2003; Maya-Girón et al., 2023). Es importante resaltar que las aves pueden proporcionar servicios importantes como el control de plagas insectívoras (Karp et al., 2013), dispersar semillas, polinización, entre otros; por lo que estos sistemas parecen ser importantes en la dinámica del bosque, al mantener especies clave en su dispersión y propagación vegetativa tal como lo sugieren el estudio realizado por Sekercioglu et al. (2016). Por tanto, Sommer et al. (2018) sugieren alternativas multifuncionales (Sistemas Agroforestales, SAF) como medios de producción sostenible que coadyuvan a la conservación de las aves, ofreciendo nichos de oportunidad para estos organismos. El MIAF con sus diferentes componentes y su cercanía a remanentes de vegetación natural, cumple como alternativa multifuncional para la producción agrícola y a su vez, en la conservación de la biodiversidad y sus hábitats. Aunado a ello, la carencia de estudios, particularmente en sistemas MIAF, evidencia la relevancia de la presente, ya que da cuenta de los beneficios que proveen las condiciones evaluadas a la biodiversidad local; específicamente a la avifauna regional; particularmente en sistemas agroforestales con estructuras arbóreas y frutícolas. Borkhataria et al. (2006) y Karp y Daily (2014) encontraron que las aves en Sistemas Agroforestales de café tienen efectos positivos en el control de plagas insectívoras; de igual manera, las aves en huertos de manzanas causan pocos daños directos (Mangan et al., 2017) y logran proporcionar servicios de control de plagas con beneficios económicos para los productores (Peisley et al., 2016). En contraste, la diversidad de aves en monocultivos y cultivos anuales mostraron resultados mixtos, con efectos netos

que tienden a ser neutrales; tendientes a negativos (Borkhataria et al., 2012; Grass et al., 2017 ); lo que evidencia aún más la necesidad e importancia que tiene la diversificación productiva y cambio de paradigma hacia sistemas de producción compatibles con los procesos ecológicos que periten manteniendo de la biodiversidad, especialmente avifaunística; tal como lo sugieren los resultados en la presente.

## **5.5 Conclusiones**

Se lograron estimar los patrones de diversidad beta en los sistemas MIAF, MC y BPQ, presentes en la región Mixteca Alta de Oaxaca. Nuestro estudio demuestra que BPQ sigue manteniendo su rol en materia de conservación de biodiversidad; sin embargo, evidencia la importancia que tienen actualmente los sistemas MIAF y MC como coadyuvantes en la conservación de especies avifaunísticas, especialmente de aquellas en categoría de riesgo y endémicas. En el presente se generó por primera vez, para esta región particular de México, conocimiento básico (cualitativo y cuantitativo) sobre la ecología de las comunidades de aves en sistemas agroforestales inmersos en bosque templado de Pino-Encino. Sienta bases sólidas para futuras investigaciones y la toma de decisiones en el corto, mediano y largo plazo. Para ello, es recomendable incrementar el esfuerzo de muestreo en futuros estudios, mismos que deberán considerar fenómenos ecológicos adicionales sobre la dinámica de aves en dichos sistemas, así como los beneficios que éstas brindan de manera directa e indirecta a los productores de MIAF y MC.

## **5.6 Agradecimientos**

A los productores en cada uno de los municipios y parcelas intervenidos que nos permitieron y facilitaron el acceso, por el apoyo en la identificación de especies de aves mediante nombres comunes. Al M.C. Claudio Romero Díaz por el apoyo brindado durante los análisis estadísticos.

## 5.7 Literatura citada

Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J. M., Somarriba, E., & Jiménez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-38), 80-87.

Bojorges-Baños, J. C. (2011). Riqueza y diversidad de especies de aves asociadas a manglar en tres sistemas lagunares en la región costera de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(1), 205-215.

Borkhataria, R. R., Collazo, J., & Groom, M. J. (2006). Additive effects of vertebrate predators on insects in a Puerto Rican coffee plantation. *Ecological Applications* 16(2), 696–703.

Borkhataria, R. R., Nuessly, G. S., Pearlstine, E., & Cherry, R. H. (2012). Effects of blackbirds (*Agelaius phoenicius*) on stink bug (*Hemiptera: Pentatomidae*) populations, damage, and yield in Florida rice. *Florida Entomologist*, 95(1), 143–149.

Burnham, K. P., & Overton, W. S. (1978). Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals. *Biometrika*, 65(3), 623-633. <https://doi.org/10.1093/biomet/65.3.625>

Cajas-Castillo, J. O., Cobar-Carranza, A. J., Ávila-Santa, R. C., Kraker-Castañeda, C., & Quiñónez-Guzmán, J. (2015). Diversidad de aves de sotobosque en bosques tropicales, áreas de regeneración natural y cultivos de palma africana en humedales del Lago de Izabal, Guatemala. *Ornitología neotropical*, 26(1), 1-12.

Calixto, F. R., Herrera, R. L., & Hernández, G. V. D. (2008). *Ecología y medio ambiente*. (2nd ed). Cengage Learning.

Carrara, E., Arroyo-Rodríguez, V., Vega-Rivera, J. H., Schondube, J. E., de Freitas, S. M., & Fahrig, L. (2015). Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico. *Biological Conservation*, 184(1), 117-126. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.014>

Cerezo, A., Robbins, C. S., & Dowell, B. (2009). Uso de hábitats modificados por aves dependientes de bosque tropical en la región caribeña de Guatemala. *Revista de Biología Tropical*, 57(1-2), 401-419.

Chávez-Villavicencio, C. L. (2017). Diversidad alfa y beta de las aves terrestres en ecosistemas no urbanizado y urbanizado de La Herradura (Coquimbo-Chile). *The Biologist*, 15(2), 329-336.

Chesser, R. T., Billerman, S. M., Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Hernández-Baños, B. E., Jiménez, R. A., Kratter, A. W., Mason, N. A., Rasmussen, P. C., Remsen, J. V., & Winker, K. (2023). Sixty-fourth Supplement to the American Ornithological Society's Check-list of North American Birds. *Ornithology*, 140(3), 1-11.

Colwell, R. K. (2013). *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 9.1.0 Department of Ecology and Evolutionary Biology.

Colwell, R. K., & Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B*, 345(1), 101-118.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2023). *Biodiversidad mexicana. Especies endémicas*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/endemicas>

Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199(4335), 1302-1310.

Dunn, J. L. (2017). *Field guide to the birds of North America*. National Geographic Books.

Farías, V., Hernández, O., Arizmendi, M. D. C., Téllez, O., Botello, F., Olivares, S. J., & Correa, M. (2016). Registro notable de águila real (*Aquila chrysaetos*) en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1153-1158.

Fernández-Badillo, L., & Goyenechea-Mayer, I. (2010). Anfibios y reptiles del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(3), 705-712.

Flores-Armillas, V. H., López-Medellín, X., García Barrios, R., MacGregor-Fors, I., & Valenzuela-Galván, D. (2020). Landscape features associated with damage to maize (*Zea mays*) fields in Central México: a comparison of wind and wildlife damage. *Agriculture*, 10(10), 460-475. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100460>

Forcey, J. M. (2001). Breeding of Cooper's Hawk (*Accipiter cooperii*) in Oaxaca, Mexico. *Huitzil. Revista Mexicana de Ornitología*, 2(2), 21-23.

García-Mendoza, A. J. (2004). Integración del conocimiento florístico del estado. A.J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez, M. Briones Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca*, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Found.

Gill, F., Donsker, D. & Rasmussen, P. (Eds.). (2023). *IOC World Bird List (v13.2)*. doi:10.14344/IOC.ML.13.2.

Gill, F. & Donsker, D. (Eds.). (2013). *IOC World Bird Names (version 3.4)*. <http://www.worldbirdnames.org/>

González-Valdivia, N. A.; Arriaga-Weiss, S. L.; Ochoa-Gaona, S.; Ferguson, B. G.; Kampichler, C. & Pozo, C. (2012). Ensamblajes de aves diurnas a través de un gradiente de perturbación en un paisaje en el sureste de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 28(2), 237-269.

González-Valdivia, N., Barba-Macías, E., Hernández-Daumás, S., & Ochoa-Gaona, S. (2014). Avifauna en sistemas silvopastoriles en el Corredor Biológico

Mesoamericano, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 62(3), 1031-1052.

Guo, S., Zhong, S., & Zhang, A. (2013). Privacy-preserving kruskal–wallis test. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 112(1), 135-145.

Grass I, Lehmann K, Thies C, Tschardt T. (2017). Insectivorous birds disrupt biological control of cereal aphids. *Ecology*, 98(6), 1583–1590.

Grosselet, M. (2001). Presencia de *Falco peregrinus* en Oaxaca, México, a finales de la primavera. *Huitzil. Revista Mexicana de Ornitología*, 2(1), 1-2.

International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2023). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2022-2. <https://www.iucnredlist.org>

Jambari, A., Azhar, B., Ibrahim, N., Jamian, S., Hussin, A., Puan, C., Noor, H., Yusof, E., & Zakaria. (2012). Avian biodiversity and conservation in Malaysian oil palm production areas. *Journal Oil Palm Research*, 24(1), 1277–1286.

Karp, D. S., & Daily, G. C. (2014). Cascading effects of insectivorous birds and bats in tropical coffee plantations. *Ecology*, 95(4), 1065–1074.

Karp, D. S., Mendenhall, C. D., Figueroa, S. R, Chaumont, N., Ehrlich, P. R., Hadly, E. A., & Daily, G. C. (2013). Forest bolsters bird abundance, pest control and coffee yield. *Ecology Letters*, 16(1), 1339–1347.

Knudsen, E., Lindén, A., Both, C., Jonzén, N., Pulido, F., Saino, N., ... & Stenseth, N. C. (2011). Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. *Biological Reviews*, 86(4), 928-946.

Lavariega, M. C., Briones-Salas, M., Monroy-Gamboa, A. G., Herrera-Arenas, O., & Rubio-Espinoza, M. (2020). Riqueza y conservación de las aves del suroeste de Oaxaca. *Huitzil*, 21(2), 1-19.

Lentijo, G. & Botero, J. (2003). *Caracterización de la avifauna en dos municipios de la zona Cafetera central del departamento de Caldas*. Programa Biología de la Conservación – Cenicafé (2002 – 2003).

Llorente-Bousquets, J., & Ocegueda, S. (2008). *Estado del conocimiento de la biota*. Capital natural de México.

MacGregor-Fors I., & Schondube J. E. (2011). Use of tropical dry forests and agricultural areas by neotropical bird communities. *BioTropica*, 43(3), 365-370. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00709.x>

Magurran, A. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.

Mangan, A. M., Pejchar, L., & Werner, S. J. (2017). Bird use of organic apple orchards: Frugivory, pest control and implications for production. *PLoS One*, 12(9), e0183405.

Maya-Girón, A. M., Becoche-Mosquera, J. M., & Gómez-Bernal, L. G. (2023). Aves frugívoras de un bosque subandino en proceso de restauración del Parque Nacional Natural Munchique. *Biota colombiana*, 24(1), 1-18.

- Medina-Macías, M. N., González-Bernal, M. A., & Navarro-Sigüenza, A. G. 2010. Distribución altitudinal de las aves en una zona prioritaria en Sinaloa y Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(2), 487-503.
- Microsoft Company (2023). *Microsoft Excel para Microsoft 365 MSO* (versión 2310 compilación 16.0.16924.20054) de 64 bits.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. Volumen 1. Manuales y tesis SEA*.
- Moreno-Calles, A. I., & Casas, A. (2008). Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del valle de Tehuacán, México. *Zonas Áridas*, 12(1), 13-35.
- Nájera, A., & Simonetti, J. (2010). Can oil palm plantations become bird friendly? *Agroforestry System*, 80(2), 203–209.
- Navarro-Sigüenza, A. G., García-Trejo, E. A., Peterson, A. T. & Rodríguez-Contreras, V. (2004). Aves. In A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez, & M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología. UNAM-fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza-World Wildlife Fund.
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 476-495.
- Omayio, D., Mzungu, E., & Kakamega, K. (2019). Modification of shannon-wiener diversity index towards quantitative estimation of environmental wellness and biodiversity levels under a non-comparative Scenario. *Journal of Environment and Earth Science*, 9(9), 46-57.
- Palmer, M. W. 1990. The estimation of species richness by extrapolation. *Ecology*, 71(1), 1195-1198.
- Peisley, R. K., Saunders, M. E., & Luck, G. W. (2016). Cost-benefit trade-offs of bird activity in apple orchards. *PeerJ*, 4, e2179.
- Peterson, R. T., & Chalif, E. L. (1989). *Aves de México. Guía de campo*. Editorial Diana.
- Pulido, V., Salinas, L., & del Pino, J. (2020). Trabajos originales Preferencia de hábitats y estacionalidad de las especies de aves de los Pantanos de Villa en Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 27(3), 349-360.
- Püttker, T., de Arruda Bueno, A., Prado, P. I., & Pardini, R. (2015). Ecological filtering or random extinction? Beta-diversity patterns and the importance of niche-based and neutral processes following habitat loss. *Oikos*, 124(2), 206-215.
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., De Sante, D. F., Milá, B. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR159. Albany,CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46 p.

Ramírez-Julián, R.; González-García, F., & Reyes-Macedo, G. (2011). Registro del búho leonado *Strix fulvescens* en el estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana Biodiversidad*, 82(1), 727-730.

Santos Benítez, A. R., Hernández Ramírez, A. L., Lavariega, M. C., & Gómez-Ugalde, R. M. (2013). Diversidad de aves en cultivos de Santa María Yahuique, Sierra Madre de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(1), 1241-1250.

