Riqueza y diversidad de arvenses en monocultivos de temporal en el Altiplano Central de México

Weed richness and diversity in monocultures under Rainfed in the Altiplano Central de México

Josué Delgado-Balbuena[1,2], Carlos Alberto Aguirre-Gutiérrez[1], Edith Ramírez-Segura[3], Francisco Fabián Calvillo-Aguilar[4], Teresa Alfaro-Reyna[5]*

[1]CENID Agricultura Familiar, INIFAP. Carretera Ojuelos-Lagos de Moreno Km 8.5, CP. 47540. Ojuelos de Jalisco, Jalisco, México.
[2]Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora, CP. 85000. Cd. Obregón, Sonora, México.
[3]Sitio Experimental Metepec, Toluca, México. Conjunto Sedagro s/n Colonia Rancho San Lorenzo, CP. 52140. Metepec, Edo de México, México.
[4]Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG), INIFAP. Blvd. de la Biodiversidad #400, Rancho Las Cruces, CP. 47600. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.
[5]Campo Experimental Edzná, CP. 24520. San Francisco de Campeche, Campeche, México.

*Autor de correspondencia: alfaro.teresa@inifap.gob.mx

Artículo científico

Recibido: 16 de diciembre 2025
Aceptado: 18 de junio 2026

RESUMEN. La composición, diversidad y abundancia de las comunidades arvenses en agroecosistemas están influenciadas por factores agronómicos, entre ellos el tipo de cultivo y la densidad de siembra. El objetivo fue analizar la riqueza y diversidad de plantas arvenses asociadas a cuatro monocultivos (avena, cebada, frijol y maíz) bajo condiciones de temporal en el centro de México, y evaluar la influencia en la densidad de plantas de cultivo sobre la estructura de las comunidades arvenses. El trabajo se realizó en cinco localidades, donde se monitorearon 103 parcelas de productores locales. En cada parcela se registraron la identidad taxonómica de las arvenses, abundancia y densidad del cultivo en cuadrantes de 1 m^2. Se calcularon índices de diversidad y se realizaron análisis de correlación y regresión. Se identificaron 42 especies de arvenses pertenecientes a 20 familias; el maíz y la cebada mostraron la mayor riqueza, mientras que la avena y el frijol registraron mayor equitatividad. Se observaron comunidades de arvenses características para maíz, cebada y avena, con especies indicadoras única para cada cultivo, excepto para frijol. Por otra parte, en la avena una mayor densidad de plantas se asoció con una menor riqueza, pero mayor diversidad (Shannon); mientras que en la cebada se presentó el patrón opuesto. Estos hallazgos sugieren que el tipo de cultivo y la densidad de siembra actúan como factores moduladores de la comunidad arvense, cuya influencia depende de la arquitectura y el tipo de cultivo, aportando información base para el diseño de estrategias de manejo agroecológico contextualizadas.
Palabras clave: Agroecosistema, biodiversidad vegetal, competencia interespecífica, manejo agroecológico, riqueza de especies.

ABSTRACT. The composition, diversity, and abundance of weed communities in agroecosystems are influenced by various agronomic factors, including crop type and planting density. The objective of this study was to analyze the richness and diversity of weed plants associated with four monocultures (oat, barley, common bean, and maize) under rainfed conditions in central Mexico, and to evaluate the influence of crop density on weed community structure. The study was conducted across five locations, monitoring 103 plots belonging to local farmers. In each plot, the taxonomic identity of weeds, their abundance, and crop density were recorded using 1 m^2 quadrants. Diversity indices were calculated, and correlation and regression analyses were performed. Forty-two weed species belonging to 20 families were identified; maize and barley exhibited the highest richness, while oat and bean recorded higher evenness. Distinct weed communities were observed for maize, barley, and oat, with unique indicator species for each crop, except for common bean. Furthermore, in oat, higher planting density was associated with lower richness but higher diversity (Shannon), whereas barley exhibited the opposite pattern. These findings suggest that crop type and planting density act as modulating factors for the weed community, whose influence depends on crop architecture and type, providing baseline information for the design of contextualized agroecological management strategies.
Keywords: Agroecosystem, plant biodiversity, interspecific competition, agroecological management, species richness.