Sekercioglu, C., Wenny, D. G., & Whelan, C. J., (Eds.) 2016. *Why Birds Matter*. University of Chicago Press.

Sekercioglu, C.H. 2009. Tropical ecology: riparian corridors connect fragmented forest bird populations. *Current Biology*, 19(5), 210-213. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.01.006>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Norma Oficial Mexicana-059-SEMARNAT-2010. *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.

Solís-Castillo, B., Fernández, G., Vázquez-Castro, G., García-Ayala, G., Bocco, G., & Ortíz, M. A. (2018). Paisaje cultural y evidencias estratigráficas del antropoceno en la Mixteca Alta, Oaxaca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(1), 147-171.

Sommer, N., Moody, N. M., Lantz, S. M., Leu, M., Karubian, J., & Swaddle, J. P. (2018). Redbacked fairywrens adjust habitat use in response to dry season fires. *Austral Ecology*, 43(8), 876-889.

Stattersfield, A. J., Crosby, M. J., Long, A. J., & Wege, D. C. (1998). *Endemic bird areas of the world. Priorities for biodiversity conservation*. Birdlife International.

Tryjanowski, P., Skórka, P., Sparks, T. H., Biaduń, W., Brauze, T., Hetmański, T., ... & Wysocki, D. (2015). Urban and rural habitats differ in number and type of bird feeders and in bird species consuming supplementary food. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 15097-15103.

Ugalde-Lezama, S., Romero-Díaz, C., Tarango-Arámbula, L. A., & García-Núñez, R. M. (2022). Influencia del hábitat en la diversidad de aves insectívoras en un sistema agroforestal enclavado en un Bosque Mesófilo de Montaña. *CienciaUAT*, 16(2), 6-25. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i2.1529>

Vázquez, L., Moya, H., & del Coro Arizmendi, M. (2009). Avifauna de la selva baja caducifolia en la cañada del río Sabino, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(2), 535-549.

Zar, J. H. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall.

Zou, Y., Zhao, P., & Axmacher, J. C. (2023). Estimating total species richness: Fitting rarefaction by asymptotic approximation. *Ecosphere*, 14(1), 4363.

## **6 CAPÍTULO VI. CARACTERIZACIÓN-USO DE HÁBITAT POR AVES EN SISTEMAS: AGROSILVICOLA, MILPA CONVENCIONAL Y BOSQUE TEMPLADO**

### **6.1 Introducción**

La diversidad de aves a nivel mundial se estima en alrededor de 11 001 especies (Gill et al., 2023), distribuidas en prácticamente en todos los ecosistemas terrestres (Cajas-Castillo et al., 2015). Sin embargo, acciones antropogénicas han llevado al deterioro de estos ecosistemas, eliminando hábitats originales e interrumpido procesos ecológicos, que ponen al borde de la extinción a diferentes especies de aves (Guzmán-Manrique & Flórez-García, 2019; Xu et al., 2019).

En el contexto nacional, México reporta entre 1 150 especies de aves (Gill & Donsker, 2013), posicionándose en el 11° lugar de diversidad mundial y el 4° en endemismo con 212 especies (Navarro et al., 2014; Fuentes-Moreno et al., 2020). Por otra parte, la industrialización y el desarrollo agropecuario han provocado perturbaciones ecosistémicas que conllevan a la pérdida de la biodiversidad, ampliando la lista de especies bajo alguna categoría de riesgo (Ramos et al., 2016; Ortiz-Pulido, 2018; López-Segoviano et al., 2019).

Los sistemas agroforestales (SAF); particularmente agrosilvícolas, son una forma sostenible para contrarrestar el efecto de la alteración de los ecosistemas (García-Núñez et al., 2020; Pérez et al., 2021). Ofrecen funciones como generar equilibrio entre la producción a nivel de agroecosistema y, la conservación de la biodiversidad a partir de la interacción (corredor biológico) de remanentes naturales fragmentados (Vilchez et al., 2017; Marconi & Armengot, 2020). Aunado a ello, éstos presentan arreglos espaciales (vertical y horizontal) que generan microhábitats, ayudando a regular factores como el clima, la humedad y la temperatura. Esto convierte a dichos sistemas en importantes áreas de refugio para la vida silvestre, particularmente las aves (García et al., 2015; Nell et al., 2018). La avifauna tiene comportamientos ecológicos en los que, al momento de seleccionar su hábitat, debe existir una relación estrecha de ésta con la estructura

y composición florística (Alonso et al., 2018; Perez et al., 2021). Estos elementos promueven la riqueza de especies avifaunísticas y sus diferentes gremios tróficos (Salas & Mancera-Rodríguez, 2020) debido a la disposición de espacio, alimento, áreas de nidación, sitios de percha y protección contra adversidades climáticas, entre otros (Tomasevic & Marzluff, 2020).

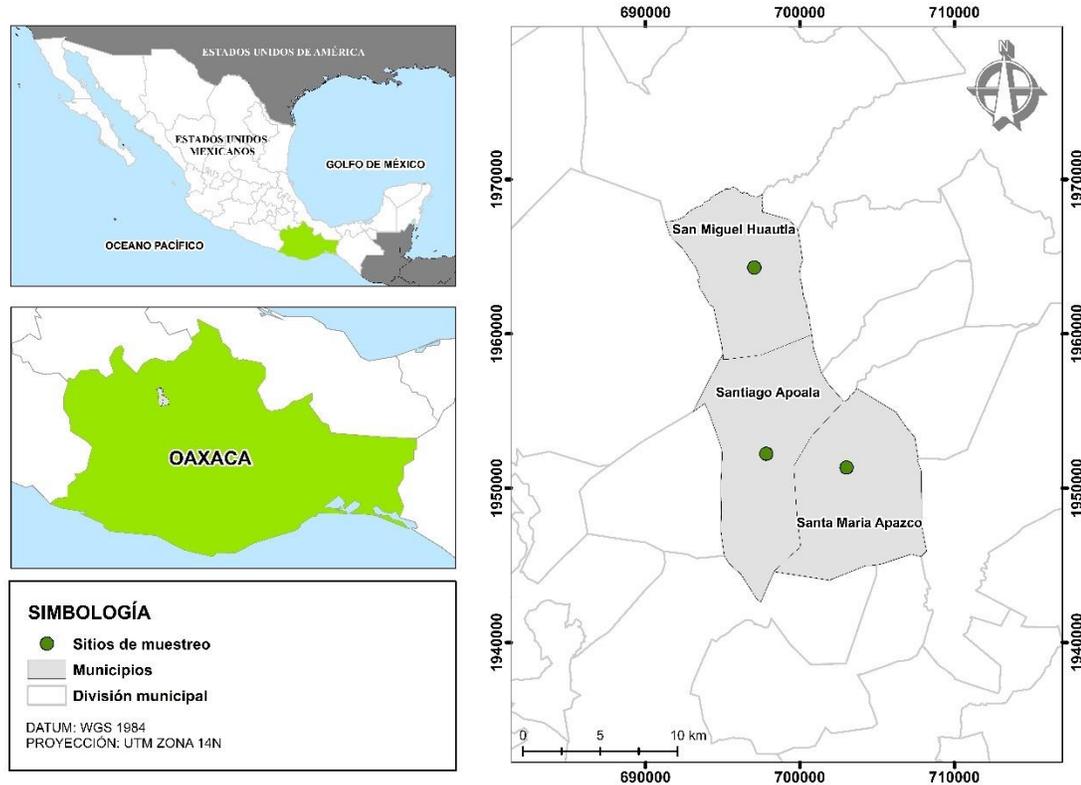
Así, la composición estructural de los SAF, particularmente agrosilvícola bajo la tecnología de Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), el cual es un sistema compuesto por cultivos básicos y árboles frutales, que crecen juntos en la misma parcela y presentan alta interacción agronómica, donde el maíz es el eje central (Cortés et al., 2007). Dicha tecnología parece coadyuvar en el mantenimiento de diversas especies de aves, mismas que podrían coadyuvar en ciertos procesos ecológicos, tales como el control biológico de plagas, dispersión de semillas, entre otros; no obstante, su papel ecológico aún no ha sido ampliamente descrito de manera cualitativa y cuantitativa, mucho menos considerando el posible efecto que tienen las variables propias del hábitat y los comportamientos exhibidos por dicho grupo taxonómico sobre la estructura de la vegetación, menos aún a nivel de agroecosistema, agricultura convencional y remanentes de vegetación natural (García-Flores et al., 2017; Sow et al., 2020). Por lo tanto, el objetivo de la presente fue determinar la caracterización y uso de hábitat por una comunidad avifaunística en tres condiciones ecológicas: sistema agrosilvícola (MIAF), Milpa Convencional (MC) y Bosque Templado de Pino-Encino (BPQ).

## **6.2 Materiales y métodos**

### **6.2.1 Área de estudio**

El área de estudio contempló nueve parcelas agrícolas de maíz, clasificándolas en dos grupos o sistemas: A) Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF; tres), se caracteriza por regirse bajo las normas establecidas para este tipo de sistemas agrosilvícolas, donde, las bases del cultivo son el maíz, un frutal y otro cultivo de leguminosas; B) Milpa Convencional (MC; seis), se cultiva bajo las costumbres y

tradiciones de los productores, puede ser maíz solo o con algún otro cultivo (frijol, aba o calabaza), haciendo uso de fertilizantes y agroquímicos diversos; C) vegetación natural cercana a las parcelas de maíz, identificando remanentes de Bosque de Pino-Encino (BPQ; tres). Dichas parcelas se localizaron entre las coordenadas geográficas  $17^{\circ}44'31.96''N$   $97^{\circ}8'44.71''O$ ,  $17^{\circ}38'56.99''N$   $97^{\circ}7'57.10''O$  y  $17^{\circ}38'13.84''N$   $97^{\circ}4'57.22''O$ , entre las cotas altitudinales de 1900, 1950 y 2150 m, respectivamente (Figura 6-1). Se distribuyen en los municipios de Santa María Apasco, Santiago Apoala y, San Miguel Huautla; en la región Mixteca Alta de Oaxaca. Dicha región se localiza al noreste del estado de Oaxaca, se encuentra limitada al oeste por la cuenca del río Mixteco, al norte por el Valle de Tehuacán, al noreste por el Cañón del Tomellín, al este por los Valles Centrales de Oaxaca y al sur sureste con la Sierra Madre del sur. En cada parcela se establecieron sitios para el seguimiento y toma de variables, mediante un diseño de muestreo sistemático; ubicando 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 4, 4, 4 unidades de elección (UEI) de 0.5 ha, respectivamente para cada condición. Se establecieron a distancias mínimas de 250 m entre cada una de ellas con el objeto de evitar pseudo replicación en los registros de las aves (Ralph et al., 1996).



**Figura 6-1 Localización de las parcelas de MIAF, MC y BPQ ubicadas en los municipios en Santa María Apasco, Santiago Apoala y, San Miguel Huautla; en la región Mixteca Alta de Oaxaca.**

### **6.2.2 Seguimiento de la avifauna y de las variables de interés (vegetación y hábitat)**

El seguimiento de las aves se realizó de manera mensual durante junio de 2021 a mayo de 2022, dedicando un día para cada parcela; registrando en cada sitio de ellas, las variables consideradas durante un periodo de 10 min; dichos registros se realizaron en un horario entre 07:00 y 11:00 h periodo durante el cual las aves tienen un mayor rango de actividad y; de 16:00 a 20:00 h para complementar las observaciones. Para el seguimiento de las aves se emplearon dos metodologías de forma mixta: 1) Recuento en Puntos con Radio Fijo (RPRF) de 25 m y 2) Búsqueda Intensiva (BI). Se utilizaron de manera complementaria para reducir el sesgo por la poca o escasa identificación auditiva; particularmente en aquellas aves con comportamiento quieto, conspicuo y silencioso (Ralph et al. 1996). Los avistamientos de las aves se realizaron con binoculares de 8 x 42 mm

(Bushnell visión en H<sub>2</sub>O). La identificación taxonómica de los ejemplares en campo se realizó empleando guías ornitológicas estándar (Peterson & Chalif 1989; Dunn, 2017); para la actualización de su nomenclatura taxonómica se empleó la American Ornithological Society (AOS; Chesser et al. 2023); su estado de conservación nacional, con la NOM-059-2010 (Semarnat, 2010) y, por último, su estatus de distribución anual en la base de datos de la CONABIO (2023).

Durante los avistamientos se registraron los comportamientos que las aves exhibían durante un lapso de 10 segundos de observación, basado en el registro mediante muestreo focal (Remsen et al., 1990), clasificándolos de la siguiente manera: Percha, Alimentación, Desplazamiento (terrestre o en sustratos), Cortejo, Vuelo, Canto y Vocalización. Paralelo a los avistamientos, se registraron las especies vegetales donde se observaba a las aves (sustratos: composición florística), así como las estructuras de dichos sustratos (follaje, fuste, rama, flores, hojas, entre otros); hojarasca, suelo desnudo, las rocas, etc., Se registró el uso en los planos vertical (estrato alto, intermedio o bajo) y horizontal (estrato interno, medio o externo) donde se observaban las aves. De la misma el registro de las variables de la vegetación se llevó a cabo utilizando cuadros empotrados (Oosting, 1956) para vegetación herbácea y arbustiva, así como el vecino más cercano (Cottam & Curtis, 1951) para el componente arbóreo. Por su parte las variables del hábitat fueron tomadas mediante Línea de Canfield (Canfield, 1941).

### **6.2.3 Análisis estadísticos**

Para identificar las variables del hábitat y la vegetación que tienen efecto sobre la presencia de las aves en las condiciones evaluadas, se realizaron Análisis de Regresión *Poisson* (ARP), mediante Modelos Lineales Generalizados (GLM, por sus siglas en inglés), utilizando un procedimiento de selección de variables por pasos (Stepwise) y, un criterio de ajuste del mejor modelo a través del criterio de clasificación del mínimo Akaike (AIC; Akaike, 1969). Dichos análisis se llevaron a cabo en R v.3.6.0, interfaz gráfica de R Commander (R Core Team, 2019).

Para visualizar gráficamente la posible relación entre la variable dependiente (Y; abundancia de las especies) y un conjunto de variables independientes (xi; sustratos, estructuras de los sustratos y; estratos, comportamientos), se realizaron Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC; Ter Braak, 1986, Fajardo et al., 2018), obteniendo un mapa que determine cuáles variables independientes son las que explican la mayor inercia sobre la variable dependiente, en dicha relación.

### **6.3 Resultados y discusión**

Se reportaron 59 especies de aves, pertenecientes a ocho órdenes y 22 familias. De las cuales, 29 se registraron para MIAF, 20 en MC y 37 en BPQ. De éstas, *Accipiter cooperii* (Gavilán de Cooper), *Falco peregrinus* (Halcón Peregrino) y *Xenotriccus mexicanus* (Mosquerito del Balsas) se encuentran Sujetas a Protección especial (Pr; Cuadro 6-1). Las aves reportadas en la presente representan aproximadamente el 10% de la avifauna del estado de Oaxaca (Navarro et al., 2004; Ramírez-Julián et al., 2011; Santos et al., 2013) y el 40% de las aves que se distribuyen en los ecosistemas que comprenden el Área de Importancia para la Conservación de las Aves Valle de Tehuacán-Cuicatlán (AICA; Arizmendi & Márquez, 2000), entre las cuales se incluyen las especies endémicas de la Mixteca Alta de Oaxaca.

**Cuadro 6-1. Avifauna registrada en el área de estudio para las condiciones MIAF, MC y BPQ en los municipios de Santa María Apasco, Santiago Apoala y, San Miguel Huautla; en la región Mixteca Alta de Oaxaca.**

Especie	Nombre común	Distribución (CONABIO, 2023)	NOM-059	MIAF	MC	BPQ
<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilán de Cooper	N	Pr			x
<i>Buteo brachyurus</i>	Aguililla Cola Corta	N	SS			x
<i>Buteo plagiatus</i>	Aguililla Gris	N	SS			x
<i>Rupornis magnirostris</i>	Aguililla Caminera	N	SS			x
<i>Archilochus colubris</i>	Colibrí Garganta Rubí	N	SS			x
<i>Lampornis clemenciae</i>	Colibrí Garganta Azul	N	SS			x
<i>Cathartes aura</i>	Zopilote Aura	E	SS		x	
<i>Columba livia</i>	Paloma Doméstica	Ex, I	SS	X	x	
<i>Columbina inca</i>	Tortolita Cola Larga	E	SS	X	x	
<i>Columbina passerina</i>	Tortolita Pico Rojo	E	SS		x	
<i>Zenaida macroura</i>	Huilota Común	N	SS	X	x	
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero Pijuy	N	SS		x	x
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón Peregrino	N	Pr			x
<i>Passerina caerulea</i>	Picogordo Azul	N	SS	X	x	
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	Picogordo Tigrillo	N	SS	X		
<i>Piranga ludoviciana</i>	Piranga Capucha Roja	N	SS	X		x
<i>Aphelocoma ultramarina</i>	Chara de Collar	N	SS			x
<i>Cyanocitta stelleri</i>	Chara Copetona	N	SS	X		x
<i>Haemorhous mexicanus</i>	Pinzón Mexicano	N	SS	X	x	
<i>Spinus psaltria</i>	Jilguerito Dominicó	N	SS			x
<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina Tijereta	N	SS			x
<i>Icterus galbula</i>	Calandria de Baltimore	N	SS			x
<i>Icterus graduacauda</i>	Calandria Capucha Negra	N	SS	X		x
<i>Icterus pustulatus</i>	Calandria Dorso Rayado	N	SS			x
<i>Icterus spurius</i>	Calandria Castaña	N	SS			x
<i>Icterus wagleri</i>	Calandria de Wagler	N	SS			x
<i>Molothrus aeneus</i>	Tordo Ojos Rojos	E	SS	x		
<i>Molothrus ater</i>	Tordo Cabeza Café	E	SS			x
<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate Mayor	E	SS	x	x	
<i>Mimus polyglottos</i>	Centzontle Norteño	N	SS	x		
<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuicacoche Pico Curvo	N	SS	x		
<i>Cardellina pusilla</i>	Chipe Corona Negra	N	SS			x

<i>Leiothlypis peregrina</i>	Chipe Peregrino	N	SS	x		
<i>Setophaga coronata</i>	Chipe Rabadilla Amarilla	N	SS	x		x
<i>Setophaga petechia</i>	Chipe Amarillo	N	SS	x		x
<i>Setophaga virens</i>	Chipe Dorso Verde	N	SS			x
<i>Chondestes grammacus</i>	Gorrión Arlequín	N	SS	x	x	
<i>Junco phaeonotus</i>	Junco Ojos de Lumbre	N	SS	x	x	x
<i>Melospiza lincolnii</i>	Gorrión de Lincoln	N	SS		x	x
<i>Melozone albicollis</i>	Rascador Oaxaqueño	E	SS			x
<i>Spizella passerina</i>	Gorrión Cejas Blancas	N	SS	x	x	
<i>Passer domesticus</i>	Gorrión Doméstico	Ex, I	SS	x	x	
<i>Ptiliogonys cinereus</i>	Capulinerio Gris	N	SS	x		x
<i>Pachyramphus aglaiae</i>	Cabezón Degollado	N	SS	x		
<i>Troglodytes aedon</i>	Saltapared Común	E	SS			x
<i>Turdus migratorius</i>	Mirlo Primavera	N	SS	x		x
<i>Turdus rufopalliatus</i>	Mirlo Dorso Canela	E	SS	x		x
<i>Empidonax minimus</i>	Papamoscas Chico	N	SS		x	x
<i>Myiarchus nuttingi</i>	Papamoscas Huí	N	SS			x
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Papamoscas Cardenalito	N	SS	x	x	
<i>Sayornis nigricans</i>	Papamoscas Negro	N	SS		x	x
<i>Tyrannus crassirostris</i>	Tirano Pico Grueso	E	SS	x	x	
<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tirano Pirirí	E	SS	x		
<i>Tyrannus verticalis</i>	Tirano Pálido	E	SS		x	
<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano Chibiú	E	SS	x	x	
<i>Xenotriccus mexicanus</i>	Mosquerito del Balsas	E	Pr			x
<i>Vireo gilvus</i>	Vireo Gorjeador	E	SS			x
<i>Dryobates scalaris</i>	Carpintero Mexicano	N	SS			x
<i>Melanerpes formicivorus</i>	Carpintero Bellotero	N	SS	x		x

**Nota:** E=Endémica; N=Nativa; Ex=Exótica; I=Invasiva; Pr=Sujetas a Protección especial.

Los resultados del ARP mostraron que tres variables del hábitat y una de la vegetación, presentan un efecto sobre las abundancias de las aves registradas en las parcelas MIAF, MC y BPQ (Cuadro 6-1).

**Cuadro 6-1 Variables significativas del hábitat y la vegetación mediante análisis de Regresión Poisson en MIAF, MC y BPQ.**

Hábitat					
Coefficientes	Estimador	Error estandar	Valor de Z	Pr(> z )	Significancia
(Intercepto)	-0.0845	0.32032	-0.264	0.791921	
Material Leñoso	0.05505	0.02559	2.151	0.031498	*
Cob. Arbórea Veg.	0.22914	0.09516	2.408	0.016	*
Cob. Herbácea Veg.	0.2332	0.09234	2.525	0.0116	*
Vegetación					
(Intercepto)	0.476569	0.132574	3.595	0.000325	***
Vegetación arbórea	0.120888	0.009285	13.02	< 2e-16	***

Códigos de significancia: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '\*' 0.1 '.' 1

**Nota:** Coeficiente estadísticamente significativo ( $P < 0.05$ ) del mejor ajuste del modelo GML seleccionado ( $AIC = 150.48$ ), ajustado mediante procedimientos de selección de variables polinómicas por pasos hacia atrás (Stepwise), entre las frecuencias de las aves registradas ( $Y$ ) y las variables del hábitat y vegetación descritos por sus puntuaciones factoriales ( $x_i$ ), registradas en las condiciones bajo estudio en la Mixteca Alta de Oaxaca. Se asumió una modelación de distribución *Poisson* en las frecuencias (abundancia) de las aves registradas, por lo que se aplicó un logaritmo como función de liga entre la variable dependiente ( $Y$ ) y las variables independientes ( $x_i$ ).

Los resultados del ACC para determinar gráficamente la posible relación entre las aves con los sustratos y estructuras de los sustratos confirman porcentajes de inercia acumulada en sus dos primeros ejes del 84.52% para MIAF (Figura 6-2); 98.34% para MC (Figura 6-3) y; 100% para BPQ (Figura 6-4).

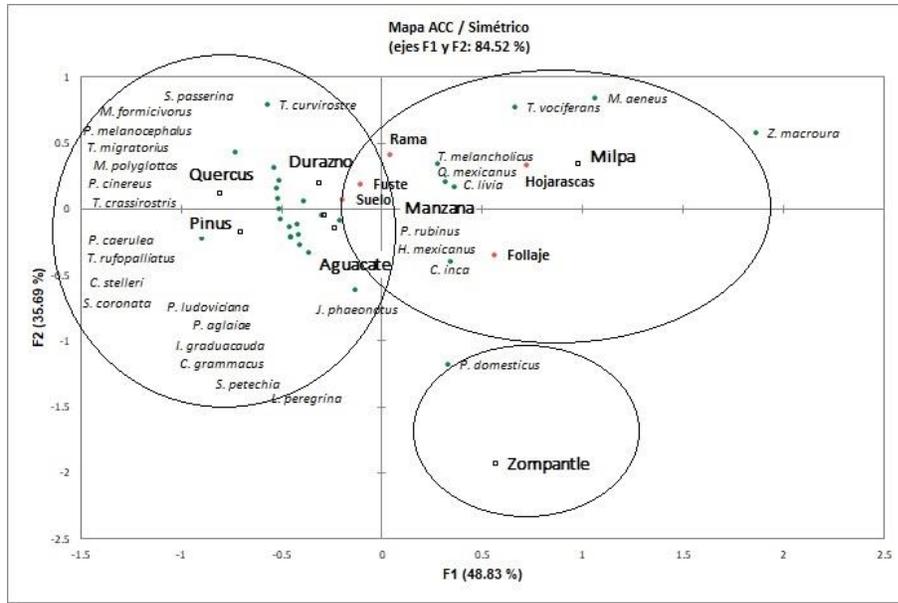


Figura 6-2 Inercia acumulada registrada entre las aves, los sustratos las estructuras de los sustratos registrados en las parcelas bajo el sistema MIAF.

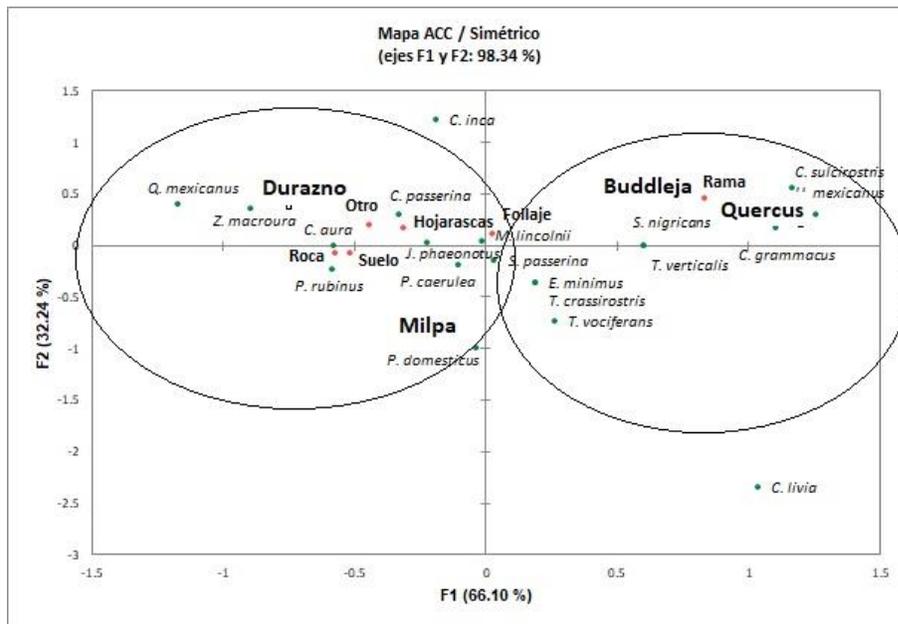
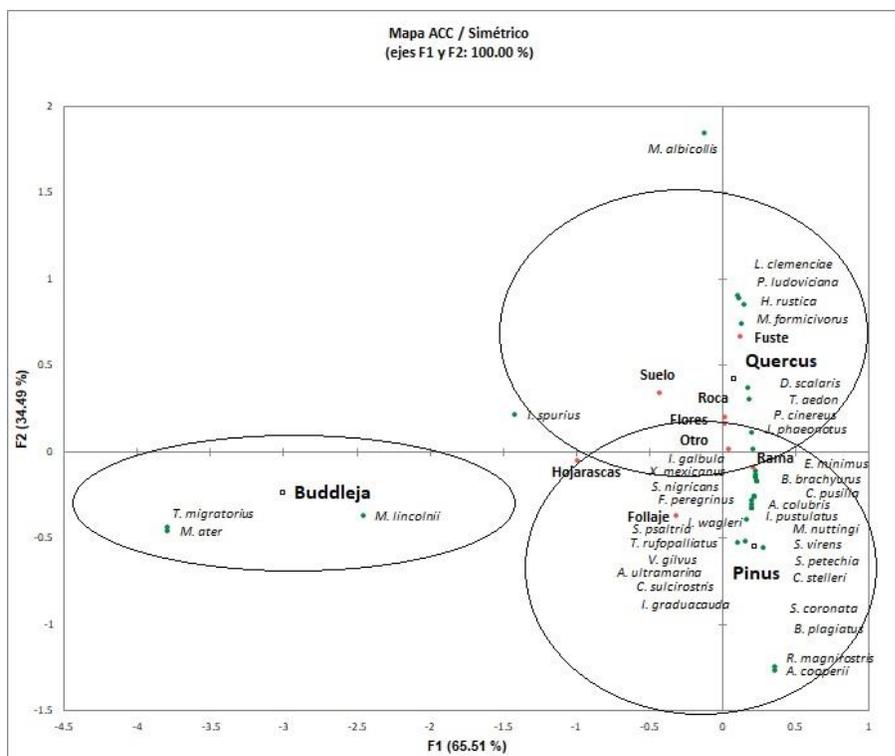


Figura 6-3 Inercia acumulada registrada entre las aves, los sustratos y las estructuras de los sustratos registradas en las parcelas de MC.