Como citar: Delgado-Balbuena J, Aguirre-Gutiérrez CA, Ramírez-Segura E, Calvillo-Aguilar FF, Alfaro-Reyna T (2026) Riqueza y diversidad de arvenses en monocultivos de temporal en el Altiplano Central de México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(2): e4988. DOI: 10.19136/era.a13n2.4988.

INTRODUCCIÓN

Los agroecosistemas, concebidos como sistemas dinámicos y complejos en los que interactúan componentes bióticos y abióticos, constituyen la base de la producción agrícola global (Zingsheim y Döring 2024). En estos sistemas, las plantas arvenses frecuentemente denominadas malezas, desempeñan un papel ambivalente. Por un lado, suelen ser consideradas competidoras directas de los cultivos, asociadas a la disminución del rendimiento agrícola. Por otro lado, diversos estudios han demostrado que pueden brindar servicios ecosistémicos relevantes, como la conservación del suelo, el reciclaje de nutrientes, la atracción de polinizadores y el mantenimiento de reservorios genéticos (Mwangi *et al*. 2024).

El avance de la agricultura moderna ha promovido la intensificación de monocultivos y el uso extendido de insumos agroquímicos, lo cual ha resultado en una simplificación del paisaje agrícola y una reducción en la diversidad vegetal (Ilic 2023). Este proceso ha favorecido el predominio de pocas especies de arvenses altamente adaptadas y competitivas, algunas de ellas introducidas, que prosperan bajo regímenes intensivos de labranza, fertilización y aplicación de herbicidas (Heap y Duke 2018, Ren *et al.* 2024). En consecuencia, el control de las comunidades arvenses se ha convertido en un componente crítico para alcanzar sistemas agrícolas más sostenibles (Alignier *et al*. 2024).

Uno de los factores agronómicos que influye en la composición y diversidad de las arvenses es la densidad de siembra del cultivo (Ren *et al.* 2024). Esta variable afecta la disponibilidad de recursos como luz, agua y nutrientes, y modifica la estructura del dosel vegetal, alterando las condiciones microambientales que permiten o restringen la germinación y establecimiento de arvenses (Weiner *et al*. 2001). Cultivos con densidades altas tienden a generar mayor competencia por recursos, reduciendo el nicho disponible para otras especies, mientras que cultivos de porte abierto o siembras de baja densidad pueden permitir una mayor colonización por arvenses (Harker y O'Donovan 2013, Adeux *et al*. 2019). La influencia de la densidad de siembra sobre las arvenses no es uniforme, ya que depende de las características fisiológicas del cultivo, el tipo de manejo agronómico y las condiciones ecológicas locales (Harker y O'Donovan 2013).

A partir del análisis de parcelas manejadas por productores locales bajo condiciones reales de producción, se busca comprender de qué forma la estructura del cultivo condiciona la dinámica de las comunidades arvenses. Con el objetivo fue analizar la riqueza y diversidad de plantas arvenses asociadas a cuatro monocultivos (avena, cebada, frijol y maíz) bajo condiciones de temporal en el centro de México, y evaluar la influencia que tiene la densidad de plantas de cultivo sobre la estructura de las comunidades arvenses.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en los municipios de Ojuelos de Jalisco, Jalisco, y Pinos, Zacatecas, en el Altiplano semiárido mexicano (Figura 1). La zona se ubica a una altitud promedio de 2 100 msnm y presenta un clima cálido semiseco, con una temperatura media anual entre 20 y 22 °C y una

precipitación promedio de 422 mm anuales, concentrada principalmente en los meses de junio a septiembre. Sin embargo, durante el ciclo de estudio (2023), las lluvias se extendieron de forma atípica hasta noviembre, lo que favoreció la prolongación del ciclo de las arvenses.