**Figura 6-4 Inercia acumulada registrada entre las aves, los sustratos y las estructuras de los sustratos registradas en el BPQ.**

Los resultados del ACC para determinar gráficamente la posible relación entre las aves con los comportamientos y los estratos; confirman porcentajes de inercia acumulada en sus dos primeros ejes del 84.52% para MIAF (Figura 6-5); 98.34% para MC (Figura 6-6) y; 100% para BPQ (Figura 6-7).

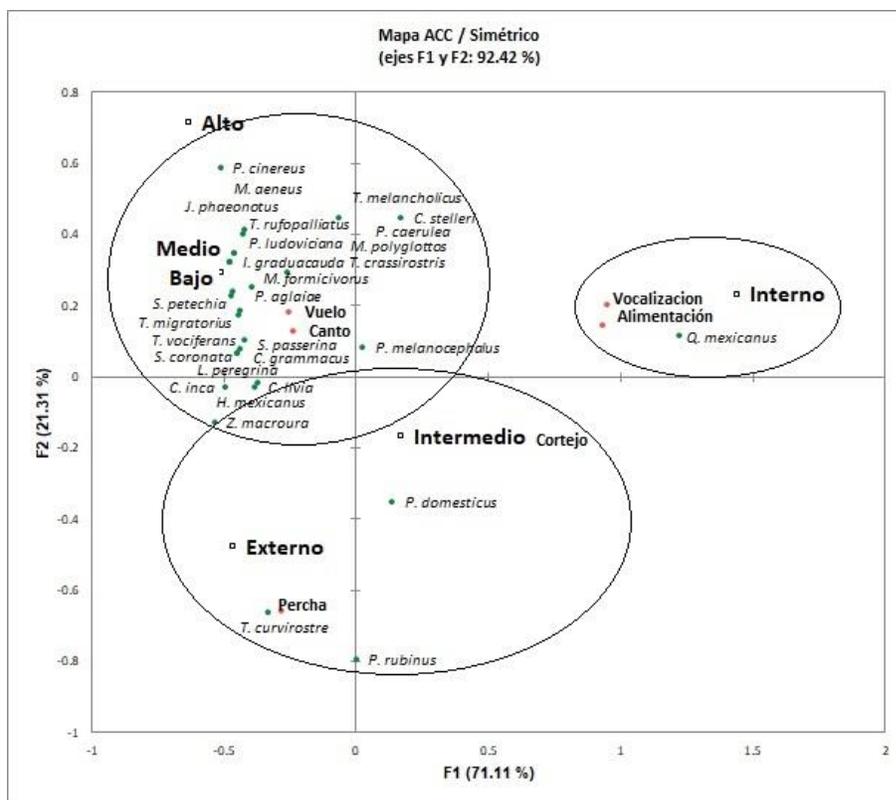


Figura 6-5 Inercia acumulada registrada entre las aves, comportamientos y estratos registrados en las parcelas de MIAF.

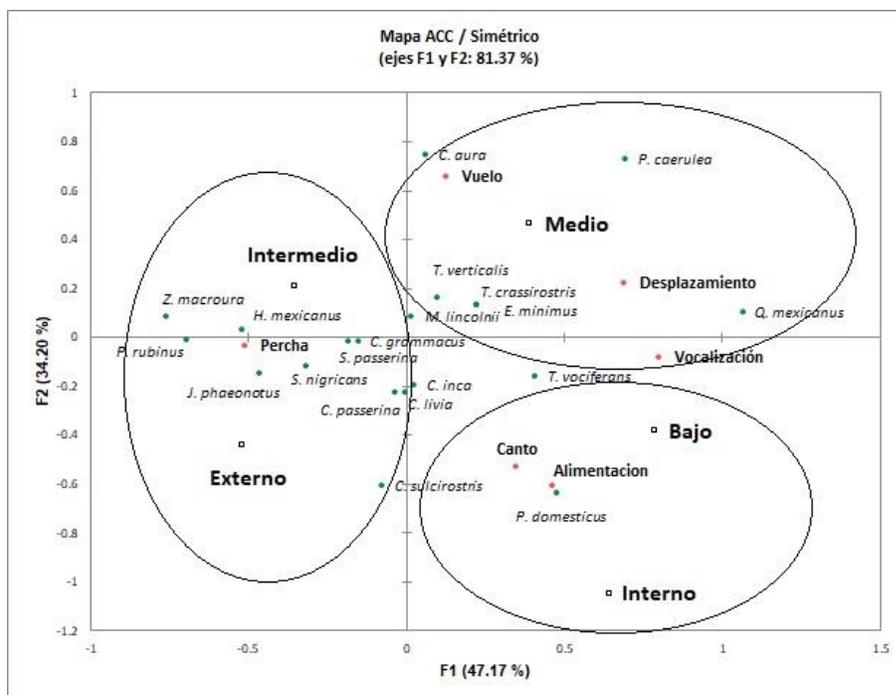
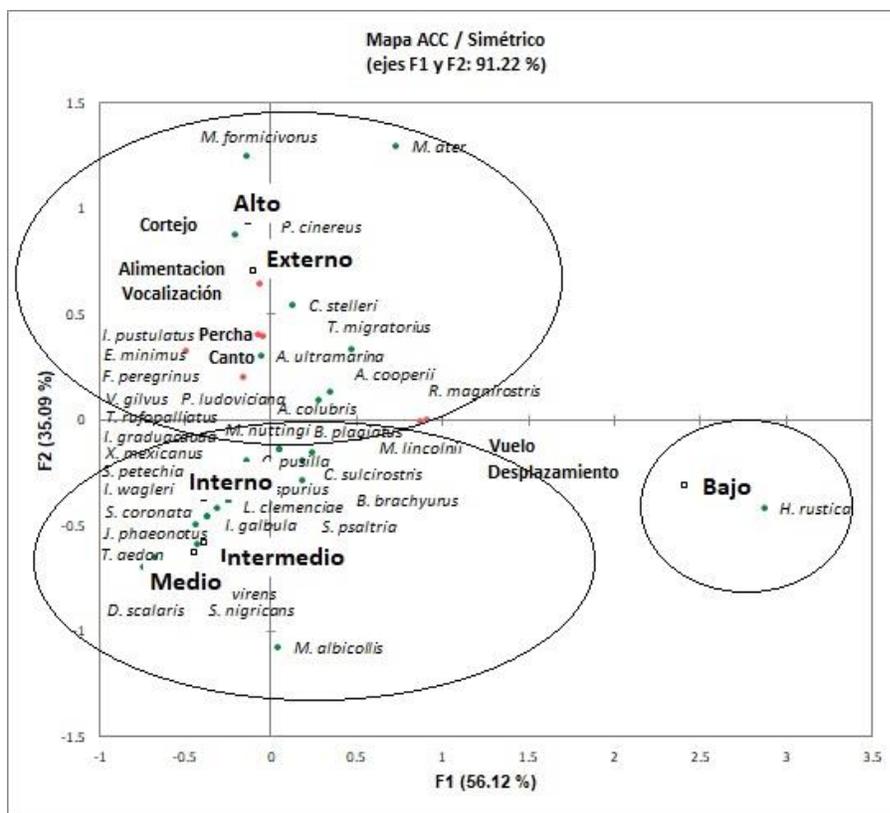


Figura 6-6 Inercia acumulada registrada entre las aves, comportamientos y los estratos registrados en las parcelas de MC.



**Figura 6-7 Inercia acumulada registrada entre las aves, comportamientos y estratos registrados en el BPQ.**

Las tendencias registradas evidencian un porcentaje considerable de la avifauna reportada para el estado de Oaxaca; dicho porcentaje evidencia el rol que tienen las condiciones bajo estudio a escala local, en el mantenimiento de las comunidades de aves que hacen uso de sus recursos disponibles, en los planos vertical y horizontal, tal como los sugieren diversos autores (Cebollada et al., 2012; Figueroa-Sandoval et al., 2019; García-Núñez et al., 2020).

Las tendencias obtenidas en la relación que se estableció entre las aves; las variables del hábitat y de la vegetación, mostraron la importancia que tiene el material leñoso, así como las coberturas arbóreas, herbácea y; el componente arbóreo; es decir, tal y como lo sugiere el estudio realizado por Coria et al. (2016) quienes señalan que la presencia de los tres estratos permite tener una complejidad vertical en la vegetación, misma que alberga una mayor diversidad de aves, asociada a los recursos disponibles en ella; no obstante, en la presente, la cobertura herbácea y arbórea parecen definir la presencia de aves en los

sistemas bajo análisis, lo cual representa la primera cuantificación de este fenómeno causal entre la avifauna y las variables de la vegetación en esta zona particular de México; en donde los componentes arbustivos y herbáceos parecen no influir, en dicho fenómeno, lo que evidencia el papel preponderante que tiene el establecimiento de árboles, especialmente en los MIAF, MC y BPQ; en los cuales, dicho componente estableció la frontera entre los remanentes de vegetación natural y los sistemas de producción, mismos en los que las aves parecen coexistir utilizándolos como zonas emergentes con efecto de borde para garantizar su supervivencia, haciendo un uso diferencial en ellos, generando servicios ecosistémicos directos e indirectos, tal como lo reporta Figueroa-Sandoval et al., (2019). Es imperativo señalar, que dichos sistemas pueden variar en torno a esto, debido al ciclo de producción, en el que la fisonomía vegetal se modificó, resultado de la cosecha, afectando la estructura de la vegetación y las comunidades de aves que hacen uso de estas, muchas de las cuales están en categoría de riesgo y/o son endémicas (SEMARNAT, 2010; CONABIO, 2023); además de que proporcionan recursos valiosos, como alimento y refugio facilitando la interconectividad y los flujos de energía entre poblaciones avifaunísticas, permitiendo mantener su dinámica poblacional, tal como lo sugieren algunos trabajos (Sekercioglu, 2009, MacGregor-Fors & Schondube, 2011). Además, dicho componente (arbóreo), es importante ya que parece determinar elementos importantes de tipo reproductivo para ciertas especies (Sáenz et al., 2006; Narango et al., 2019) específicamente en el establecimiento, construcción de nidos y sitios de percha en la condición de BPQ, MIAF y MC, a diferencia de lo reportado por otros autores (Alonso et al., 2018; Figueroa et al., 2019; Pérez et al., 2021) quienes realizaron trabajos en ecosistemas naturales diversos; sin embargo, es la primera vez, que esto se documenta de manera cuantitativa en sistemas como los analizados y específicamente en esta región de la Mixteca Alta de Oaxaca, en donde coexisten especies de aves generalistas, flexible y especialistas en el uso, preferencia y selección del hábitat. Por lo tanto, nuestro estudio demostró cómo los sistemas bajo estudio, arrojan el arribo diferencial de ciertas especies, brindando diversos recursos disponibles en ellos

para alimentación o descanso; especialmente el componente arbóreo, tal como lo sugieren algunos trabajos realizados en sistemas naturales de otras regiones y condiciones ecológicas de México (Sánchez, 2017; Martínez et al., 2019; Soto-Huaira et al., 2019; Medrano-Guzmán et al., 2020). Así, las aves registradas en dichos sistemas de interés para la presente, hacen uso de los mismos, coadyuvando, algunas de ellas, en el control biológico no solo de especies entomológicas que afectan los rodales forestales de Pino-Encino; sino que además de aquellas aves que realizan lo propio en insectos que afectan la actividad agrícola en MIAF y MC, tal como lo sugieren otros trabajos desarrollados en cultivos agrícolas convencionales y forestales de otras regiones con condiciones ecosistémicas diversas (Hurtado-Giraldo et al., 2016; Escobar-Ramírez et al., 2019; Rebollo et al., 2019; Jedlicka et al., 2021).

Las tendencias gráficas de la relación existente entre las aves con los sustratos, estructuras de sustratos y; estratos, comportamientos, reforzó la importancia que tuvo el componente arbóreo en las condiciones evaluadas sobre la dinámica poblacional de las aves que se distribuyeron en esta región. La presencia conjunta de especies maderables y frutales, formaron una estructura heterogénea en los planos vertical y horizontal, brindando nichos específicos para cierta avifauna, en el que potencialmente se lograron establecer diversos gremios (insectívoras, frugívoros, granívoros, omnívoras, etc.), de tal manera que resultaron sistemas relevantes, debido a que pueden albergar más especies e individuos en conjuntamente, que individualmente; lo cual ha sido demostrado por algunos autores (Verea & Solorzano, 1998, Pérez, 2020) en bosques naturales y sistemas de producción agrícola convencional; sin embargo, las tendencias señaladas en la presente parecen dar cuenta del fenómeno para sistemas MIAF, en contraste con MC y BPQ para esta zona específica de México. Además, éstas condiciones permiten que las aves puedan hacer un uso diferencial de estratos y sustratos que permitieron cierta estabilidad del ensamblaje avifaunístico; esto basado en su ecología y dinámica poblacional, ya que en algunos de ellos, las aves encontraron ciertos recursos disponibles para su alimentación, sitios de percha, pernocta e incluso aspectos reproductivos,

tales como la anidación; tal como lo sugieren algunos autores (Figuerosa-Sandoval et al., 2019); no obstante, ellos, realizaron trabajos de avifauna en sistemas de labranza de conservación cero-cerco vivo; por lo que los patrones registrados demuestran cuantitativamente la relación existente entre las aves (especialistas, flexibles, generalistas en la utilización del hábitat) y ciertos componentes que conforman el “hábitat” disponible para ellas en las condiciones analizadas. De esta manera, algunas especies de aves se asociaron verticalmente a los estratos alto, medio, bajo y; horizontalmente a la parte interna, intermedia, externa; lo que demostró el potencial en la disponibilidad de recursos (estructuras; ramas, follaje, fuste, flores) que conforman la estructura de la vegetación; específicamente arbórea (Pino-Encino; frutales) para esta región del estado de Oaxaca.

La variabilidad de estratos presentes en las condiciones evaluadas permitió la coexistencia del ensamblaje avifaunístico; así, el componente arbóreo albergo especies de interés ecológico (p ej. rapaces, mosquiteros, aves canoras, etc.) que hicieron uso de las ramas para perchar, localización de presas y canto; coadyuvando en el control biológico de algunos mamíferos pequeños e insectos, especialmente de aquellos que podrían tornarse perjudiciales o plaga en los sistemas MIAF, MC e incluso en BPQ; tal como lo evidencian algunos trabajos (Montani et al., 2016; Olsen et al., 2018; Valencia-Herverth et al., 2022) realizados en aves rapaces en varios ecosistemas de vegetación natural y zonas urbanas, en otras partes del mundo. Por otra parte, la condición fisiológica aparente que exhibió el componente arbóreo parece jugar un papel importante en el uso de los estratos registrado en la presente, debido a que algunos árboles suprimidos de Pino-Quercus que se localizaron en la parte ecotonal entre BPQ, MIAF y MC, cumplieron con cierto rol al otorgar diversos recursos como alimento y refugio, para diversas especies de aves, p. ej. carpinteros, mismos que utilizaron los estratos medio y alto como una estrategia de subsistencia, dominando tróficamente dichos estratos, lo que disminuye la presión en las interacciones ecológicas con especies avifaunísticas que hacen uso del estrato bajo, disminuyendo así la probabilidad de mortalidad en sus poblaciones; además de

que no establecen el conflicto potencial con productores en el MIAF, tal como lo evidencian algunos de los resultados obtenidos en otros trabajos (Leyequién et al., 2014; Freeman & Mason, 2015; Bautista-Trejo & Ramírez-Albores, 2021) desarrollados en aves Picidae en otros ecosistemas de bosques naturales con gradientes de sucesión ecológica en otras regiones de México y el mundo; no obstante, dichos estudios dan cuenta de la ecología trófica de *M. formicivorus*; en contraste, la presente registró patrones similares, incluso para *D. scalaris* lo que sugiere las primeras evidencias cuantitativas para este tipo de sistemas de producción bajo estudio. La presencia de las aves reportadas, en los planos vertical y horizontal, parecen brindar potencialmente diversos servicios ecosistémicos de manera directa e indirecta, como los previamente mencionados, y como lo sugieren Zaccagnini et al., (2011) quienes demostraron que la avifauna tiene diversos roles ecológicos funcionales en sistemas naturales; contrastando con el estudio realizado por Gandoy, (2014) en el cual se evidencia el conflicto potencial que pueden establecer algunas especies avifaunísticas, de ciertos hábitos gremiales, afectando sistemas de producción agrícola, especialmente de tipo multifuncionales (frutales). La heterogeneidad en el uso de los estratos por parte de las aves pudo estar relacionado a la presencia de recursos específicos como la diversidad de *ítems* alimenticios; no obstante, es imperativo señalar que las especies reportadas en la presente, diversifican su espectro trófico asociado a su origen gremial, por lo cual, parecen coexistir en los sistemas bajo estudio sin establecer un conflicto potencial con los productores, especialmente en los sistemas MIAF en esta región de la Mixteca Alta de Oaxaca. Por su parte, la MC condicionó la presencia de aves asociadas al ciclo agrícola del maíz, mismas que tuvieron una mayor incidencia en la temporada de precosecha, cuando la milpa se encuentra estructurada por los estratos bajo y medio, mismos que son aprovechados por las aves, especialmente, Passerinas para alimentación, percha y canto; por el contrario, en la postcosecha, cuando las parcelas se quedan sin el componente milpa, se pudieron observar aves rapaces y carroñeras haciendo uso de ellas para alimentarse de recursos que se distribuyen bajo la hojarasca, el suelo; para después emprender el vuelo con el

objeto de desplazarse de un sitio a otro; lo cual permitió evidenciar en la presente, el servicio ecosistémico de limpieza en los sistemas analizados.

#### **6.4 Conclusiones**

Se logró caracterizar el uso del hábitat por la comunidad avifaunística en las condiciones ecológicas MIAF, MC y BPQ. Dichas condiciones jugaron un papel importante en la dinámica poblacional de las aves, debido a que determinan la presencia de la avifauna y el uso del hábitat que éstas llevan a cabo en los planos vertical y horizontal, lo que influyó en la composición-estructura de las aves registradas en cada condición bajo estudio, las cuales, parecen establecer interacciones ecológicas intra e inter específicas en ellos, basadas en la disponibilidad de recursos, las características ecológicas de sus espectros trófico-gremiales, mismas que parecen incidir en la distribución espacial y temporal de los ensamblajes avifaunísticos del lugar. Se generó conocimiento básico cuantitativo y cualitativo que sentará las bases para establecer buenas prácticas de manejo agrícola, basado en la diversificación de estratos y sustratos como elementos esenciales del “hábitat”, que coadyuven a la conservación de la biodiversidad (aves) mediante la implementación-diversificación de sistemas de producción hacia esquemas multifuncionales, como los analizados en la presente (MIAF y BPQ), con los procesos ecológicos a nivel local y regional, conservando los remanentes de vegetación natural.

#### **6.5 Literatura citada**

Akaike, H. (1969). Fitting autoregressive models for prediction. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 21(1), 243–247. <https://doi.org/10.1007/BF02532251>

Alonso, T. Y., Hernández, M. F. R., & Barrero, M. H. (2018). Diversidad de aves residentes y permanentes asociadas a un pinar natural de *Pinus tropicalis* su relación con la estructura vertical de la vegetación. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(1), 31-44.

Bautista-Trejo, R., & Ramírez-Albores, J. E. (2021). Depredación de una lagartija espinosa de cabeza roja (*Sceloporus pyrocephalus*) por un carpintero enmascarado (*Melanerpes chrysogenys*) en el suroeste del Estado de México, México. *Huitzil*, 22(2). 1-6. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2021.22.2.501>

- Cajas-Castillo, J. O., Cobar-Carranza, A. J., Ávila-Santa, R. C., Kraker-Castañeda, C., & Quiñónez-Guzmán, J. (2015). Diversidad de aves de sotobosque en bosques tropicales, áreas de regeneración natural y cultivos de palma africana en humedales del Lago de Izabal, Guatemala. *Ornitología Neotropical*, 26(1), 1-12.
- Canfield, R. H. (1941). Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal Forestry*, 34(1), 388-394.
- Cebollada Pütz, C., Basso, M., Ruiz de Los Llanos, E., & Kufner, M. (2012). La fauna chaqueña de Córdoba (Argentina) afectada por la transformación agrícola. *Ecología Aplicada*, 11(2), 77-87.
- Chesser, R. T., Billerman, S. M., Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Hernández-Baños, B. E., Jiménez, R. A., Kratter, A. W., Mason, N. A., Rasmussen, P. C., Remsen, J. V. & Winker, K. (2023). Sixty-fourth Supplement to the American Ornithological Society's Check-list of North American Birds. *Ornithology*, 140(3), 1-11.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2023). *Biodiversidad mexicana. Especies endémicas*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/endemicas>
- Coria, R. D., Coria, O. R., & Kunst, C. R. (2016). Diversidad y composición de especies de aves en un gradiente bosque-arbustal-sabana del Chaco semiárido, Argentina. *Ornitología Neotropical*, 27(1), 451-460.
- Dunn, J. L. (2017). *Field guide to the birds of North America*. National Geographic Books.
- Escobar-Ramírez S, Grass I, Armbrecht I, Tschardt T. (2019). Biological control of the coffee berry borer: Main natural enemies, control success, and landscape influence. *Biological Control*, 136(1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.05.011>
- Fajardo, E. J., Romero, H., Plata, L., & Ramírez, M. (2018). Determinantes de la calidad de la educación en Colombia a nivel secundario: Una aplicación del análisis de correspondencia canónica. *Revista Espacios*, 39(15), 1-10.
- Figueroa-Sandoval, B., Pimentel-López, J., Ugalde-Lezama, S., Figueroa-Rodríguez, O. L., Figueroa-Rodríguez, K. A., & Tarango-Arámbula, L. A. (2019). Aves en sistemas agrícolas con labranza de conservación en el centro-norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(22), 31-42.
- Freeman, B. G., & Mason, N. A. (2015). The geographic distribution of a tropical montane bird is limited by a tree: Acorn Woodpeckers (*Melanerpes formicivorus*) and Colombian oaks (*Quercus humboldtii*) in the Northern Andes. *PLoS One*, 10(6), 128675.
- Fuentes-Moreno, A., Mogollón-Serrano, M., Servín-Torres, J. L., Serna-Lagunes, R., Leyva-Ovalle, O. R., Llárena-Hernández, R. C., & García-Martínez, M. A. (2020). Diversidad de aves en un paisaje antrópico en el centro del estado de Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(1), 1-14.

Gandoy, F. A., Depino, E. A., Mangini, G., & Egli, F. B. (2014). Nuevo registro de la Becasa Gris (*Limnodromus griseus*) para Argentina: identificación e historia de un género conflictivo. *Nuestras Aves*, 59(7), 21-24.

García, M. L. E., Valdez, H. J. I., Luna, C. M. & López, M. R. (2015). Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques*, 21(3), 69-82.

García-Flores, A., Mojica-Pedraza, S., Barreto-Sánchez, S. D., Monroy-Ortiz, C. & Monroy-Martínez, R. (2017). Estudio etnozoológico de las aves y mamíferos silvestres asociados a huertos frutícolas de Zacualpan de Milpas, Morelos, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 110-132.

García-Núñez, R. M., Romero-Díaz, C., Ugalde-Lezama, S., & Tinoco-Rueda, J. Á. (2020). Vegetación y estructura del hábitat que determina la dieta de aves insectívoras en sistemas agroforestales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 853-864.

Gill, F., & Donsker, D. (eds.). (2013). IOC World Bird Names (version 3.4). <http://www.worldbirdnames.org/>

Gill, F., Donsker, D., & Rasmussen, P. (Eds.). (2023). IOC World Bird List (v13.2). doi:10.14344/IOC.ML.13.2.

Guzmán-Manrique, J., & Flórez-García, A. (2019). Fragmentación del paisaje empleando análisis multitemporal de imágenes de satélite Landsat TM y ETM+ en el municipio de Montelíbano, Córdoba-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 22(1), 31-41.

Hurtado-Giraldo, A., Cruz-Bernate, L., & Molina, J. (2016). Dieta de aves migratorias en un sistema agroecológico del Valle del Cauca, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos de Historia Natural*, 20(2), 151-163.

Jedlicka, J. A., Philpott, S. M., Baena, M. L., Bichier, P., Dietsch, T. V., Nute, L. H., Langridge, S. M., Perfecto, I., & Greenbert, R. (2021). Differences in insectivore bird diets in coffee agroecosystems driven by obligate or generalist guild, shade management, season, and year. *Ecology*, 9(1), 2167-8359. <https://doi.org/10.7717/peerj.12296>

Leyequién, E., Hernández-Stefannoni, J. L., Santamaría-Rivero, W., Dupuy-Rada, J. M., & Chable-Santos, J. B. (2014) Effects of tropical successional forest on bird feeding guilds. In N. Nakagoshi, J. A. Mabuhay (Eds.), *Designing Low Carbon Societies in Landscapes*. Springer.

López-Segoviano, G., Díaz-Verduzco, L., Arenas-Navarro, M. & Arizmendi, M. (2019). Diversidad estacional de aves en una región prioritaria para la conservación en el centro oeste de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(1), e902754.

MacGregor-Fors, I., & Schondube, J. E. (2011). Use of tropical dry forests and agricultural areas by neotropical bird communities. *BioTropica*, 43(3), 365-370. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00709.x>

Marconi, L., & Armengot, L. (2020). Complex agroforestry systems against biotic homogenization: The case of plants in the herbaceous stratum of cocoa production systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 287(1), e106664.