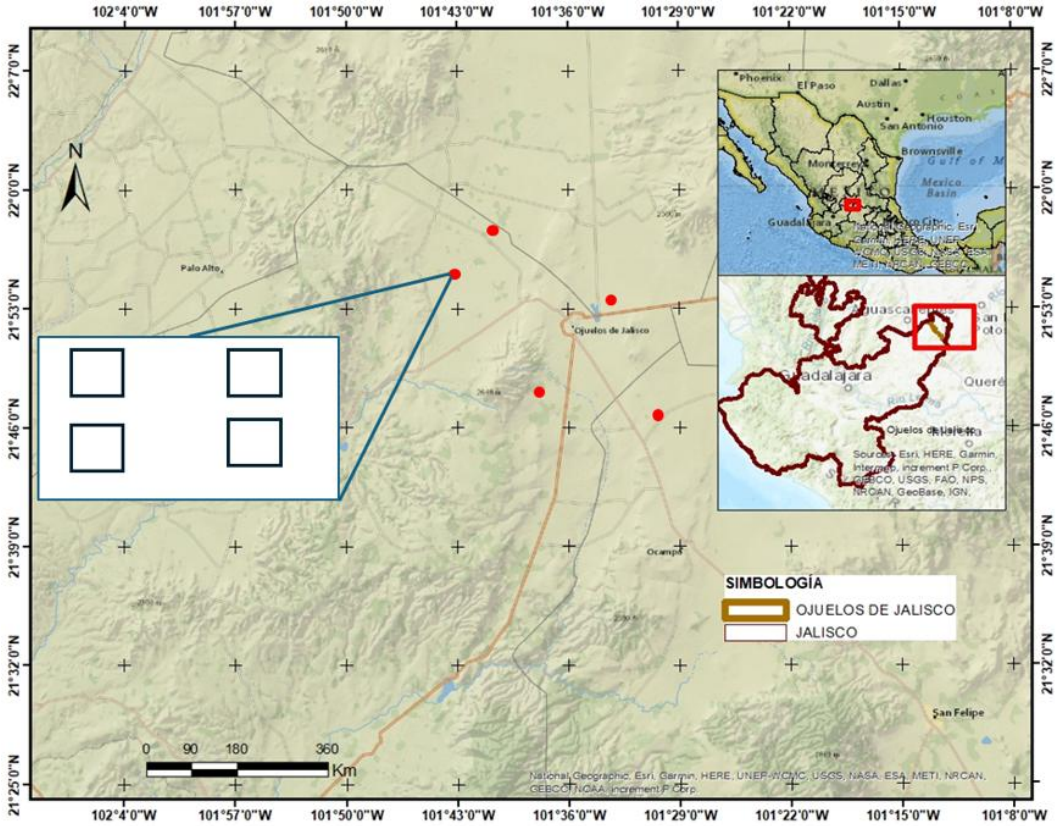


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Los puntos rojos indican las localidades seleccionadas. El recuadro blanco representa la distribución de los cuadrantes por parcela.

Los suelos predominantes en la región son Xerosoles y Regosoles, caracterizados por baja retención de humedad y limitada fertilidad natural (Santacruz *et al.* 1996). La actividad agrícola local se basa principalmente en cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), avena (*Avena sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.), todos manejados bajo condiciones de temporal y en parcelas individuales con prácticas agronómicas heterogéneas (Aguilar *et al*. 2019, Rodríguez-Pérez *et al*. 2024).