Martínez, O., Aparicio, J., & Guerra, F. (2019). Depredación de la lagartija endémica, *Liolaemus aparicioi* (reptiles: *liolaemidae*) por el halconcito común, *Falco sparverius* (aves: *falconidae*) en el sur de la ciudad de la Paz, Bolivia. *Kempffiana*, 15(2), 1-7.

Montani, M. E., Saigo, G., & Romano, M. (2016). PREDACIÓN DEL MURCIÉLAGO MOLOSO COMÚN (*Tadarida brasiliensis*) POR EL TAGUATÓ COMÚN (*Rupornis magnirostris*) EN LA CIUDAD DE ROSARIO (SANTA FE, ARGENTINA). *Natura Neotropicalis*, 47(1), 51-56. <https://doi.org/10.14409/natura.v1i47.5987>

Narango, D., Tallamy, D., Snyder, K., & Rice, R. (2019). Canopy tree preference by insectivorous birds in shade-coffee farms: Implications for migratory bird conservation. *Biotropica*, 51(3), 387-398.

Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 476-495.

Nell, C., Abdala-Roberts, L., Parra-Tabla, V., & Mooney, K. (2018). Tropical tree diversity mediates foraging and predatory effects of insectivorous birds. *Proceedings Royal Society Publishing B*, 285(1), 1-7.

Olsen, J., Judge, D., Trost, S., Rose, A. B., & Debus, S. J. S. (2018). Diets of breeding Brown Goshawks *Accipiter fasciatus* and Collared Sparrowhawks *A. cirrocephalus* near Canberra, Australia: Comparisons with other regions and raptor species. *Corella*, 42(1), 18-28.

Oosting, H. J. (1956). *The study of plant communities*. Freeman.

Ortiz-Pulido, R. (2018). ¿Qué especies de aves están en riesgo en México? *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 19(2), 237-272.

Perez, J., Faria, D., and Morante-Filho, J. C. (2021). Landscape composition is more important than local vegetation structure for understory birds in cocoa agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 481(1), 1-9.

Pérez, P. E. O. (2020). Uso de hábitats alterados por aves insectívoras de sotobosque en un gradiente ambiental y su potencial para la conservación en Nicoya, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 12(1), 14-26.

Peterson, R. T., & Chalif, E. L. (1989). Aves de México. *Guía de campo*. Editorial Diana.

R Core Team. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., De Sante, D. F., & Milá, B. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen.

Tech. Rep. PSW-GTR159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46 p.

Ramírez-Julián, R., González-García, F., & Reyes-Macedo, G. (2011). Registro del búho leonado *Strix fulvescens* en el estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(1), 727-730.

Ramos, R. R., Sánchez, H. R. & Gama, C. L. M. (2016). Análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(8), 151-160.

Rebollo, S., Rey-Benayas, M., Villar-Salvador, P., Pérez-Camacho, L., Castro, J., Molina-Morales, M., & Leverkus, B. (2019). Servicios de la avifauna (high mobile link species) en mosaicos agroforestales: regeneración forestal y regulación de plagas. *Ecosistemas*, 28(2), 32-41. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1736>

Remsen, J. V., & Robinson, S. K. (1990). A classification scheme for foraging behavior of birds in terrestrial habitats. *Studies in Avian Biology*, 13(1), 144-160.

Sáenz, J. C., Villatoro, F., Ibrahim, M., Fajardo, D., & Pérez, M. (2006). Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agropaisajes dominados por la ganadería en Costa Rica, Nicaragua y Colombia. *Agroforestería en las Américas*, 45(1), 37-48.

Salas, Á. D. & Mancera-Rodríguez, N. J. (2020). Aves como indicadoras ecológicas de etapas sucesionales en un bosque secundario, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 23-39.

Sánchez, C. V. (2017). Uso de hábitat de aves migratorias en el bosque sucesional de Cocha Cashu (Río Manu, Perú). *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 37(1), 36-45.

Santos Benítez, A. R., Hernández Ramírez, A. L., Lavariega, M. C., & Gómez-Ugalde, R. M. (2013). Diversidad de aves en cultivos de Santa María Yahuique, Sierra Madre de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 1241-1250.

Sekercioglu, C.H. (2009). Tropical ecology: riparian corridors connect fragmented forest bird populations. *Current Biology*, 19(5), 210-213. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.01.006>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Norma Oficial Mexicana-059-SEMARNAT-2010. *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.

Soto-Huairá, S. M., Gamarra-Toledo, V., Medina, C. E., López, E. (2019). Composición de la dieta de las aves de los bosques de Queñua (*Polylepis rugulosa*) en Arequipa, Suroeste del Perú. *Ornitología Neotropical*, 30(1), 217-223.

- Sow, A., Seye, D., Faye, E., Benoit, L., Galan, M., Haran, J., & Brévault, T. (2020). Birds and bats contribute to natural regulation of the millet head miner in tree-crop agroforestry systems. *Crop Protection*, 132(1), 1-8.
- Ter Braak, C. J. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5), 1167-1179.
- Tomasevic, J. A., & Marzluff, J. M. (2020). Roosting, reproduction, and survivorship of Pileated Woodpeckers (*Dryocopus pileatus*) in a suburban setting. *Avian Conservation and Ecology*, 15(1), 1-13.
- Valencia-Herverth, J., Berriozabal-Islas, C., Fernandez-Badillo, L., & Garrido, D. (2022). Predation on *Holcosus amphigrammus* (*Squamata: Teiidae*) by the Gray Hawk, *Buteo plagiatus*, in Hidalgo, México. *Herpetology Notes*, 15(1), 833-835.
- Verea, C., & Solorzano, A. (1998). La avifauna del sotobosque de una selva decidua tropical en Venezuela. *Ornitología Neotropical*, 9(1), 167-176.
- Vilchez, S. J., Harvey, C., Sánchez, D., Medina, A., & Hernández, B. (2017). Diversidad de aves en un paisaje fragmentado de bosque seco en Rivas, Nicaragua. *Encuentro*, 36(68), 60-75.
- Xu, Y., Si, Y., Wang, Y., Zhang, Y., Prins, H. H. T., Cao, L., & De-Boer, W. F. (2019). Loss of functional connectivity in migration networks induces population decline in migratory birds. *Ecological Applications*, 29(7), 1-10.

## **7 CAPITULO VII. CONFLICTO POTENCIAL DE VERTEBRADOS SILVESTRES VS. PRODUCTORES AGROSILVICOLAS Y MILPA CONVENCIONAL**

### **7.1 Introducción**

Ante la actual crisis de la biodiversidad, existen escasas opciones para su conservación siendo estas las áreas naturales (silvestres) protegidas (Cui et al., 2021). Sin embargo, la presión antropogénica que enfrentan los recursos naturales acelera el traslape entre la fauna silvestre y el hombre (Rendón & Solorzano, 2023), lo que pone en riesgo su conservación (Hoogestejin & Hoogestejin, 2005; ONU, 2021).

El crecimiento poblacional humano y de las actividades productivas que conlleva, ha desarrollado mosaicos paisajísticos a diferentes escalas (Flores-Armillas et al., 2020). Estos crean escenarios donde se originan múltiples interacciones entre el hombre y la fauna silvestre (Madden, 2004; Lamarque et al., 2009). Dichas interacciones pueden ser positivas o negativas, siendo estas últimas las que se conocen como el establecimiento del conflicto potencial (Inskyp & Zimmerman, 2009; Morzillo et al., 2014). Por lo tanto, se define al conflicto como toda interacción que conlleve a generar impacto negativo en los sistemas sociales, económicos, culturales, la conservación de especies silvestres, sus hábitats, ecosistemas o el medio ambiente (Bonacic et al., 2007; Marchini, 2014).

Estos conflictos constituyen un problema que va en tendencia progresiva y afecta directa e indirectamente los procesos de conservación biológica en todo el mundo (Le Bel et al. 2010). Sus causas están relacionadas con la excesiva demanda de recursos, resultado del aumento progresivo, exponencial de la población humana, diversos factores de origen antrópico (actividades agrícolas, pecuarias, forestales mal planificadas, cambio de uso de suelo, crecimiento urbano, entre otros), mismos que han promovido la pérdida y fragmentación de los hábitats de distribución natural de algunas especies faunísticas (Álvarez et al., 2015; Muñoz & Muñoz-Santibañez, 2016), las cuales se han tenido que adentrar a los sistemas

de producción del hombre; derivado del traslape de estos y sus hábitats, incrementando los conflictos que pueden resultar en problemas de salud pública, cacería-tráfico ilegal, pérdida de presas naturales potenciales; por lo que optan por atacar a especies domésticas de fácil acceso (Treves, 2004; Bonacic et al., 2007; Tréves, 2009; Goldstein, 2013; Monge, 2013; Muñoz & Muñoz-Santibañez 2016); lo que genera una reacción en respuesta por parte de las personas, empleando técnicas y/o controles que evitan la interacción. Por lo que dicho conflicto se torna preocupante por los altos costos que genera, ya sea por pérdidas económicas de los productores o para la conservación de las especies en conflicto, además del impacto ambiental resultante de la aplicación de métodos letales para contrarrestar el mismo, los cuales afectan a las poblaciones faunísticas, conllevando a algunas de ellas hacia algún estatus de conservación e incluso al vórtice de la extinción (Canavelli et al., 2012; Rodríguez-Calderón et al., 2018).

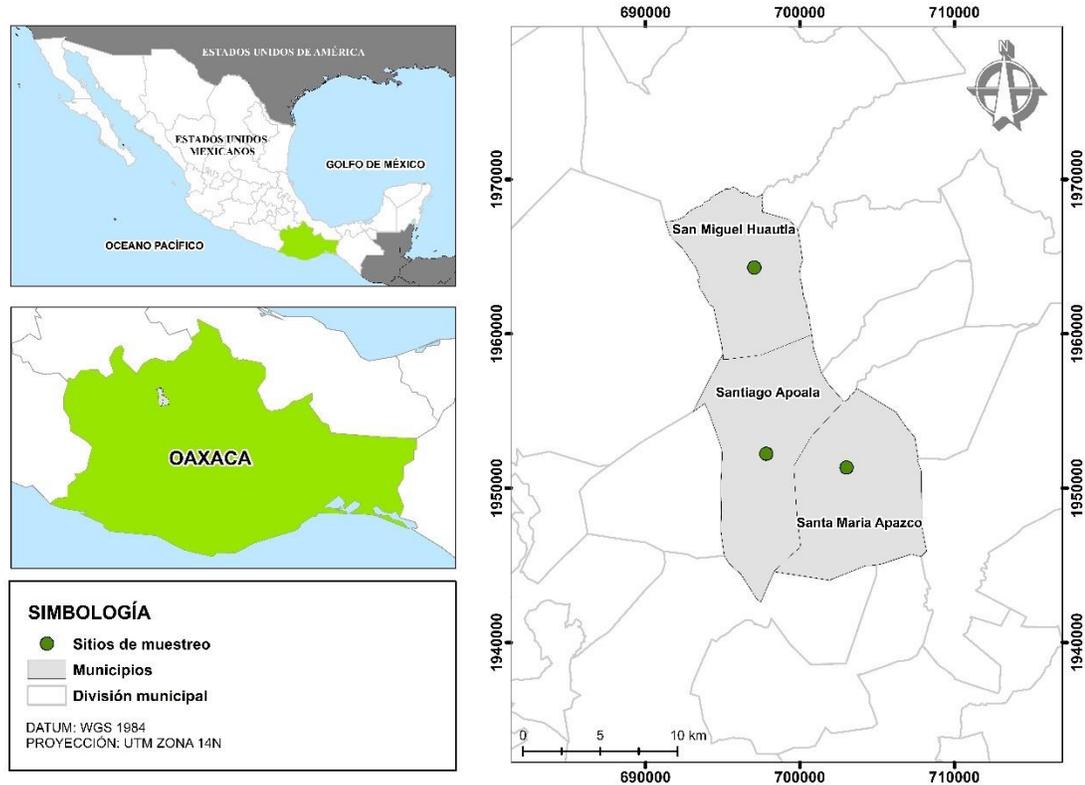
En México los estudios para analizar el conflicto entre la fauna silvestre y los productores agrosilvícolas, especialmente en Sistemas de Milpa Intercala con Árboles Frutales (MIAF) y Milpa Convencional (MC) son nulos; aquellos que se han desarrollado se han centrado en esquemas agropecuarios afectados por grandes-meso carnívoros (Tovar & Villanueva, 2009; Zarco-González *et al.*, 2013) y; en sistemas de producción agrícola convencional aledaños a zonas de vegetación natural (Flores-Armillas et al. 2020). La región Mixteca Alta de Oaxaca, se caracteriza por presentar condiciones topográficas accidentadas donde habitan productores rurales agrosilvícolas (MIAF) y de MC, mismos que hacen uso de superficies relativamente pequeñas, cercanas a los bosques con el objeto de cultivar granos (maíz) y frutos (durazno, manzana y aguacate), generalmente para el autoconsumo (Mendoza & Hernández, 2017). Los estudios sobre fauna silvestre, bajo el contexto del establecimiento del conflicto en este tipo de sistemas son nulos, y más aún, en esta región particular del estado de Oaxaca; por lo que el objetivo de la presente investigación fue, determinar el conflicto potencial entre vertebrados silvestres vs. productores agrosilvícolas

(MIAF) y de milpa convencional (MC) en la región Mixteca Alta de Oaxaca, México.