Diseño de muestreo

Para el estudio se seleccionaron cinco localidades separadas por más de 5 km entre sí. En cada localidad se identificaron parcelas gestionadas por diferentes productores, cada uno de los cuales cultivaba al menos uno de los cuatro monocultivos considerados (avena, cebada, frijol y maíz). La selección de las parcelas se basó en dos criterios: (1) el tipo de cultivo y (2) distancia mínima de 200 m entre parcelas dentro de la misma comunidad para reducir la posible interferencia espacial entre las unidades de muestreo. Se monitorearon un total de 103 parcelas, incluyendo 25 de cebada, 20 de avena, 24 de frijol y 34 de maíz. Dado que no todos los cultivos estaban representados en cada

localidad y que el estudio buscaba evaluar la variación inducida por el manejo, en lugar de los efectos geográficos, la localidad no se incluyó como factor en los análisis estadísticos.

Cada parcela constituyó la unidad experimental. Dentro de cada parcela, se distribuyeron sistemáticamente cuatro cuadrantes de 1 m^2 (Figura 1). En cada cuadrante, se registró: (1) el número de individuos del cultivo como medida de la densidad de siembra, (2) el número total de individuos de malezas, (3) la identidad taxonómica de todas las especies de malezas presentes y (4) el origen biogeográfico de cada especie (nativa o introducida). Para evitar la pseudorreplicación, se promediaron los datos de los cuatro cuadrantes para obtener un valor único por campo para todas las variables estructurales y de diversidad.

El muestreo se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera-verano (agosto-septiembre de 2023), periodo de mayor crecimiento de las arvenses. Al momento del registro, los cuatro cultivos (avena, cebada, frijol y maíz) se encontraban en una etapa fenológica de desarrollo vegetativo vigoroso (previo a la etapa reproductiva), asegurando condiciones de competencia y cobertura similares para la evaluación de la diversidad.

Todos los sistemas eran de secano y se manejaban con labranza tradicional. Se utilizaron variedades de semilla criollas para maíz y frijol, mientras que variedades regionales se emplearon para avena y cebada. Las densidades de siembra variaron entre parcelas según los criterios de los agricultores y la disponibilidad de semilla, reflejando las condiciones reales de manejo en agroecosistemas de secano. Debido a la alta incertidumbre que conllevan los cultivos de temporal, el uso de fertilizantes es prácticamente nulo y el control de malezas consiste en el deshierbe manual en etapas posteriores del cultivo. Por otra parte, la rotación y asociación de cultivos (como, avena intercalada en frijol) responden a una lógica de producción forrajera y adaptación climática, donde la avena y la cebada se emplean como cultivos de rescate ante siembras tardías (agosto-septiembre) por su menor requerimiento hídrico y tolerancia a heladas tempranas, destinándose frecuentemente al pastoreo directo en pie.

Caracterización de la comunidad de malezas

Para caracterizar la comunidad arvense asociada a cada cultivo, se calcularon los siguientes indicadores de diversidad por cuadrante: riqueza específica (S), índices de diversidad de Shannon (H′) y Simpson Inverso (1−D), dominancia (D) y equitatividad (e^H/S). También se estimó la riqueza esperada mediante los estimadores Chao 1 y Chao 2, integrando la frecuencia de especies raras en cada monocultivo.

Análisis estadísticos

Para identificar diferencias en la composición florística de especies arvenses entre tipo de cultivo se realizó un análisis de varianza multivariante con permutaciones (PERMANOVA), seguido de un análisis multinivel para identificar las especies asociadas exclusivamente a cada cultivo.

Para medir la influencia de la densidad de siembra del cultivo se utilizó las correlaciones de rangos de Kendall entre el número promedio de plantas cultivadas por cuadrante y la abundancia media total de arvenses para cada cultivo. Con el objetivo de detectar tendencias lineales o no lineales en la respuesta de las arvenses ante diferentes niveles de densidad y para examinar la tendencia

general del efecto estructural de la densidad sobre la diversidad vegetal, se ajustaron modelos de regresión lineal simple entre el número de plantas del cultivo y los índices de diversidad. Se aplicó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas en la abundancia total de arvenses entre los cuatro cultivos evaluados, seguida de un análisis post-hoc de comparación de medianas (rango de medias) para identificar diferencias específicas entre cultivos. Para los análisis estadísticos, se utilizó R versión 4.2.3, utilizando los paquetes indicspecies (De-Cáceres *et al*. 2012), vegan, ggplot2 y agricolae para los estimadores de diversidad y pruebas no paramétricas. La significancia estadística se estableció con un valor de $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