## **7.2 Materiales y métodos**

### **7.2.1 Área de estudio**

El área de estudio correspondió a nueve parcelas: A) tres de MIAF y; B) seis de MC. Dichas parcelas se localizaron entre las coordenadas geográficas 17°44'31.96"N 97°8'44.71"O, 17°38'56.99"N 97°7'57.10"O y; 17°38'13.84"N 97°4'57.22"O; entre las cotas altitudinales de 1900, 1950 y; 2150 msnm, respectivamente (Figura 7-1). Las parcelas bajo estudio se localizan en el distrito de Asunción Nochixtlán; particularmente en los municipios de Santa María Apasco, Santiago Apoala y San Miguel Huautla, ubicados al noreste del estado de Oaxaca, en la región montañosa de la Mixteca Alta de Oaxaca, en donde la orografía plana es escasa, reconociéndose al valle de Nochixtlán como el más extenso (Solís-Castillo et al., 2018). Se encuentran limitadas al oeste por la cuenca del río Mixteco, al norte por el Valle de Tehuacán, al noreste por el Cañón del Tomellín, al este por los Valles Centrales de Oaxaca y al sur sureste con la Sierra Madre del sur. El clima dominante es templado subhúmedo con lluvias concentradas en verano (Cw), el periodo de canícula está marcado durante julio-agosto (García, 2004), con temperatura de 15 °C y precipitación media anual de 649 mm. La vegetación predominante es de Bosque de Pino-Encino (Solís-Castillo et al., 2018).



**Figura 7-1 Localización de las parcelas de MIAF y MC en los municipios de Santa María Apasco, Santiago Apoala y San Miguel Huautla; al noreste del estado, en la región montañosa de la Mixteca Alta de Oaxaca.**

### 7.2.2 Metodologías

El levantamiento de información se realizó durante los meses de abril a mayo de 2022, empleando el método discrecional, el cual, es una técnica donde el investigador localiza las unidades de elección (UEI), en base al conocimiento y juicio profesional acerca del tema. En este caso, las UEI fueron personas reconocidas como informantes clave (jornalero, agricultor, comerciante, entre otros) que presentaban relación directa e indirecta con las parcelas MIAF y MC analizadas. Con el objeto de obtener datos sobre el tipo de conflicto, la fauna involucrada, estrategias para reducirlo, reacción de los pobladores frente al posible establecimiento del mismo y formas de manejarlo; se implementaron entrevistas semiestructuradas a dichos informantes para constatar la existencia de problemas entre la fauna silvestre y los pobladores (Hidalgo-Mihart et al., 2015). De esta manera, se seleccionaron a 20 personas (informantes clave) con

edades comprendidas entre 20 y 65 años, de las cuales, la mayoría fueron hombres y en menor proporción mujeres. La entrevista se estructuró de cuatro partes de interés fundamentales: 1) Datos demográficos, 2) Características del cultivo agrícola, 3) identificación de conflicto y especies de fauna silvestre involucradas, y; 4) métodos de control empleados por los productores y estrategias para reducir el conflicto; con dicha información se realizaron análisis exploratorios de tipo cualitativo para cada una de las partes (Iñiguez-Gallardo et al., 2021). Paralelamente se realizaron recorridos en transectos dentro de las parcelas MIAF y MC, para observar y registrar los comportamientos de las especies de fauna silvestre.

### **7.2.3 Análisis de los datos**

Los datos fueron analizados y procesados manualmente, siguiendo el protocolo recomendado por Saldaña (2016), empleando análisis cualitativo probado en estudios socioambientales (Rodríguez-Calderón et al., 2018), para cada una de las partes antes citadas, lo que incluyó categorizar las respuestas en base a temas de interés. Dichos análisis se realizaron en Excel v.2310 (Microsoft Company, 2023). Aunado a ello, se generó una lista de fauna silvestre, reconociendo a las especies conflicto y su categoría de riesgo (SEMARNAT, 2010).

## **7.3 Resultados y Discusión**

### **7.3.1 Resultados de Datos demográficos**

Los resultados cualitativos obtenidos de los Datos demográficos procedentes de las encuestas realizadas a los informantes clave, evidenciaron que la ocupación por parte de los entrevistados fue con mayor frecuencia la agricultura; sin embargo, existen otras actividades que presentaron relación directa o indirecta con los MIAF y MC bajo estudio (Cuadro 7-1).

**Cuadro 7-1 Resultados cualitativos de los Datos demográficos obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio.**

Variable	Respuesta	Valor	%
Genero	Masculino	15	75
	Femenino	5	25
Edad	20 – 39	4	20
	40 – 59	14	70
	> 60	2	10
Ocupación	Jornalero	3	15
	Agricultor	10	50
	Comerciante	2	10
	Labores del hogar	3	15
	Estudiante	2	10

### 7.3.2 Resultados de las Características del cultivo agrícola

Los resultados cualitativos obtenidos de los Características del cultivo agrícola procedentes de las encuestas realizadas a los informantes clave, evidenciaron que la principal actividad es el cultivo de maíz; el cual, se produce bajo dos sistemas: 1) MC: la cual es un estilo de producción que se rige por las tradiciones agronómicas que se van compartiendo generación tras generación, donde el maíz se siembra por temporada; principalmente solo, o puede estar acompañado por otro cultivo como el frijol o la calabaza; en este se hace uso de agroquímicos para la fertilización y control de posibles plagas. Pueden presentarse algunos frutales dentro de las parcelas que emergieron por la dispersión de semillas sin intención alguna, dichos ejemplares se desarrollan con la escasa o nula intervención del agricultor y; 2) MIAF: el cual es un sistema de producción de maíz para sitios en condiciones de ladera, donde su estructura y diseño permiten la conservación del suelo. Presenta tres componentes; el maíz, los frutales y una leguminosa. El 50% de las parcelas evaluadas presentaron un solo componente, el cual fue el maíz; el 40% dos y; el 10% restante, tres o más de cuatro que diversifican la producción agrícola y la convierten en sistemas multifuncionales (Cuadro 7-2).

**Cuadro 7-2 Resultados cualitativos de las Características del cultivo agrícola obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio.**

<b>Variable</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Valor</b>	<b>%</b>
Tipo de cultivo	MIAF	5	25
	MC	15	75
No. de componentes en el cultivo	1	10	50
	2	8	40
	3	1	5
	>4	1	5
Tipo de componente	Maíz solo	10	50
	Maíz con frutales	4	20
	Maíz con leguminosas	5	25
	Maíz con frutales y leguminosas	1	5

### **7.3.3 Resultados de la Identificación del conflicto y especies de fauna silvestre involucrada**

Los resultados cualitativos obtenidos de la Identificación del conflicto y especies de fauna silvestre involucrada procedentes de las encuestas realizadas a los informantes clave, evidenciaron cuatro actividades con alto potencial para el establecimiento del conflicto; la más representativa fue la Expansión de la frontera agrícola. En cuanto al conflicto, se registraron cuatro tipos; de los cuales, la Depredación del maíz es la que más impacto generó. Se registró el número de conflictos manifestados por los entrevistados en el corto y mediano plazos; el 40% de los cuales, asegura haber presenciado o registrado más de 10 conflictos en sus parcelas; mismos que en un 50% se presentaron semanalmente (Cuadro 7-3).

**Cuadro 7-3 Resultados cualitativos de la Identificación del conflicto obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio.**

<b>Variable</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Valor</b>	<b>%</b>
Actividades que generan conflicto	Deforestación	3	15
	Expansión de la frontera agrícola	10	50
	Desarrollo urbano	2	10
	Extracción de recursos forestales	5	25
Tipo de conflicto	Depredación de maíz	12	60
	Depredación de frutos	5	25
	Depredación de aves de corral	2	10
	Ataque a animales de compañía y carga	1	5
Frecuencia del conflicto	Diario	8	20
	Semanal	10	50
	Mensual	1	20
	Anual	1	10
Cantidad de conflicto (por persona)	1-2	2	10
	3-6	5	25
	7-9	5	25
	>10	8	40

Por su parte, los resultados sugieren el registro de diez especies de fauna silvestre relacionadas directa e indirectamente con los conflictos establecidos en los MIAF y MC; cuatro de las cuales son mamíferos y seis son aves, una de éstas se encuentra bajo categoría de riesgo nacional e internacional (Cuadro 7-4).

**Cuadro 7-4 Resultados cualitativos de las especies de fauna silvestre relacionadas en el conflicto obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio.**

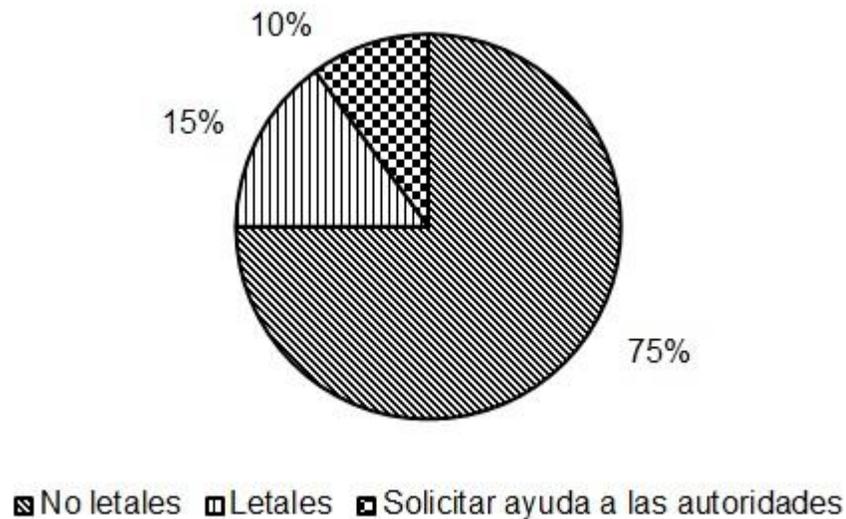
<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Categoría de riesgo</b>	<b>Tipo de conflicto</b>
Gavilán Pecho Canela	<i>Accipiter striatus</i>	Pr, LC, Apéndice II	DAC
Chara Transvolcánica	<i>Aphelocoma ultramarina</i>	LC	DF
Cacomixtle Norteño	<i>Bassariscus astutus</i>	LC	DAC
Coyote	<i>Canis latrans</i>	LC	AACC
Tortolita Cola Larga	<i>Columbina inca</i>	LC	DF, DM
Ardillón de Rocas	<i>Otospermophilus variegatus</i>	LC	DM
Pico Gordo Azul	<i>Passerina caerulea</i>	LC	DM, DF
Zanate Mexicano	<i>Quiscalus mexicanus</i>	LC	DF
Cuicacoche Pico Curvo	<i>Toxostoma curvirostre</i>	LC	DF
Zorra Gris	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	LC	DF, DM

**Nota:** DAC=Depredación de aves de corral, DF=Depredación de frutos, DM=Depredación de maíz, AACC=Ataque a animales de compañía y carga; Pr=Sujetas a protección especial, LC=Preocupación menor.

#### **7.3.4 Resultados de los Métodos de control empleados por los productores y estrategias para reducir el conflicto.**

Los resultados cualitativos obtenidos de los Métodos de control empleados por los productores y estrategias para reducir el conflicto procedentes de las encuestas realizadas a los informantes clave, evidenciaron la implementación de diferentes técnicas para tratar de controlar o disminuir los conflictos con la Fauna silvestre en sus parcelas, dichas técnicas se clasificaron en tres grupos: 1) No letales: son prácticas ahuyentadoras con perros, espanta pájaros, humo, generación de ruido (aplausos, cohetes, chiflidos, música); 2) Letales: se concentran técnicas que puede causar un daño grave al ejemplar, inclusive la muerte, entre éstas consideran la cacería con armas de fuego, envenenamiento,

trampas y; 3) Solicitar ayuda a las autoridades. Las técnicas no letales resultaron ser las más empleadas por los entrevistados (Figura 7-2).



**Figura 7-2 Resultados porcentuales de los Métodos de control empleados por los productores para reducir el conflicto obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio.**

Por otro lado, los resultados muestran las estrategias implementadas por los productores para reducir los conflictos en los sistemas evaluados; de los cuales, el 45% reconoce que la Concientización puede ser una buena estrategia. Es importante mencionar que, la gran mayoría de los entrevistados manifestaron estar dispuestos a participar en actividades que conlleven a la conservación de la Fauna Silvestre y mitigar los conflictos con ésta (Cuadro 7-5).

**Cuadro 7-5 Resultados porcentuales de las estrategias para reducir el conflicto obtenidos de las encuestas aplicadas a informantes clave en la zona de estudio.**

<b>Variable</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Valor</b>	<b>%</b>
Técnicas empleadas para el manejo de conflicto	No letales	15	75
	Letal-cacería	1	5
	Letal-envenenamiento	1	5
	Letal-trampas de cebo	1	5
	Solicitar ayuda	2	10
Disponibilidad para participar en actividades de conservación	Si	17	85
	No	3	15
Estrategia para reducir los conflictos	Concientización del compartimiento de recursos	9	45
	Tecnificación en las parcelas de cultivo	3	15
	Zonas de amortiguamiento y corredores biológicos	3	15
	Inventos caseros	5	25

Las tendencias en la información generada pusieron en evidencia la importancia que tiene el considerar a personas de mayor edad (informantes clave) al recopilar la información, debido a que son una fuente consolidada, por los años de residencia en la región; además, desarrollaron diversas actividades que les permitieron brindar información robusta sobre el conflicto que se estableció con la Fauna Silvestre en sus parcelas MIAF y MC; tal como lo sugieren algunos trabajos (Restrepo-Cardona et al., 2020; Macías, 2023), relacionados con el conflicto potencial entre la fauna silvestre y; los sistemas agrícolas de producción convencional en asentamientos rurales en otras partes del mundo; sin embargo, es la primera vez que, se documenta cualitativamente este fenómeno en sistemas multifuncionales y convencionales en la Región Alta de la Mixteca de Oaxaca.

Las condiciones de producción convencional, así como la implementación de algunos sistemas MIAF, prevalecientes en el área de estudio condicionaron, aparentemente, la pérdida y fragmentación del hábitat natural de la Fauna Silvestre; creando modificaciones en los ecosistemas, que conllevan al traslape entre las actividades productivas dominantes y, las áreas de distribución natural de éstas; lo que determinó el establecimiento del conflicto en los MIAF y MC bajo estudio, particularmente en aquellos cercanos a las forestales, lo que propicia que dicha fauna afecte recursos como granos, algunos frutos, que pueden representar pérdidas considerables a los productores; lo anterior, coincide con lo reportado por algunos autores (Hidalgo-Mihart et al., 2006; Ripple et al., 2014; Rodríguez-Calderón et al., 2018; Iñiguez-Gallardo et al., 2021; König et al., 2021; Solano-Gómez & Mora, 2022), quienes realizaron un análisis del conflicto entre la fauna silvestre vs. productores rurales en sistemas de agricultura convencional y pecuarios en bosques tropicales-pastizal en dos comunidades de Tabasco; sin embargo, el conflicto registrado se centró en la depredación por grandes carnívoros en los sistemas ganaderos, producto de la modificación-pérdida del hábitat que conllevan a la disminución en sus presas potenciales; aunado a ello, el traslape entre dichos sistemas productivos y los depredadores resultó en que éstos optarán por presas accesibles, estableciendo el conflicto; no obstante nuestros resultados, muestran las primeras evidencias del conflicto en sistemas multifuncionales y de agricultura convencional por mesocarnívoros (coyote), mamíferos pequeños (Cacomixtle) y aves (diversas), para esta región específica de Oaxaca, lo que se visualiza como potenciales pérdidas económicas para los productores locales.

Aunque en la presente, no se incluyeron sistemas de producción ganadera por ser inexistentes, se pudo dar cuenta del conflicto por depredación de animales de traspatio (p. ej. gallinas, guajolotes, corderos, becerros; aunque también consume animales viejos, enfermos o desnutridos) por dichos depredadores; esto resulta una afectación mayor, debido a que no solo afecta la economía local, sino además la seguridad alimentaria de las familias de los productores, ya que dichos animales, son criados mayormente para el autoconsumo y, en raras

ocasiones suelen ser intercambiados por algún otro recursos o dinero; por lo que son muy valiosos para el productor, orillándolos de manera preventiva a establecer diversas estrategias para disminuir el conflicto con la fauna silvestre que los afecta, incluso construyen gallineros rústicos para ello. Por lo que, en algunas partes de México, el coyote es considerado una potencial plaga, por la presunta depredación que hace de éstos animales en sistemas pecuarios, creando una mala reputación, que ha dado como resultado sus declives poblacionales, producto del conflicto con el hombre.

Otro caso similar es el de las aves, con facilidad se pueden detectar los perjuicios que éstas realizan sobre los sistemas agrícolas, ante esto, se concuerda con lo establecido por Martin et al. (2013), Peisley et al., (2015), Buij et al. (2017), Pejchr et al. (2018) quienes mencionan que sus efectos suelen ser directos sobre la producción de los sistemas agrícolas; sin embargo, no se había documentado para sistemas MIAF y MC en esta región de la parte Alta de la Mixteca de Oaxaca. Por ello, las tendencias obtenidas señalan que existen productores con la disposición de participar en actividades de conservación de la Fauna Silvestre; desafortunadamente, hay algunos que no coinciden con la misma postura, aun cuando en México existan incentivos económicos para la pérdida de ganado por depredación; esto refuerza lo reportado por Bhatia et al. (2020), Meyer y Börner (2022) quienes establecen que el conflicto entre ésta y los humanos, tiene un efecto negativo (que pudiera incrementar a través del tiempo) en las actitudes hacia la conservación; a pesar de que existan compensaciones por pérdida de animales de producción, así como diversas estrategias para la conservación de la vida silvestre.

#### **7.4 Conclusiones**

Se logró determinar el conflicto entre algunos vertebrados silvestres (aves y mamíferos) vs. productores agrosilvícolas (MIAF) y de milpa convencional (MC) en la región Mixteca Alta de Oaxaca, México. Se documenta por primera vez de manera cualitativa, la presencia del establecimiento de dicho conflicto, esto en base a datos robustos proporcionados por informantes clave sobre Datos

demográficos, Características del cultivo agrícola, identificación de conflicto y especies de fauna silvestre involucradas; métodos de control empleados por los productores y estrategias para reducir el conflicto. El conocimiento generado sienta las bases para futuras investigaciones de tipo cuantitativo que, permitan conocer la cosmovisión de los productores sobre la biodiversidad en el establecimiento de dicho conflicto, con el objeto de instituir preferentemente sistemas de producción agrosilvícolas y de milpa convencional, como estrategias que contribuyan directamente en la toma de decisiones, enfocadas a las necesidades de manejo y conservación de la vida silvestre a escala local-regional, en esta importante región de Oaxaca.

## 7.5 Literatura citada

Álvarez, P., Veliz, F., Muñoz, J. & Aguirre, N. (2015). Análisis multi-temporal del cambio de uso de suelo en el cantón Zapotillo, provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 5(1), 1-15.

Bhatia, S., Redpath, S. M., Suryawanshi, K., & Mishra, C. (2020). Beyond conflict: exploring the spectrum of human–wildlife interactions and their underlying mechanisms. *Oryx*, 54(5), 621-628. <https://doi.org/10.1017/S003060531800159X>

Bonacic C., Gálvez, N., & Ibarra, J. (2007). *Evaluación del conflicto entre carnívoros silvestres y ganadería*. (Informe Técnico). Laboratorio de Vida Silvestre Fauna Australis.

Buij, R., Melman, T. C. P., Loonen, M. J., & Fox, A. D. (2017). Balancing ecosystem function, services and disservices resulting from expanding goose populations. *Ambio*, 46, 301–318.

Canavelli, S., Aramburú, R., & Zaccagnini, M. (2012). Aspectos a considerar para disminuir los conflictos originados por los daños de la cotorra (*Myiopsitta monachus*) en cultivos agrícolas. *Hornero*, 27(1), 89-101.

Cui, Q., Ren, Y., & Xu, H. (2021). The escalating effects of wildlife tourism on human-wildlife conflict. *Animals*, 11(5), 1378. <https://doi.org/10.3390/ani11051378>

Flores-Armillas, V. H., Valenzuela-Galván, D., Peña-Mondragón, J. L., & López-Medellín, X. (2020). Human-wildlife conflicts in Mexico: Review of status and perspectives. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a7n1.2274>

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Goldstein, I. (2013). *Lineamientos técnicos y estrategias para el manejo de conflictos por interferencia entre fauna y actividades agropecuarias en los países de la Comunidad Andina de Naciones CAN*. Wildlife Conservation Society.

Hidalgo-Mihart M. G., Contreras-Moreno F. M., Juárez-López R., J. de la C. A., Valera-Aguilar R., Pérez-Solano D. L. A., & Hernández-Lara, C. (2015). Registros recientes de jaguar en Tabasco, norte de Chiapas y oeste de Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 469–477.

Hoogesteijn, R., & Hoogesteijn, A. (2005). *Manual sobre problemas de depredación causados por grandes felinos en hatos ganaderos*. Wildlife Conservation Society.

Inskyp, C. & Zimmermann, A. (2009) Human-felid conflict: a review of patterns and priorities worldwide. *Oryx*, 43(1), 18-34.

Iñiguez-Gallardo, V., Guerrero, A., & Ordóñez-Delgado, L. (2021). Análisis exploratorio sobre conflictos fauna silvestre en la Reserva Natural Tumbesia La Ceiba, área núcleo de la Reserva de Biosfera Binacional EcuadorPerú "Bosques de Paz". *Revista Peruana de Biología*, 28(1), e17665. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v28i1.17665>

König, H. J., Ceaşu, S., Reed, M., Kendall, H., Hemminger, K., Reinke, H., Ostermann-Miyashita, E-F., Wenz, E., Eufemia, L., Hermanns, T., Klose, T., Spyra, M., Kuemmerle, T., & Ford, A. T. (2021). Integrated framework for stakeholder participation: Methods and tools for identifying and addressing human–wildlife conflicts. *Conservation Science and Practice*, 3(3), e399. <https://doi.org/10.1111/csp2.399>

Lamarque, F., Anderson, J., Ferguson, R., Lagrange, M., Osei-Owusu, Y. & Bakker, L. (2009). *Human-wildlife conflicts in Africa: causes, consequences and management strategies*. Forestry paper. FAO.

Le Bel S., Mapuvire, G., & Czurek, R. (2010). Conjunto de herramientas para manejar el conflicto entre los seres humanos y la fauna silvestre: Soluciones globales para agricultores y comunidades. *Unasylva*, 61(1), 12-13.

Madden, F. (2004) Creating coexistence between humans and wildlife: Global perspectives on local efforts to address human-wildlife conflict. *Human Dimensions of Wildlife*, 9(1), 247-247.

Marchini, S. (2014). Who's in conflict with whom? Human dimensions of the conflicts involving wildlife. In L. M. Verdade, M. C. Lyra-Jorge, & C. I. Piña (Eds.), *Applied ecology and human dimensions in biological conservation*. Springer.

Martin, E. A., Reineking, B., Seo, B., & Steffan-Dewenter, I. (2013). Natural enemy interactions constrain pest control in complex agricultural landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(14), 5534–5539.

Mendoza, R. R., & Hernández, R. E. (2017). *Sistema de producción milpa intercalada en árboles frutales (MIAF-durazno)*. Desarrollo tecnológico. Colegio de Postgraduados.

- Meyer, M., & Börner, J. (2022). Rural livelihoods, community-based conservation, and human–wildlife conflict: Scope for synergies?. *Biological Conservation*, 272(1), 109666.
- Monge, J. (2013). Lista actualizada de aves dañinas en Costa Rica (2012). *Research Journal of the Costa Rican Distance Education University*, 5(1), 111-120.
- Morzillo, A., De Beurs, K., & Matin-Mikle, C. (2014) A Conceptual framework to evaluate human-wildlife interactions within coupled human and natural systems. *Ecology and Society* 19(3), 1-11.
- Muñoz, A., & Muñoz-Santibañez, P. (2016). Conflictos entre la fauna silvestre y la agricultura en Chile. *Agronomía y Forestal*, 53(1), 10-17.
- Organización de las Naciones Unidas (2021). *El conflicto entre humanos y vida silvestre es una de las mayores amenazas para las especies del planeta informe de WWF y PNUMA*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-conflicto-entre-humanos-y-vida-silvestre-es-una-de>
- Peisley, R. K., Saunders, M. E., & Luck, G. W. (2015). A systematic review of the benefits and costs of bird and insect activity in agroecosystems. *Springer Science Reviews* 3(1), 113–125.
- Pejchar, L., Clough, Y., Ekroos, J., Nicholas, K. A., Olsson, O. L. A., Ram, D., ... & Smith, H. G. (2018). Net effects of birds in agroecosystems. *BioScience*, 68(11), 896-904.
- Rendón, F. P. M., & Solorzano, D. R. V. (2023). Conflictos fauna silvestre-humanos en el área de influencia al Bosque Protector Cordillera Chongón Colonche. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(3), 745-763.
- Restrepo-Cardona, J. S., Echeverry-Galvis, M. Á., Maya, D. L., Vargas, F. H., Tapasco, O., & Renjifo, L. M. (2020). Human-raptor conflict in rural settlements of Colombia. *PloS One*, 15(1), e0227704. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227704>
- Ripple, W. J., Estes, J. A., Beschta, R. L., Wilmers, C. C., Ritchie, E. G., Hebblewhite, M., ... & Wirsing, A. J. (2014). Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science*, 343(6167), 1241484.
- Rodríguez-Calderón, Y. G., Contreras-Moreno, F. M., Segura-Bertolini, E. C., Bautista-Ramírez, P., & Jesús-Espinosa, D. (2018). Análisis del conflicto entre la fauna silvestre y productores rurales en dos comunidades de Balancán, Tabasco, México. *AgroProductividad*, 11(6), 51-59.
- Saldaña, J. 2016. *The coding manual for qualitative researchers. 5th Edition*. SAGE Publications.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Norma Oficial Mexicana-059-SEMARNAT-2010. *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para*

*su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.

Solano-Gómez, R., & Mora, J. M. (2022). Conflictos entre humanos y fauna silvestre en una zona de amortiguamiento de San Ramón, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 15(1), e4462. <https://doi.org/10.22458/urj.v15i1.4462>

Solís-Castillo, B., Fernández, G., Vázquez-Castro, G., García-Ayala, G., Bocco, G., & Ortiz, M. A. (2018). Paisaje cultural y evidencias estratigráficas del antropoceno en la Mixteca Alta, Oaxaca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(1), 147-171.

Tovar, C. C., & Villanueva, H. Z. (2009). Distribución potencial del hábitat del jaguar y áreas de conflicto humano–jaguar en la Península de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva época)*, 13(1), 46-62.

Treves, A. (2009). *The human dimensions of conflicts with wildlife around protected areas*. Wildlife and society: The science of human dimensions

Treves, A., Naughton-Treves, L., Harper, E. K., Mladenoff, D. J., Rose, R. A., Sickley, T. A. & Wydeven, A. P. (2004). Predicting Human-Carnivore Conflict: a Spatial Model Derived from 25 Years of Data on Wolf Predation on Livestock. *Conservation Biology*, 18(1), 114–125.

Zarco-González, M. M., Monroy-Vilchis, O., & Alaníz, J. (2013). Spatial model of livestock predation by jaguar and puma in Mexico: Conservation planning. *Biological Conservation*, 159(1), 80–87.