Se identificaron 42 especies de plantas arvenses que pertenecen a 20 familias, en los monocultivos de avena, cebada, frijol y maíz. Las familias con mayor representación fueron Asteraceae (8 especies), Poaceae (5) y Fabaceae (4). Del total de especies, el 55.5% fueron nativas y el 44.5% introducidas. Las especies más comunes y abundantes presentes en los cuatro cultivos fueron *Bidens* sp., *Eragrostis mexicana* y *Galinsoga parviflora* (Tabla 1). La prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencias significativas en la abundancia de arvenses entre cultivos ($p < 0.05$), donde el frijol presentó la menor abundancia total, seguido de maíz, mientras que cebada y avena registraron las mayores acumulaciones de individuos.

Tabla 1. Listado de especies, número total de individuos, (media ± desviación estándar); OB = Origen biogeográfico (N = nativa, I = introducida).

Familia/Especie	Avena	Cebada	Frijol	Maíz	OB
Poaceae					
Eragrostis mexicana (Hornem.) Link	124 (12.4 ± 22)	65 (9.28 ± 10.3)	216 (18 ± 17.8)	1355 (58.9 ± 98.3)	N
Amaranthaceae					
Amaranthus sp.	42 (5.25 ± 6.9)	26 (3.7 ± 3.09)	127 (31.7 ± 28.8)	153 (13.9 ± 17.0)	I
Chenopodium sp.	127 (15.8 ± 24.1)	4 (2 ± 2)	13 (4.33 ± 2.08)	118 (19.6 ± 15.0)	N
Asteraceae					
Ambrosia chamissonis Greene	0	1 (1 ± 0)	2 (2 ± 0)	30 (7.5 ± 7.04)	N
Bidens sp.	872 (30 ± 33.6)	450 (30 ± 25)	687 (26.4 ± 35.8)	948 (39.5 ± 42.8)	N
Bidens angustissima	0	152 (15.2 ± 9.5)	75 (9.37 ± 8.2)	283 (18.8 ± 11.3)	N
Cosmos bipinnatus Cav.	0	0	0	1 (1 ± 0)	N
Galinsoga parviflora Cav.	0	19 (6.3 ± 9.2)	0	1270 (254 ± 47.8)	N
Simsia amplexicaulis Pers.	114 (11.4 ± 13.2)	35 (11.6 ± 5.7)	45 (5 ± 5.31)	111 (11.1 ± 6.8)	N
Taraxacum officinale = Taraxacum laceratum (Brenner) Brenner	1 (1 ± 0)	0	0	16 (4 ± 3.36)	I
Tithonia tubeaformis (Jacq.) Cass.	35 (4.38 ± 4.78)	100 (12.5 ± 9.9)	131 (7.2 ± 7.9)	76 (4.47 ± 5)	N
Brassicaceae					
Brasicca sp.	130 (11.8 ± 13.7)	11 (3.6 ± 2.8)	0	3 (1 ± 0)	I
Raphanus raphanistrum L.	193 (14.8 ± 16.8)	92 (6.6 ± 7.4)	43 (3.5 ± 2.7)	112 (12.4 ± 12)	I
Compositae					
Tagetes micrantha Cav.	0	1 (1 ± 0)	0	3 (3 ± 0)	N
Convolvulaceae sp.					
Convolvulus arvensis L.	0	0	5 (5 ± 0)	0	I
Cyperaceae sp.					
Cyperus sp,	25 (6.25 ± 5.74)	14 (3.5 ± 3.1)	145 (11.1 ± 13.8)	80 (5.3 ± 4.6)	N

Desconocida 1*					
Borraja*	0	0	0	1 (1 ± 0)	
Desconocida 2*	0	0	0	4 (2 ± 0)	
Falso zacate*	0	12 (6 ± 7.07)	0	0	
Hierba del lagartijo*	0	75 (18.7 ± 26.9)	0	0	
Fabaceae					
Dalea leporina (Aiton) Bullock	45 (22.5 ± 30.41)	3 (1 ± 0)	3 (3 ± 0)	(1.16 ± 0.40)	N
Medicago polymorpha L.	6 (1.5 ± 1)	23 (4.6 ± 3.7)	7 (2.3 ± 2.3)	(3 ± 0)	I
Zornia diphylla (L.) Pers.	0	3 (3 ± 0)	0	0	N
Geraniaceae					
Erodium cicutarium (L.) L'Hér.)	0	0	3 (1.5 ± 0.70)	0	N
Malvaceae					
Anoda acerifolia Cav.	2 (2 ± 0)	5 (5 ± 0)	1 (1 ± 0)	4 (2 ± 1.41)	N
Fuertesimalva limensis (L.) Fryxell	0	3 (1 ± 0)	5 (2.5 ± 2.12)	12 (3 ± 1.8)	N
Malva sp.	0	8 (2.6 ± 1.5)	0	115 (19.1 ± 12)	I
Onagraceae					
Gaura coccinea = *Oenothera suffrutescens* (Ser.)W.L.Wagner & Hoch	0	1 (1 ± 0)	2 (2 ± 0)	0	N
Papaveraceae sp.					
Anemone mexicana = *Knowltonia mexicana* (Kunth) Christenh. & Byng	2 (2 ± 0)	1 (1 ± 0)	0	3 (1.5 ± 0.70)	N
Plantaginaceae sp.					
Plantago lanceolata L.	0	267 (24.3 ± 22.9)	0	0	I
Poaceae					
Chloris virgata = *Chloris radiata* (L.) Sw.	0	2 (2 ± 0)	0	27 (13.5 ± 13.4)	N
Cynodon dactylon (L.) Pers.	4 (1.33 ± 0.58)	20 (5 ± 2.1)	7 (1.75 ± 0.95)	48 (6.8 ± 5.5)	I
Dactylotctenium sp.	0	0	0	4 (1.3 ± 0.57)	I
Polygonaceae					
Persicaria hydropiperoides Small	0	7 (2.33 ± 1.52)	0	0	N
Polygonum sp.	0	1 (1 ± 0)	0	0	I
Portulacaceae					
Portulaca oleracea L.	0	0	0	74 (18.5 ± 19.3)	N
Primulaceae					
Lysimachia arvensis (L.) U. Manns & Anderb.	0	78 (19.5 ± 28)	1 (1 ± 0)	11 (5.5 ± 2.12)	I
Resedaceae					
Reseda luteola L.	0	13 (6.5 ± 7.77)	2 (2 ± 0)	22 (7.3 ± 9.2)	I
Solanaceae					
Physalis sp.	0	2 (2 ± 0)	3 (1.5 ± .70)	6 (3 ± 1.41)	N
Physalis ixocarpa Brot. Ex Hornem.	0	0	0	2 (2 ± 0)	N
Solanum cardiophilum = *Solanum boldoense* Dunal & A.DC.	0	0	0	3 (3 ± 0)	N
Solanum elaeagnifolium = *Solanum aethiopicum* L.	0	0	0	2 (1 ± 0)	N

*Especie no identificada.

El análisis por cultivo reveló diferencias marcadas en la riqueza de especies arvenses nativas e introducidas (Figura 2). En maíz, cebada y frijol las especies nativas fueron claramente más abundantes, mientras que en avena hubo un número muy similar de especies nativas e introducidas (Figura 2a). Sin embargo, la densidad de plantas nativas e introducidas difirió fuertemente entre cultivos; por una parte, en maíz, frijol y avena la mayoría de las plantas fueron de especies nativas, mientras que en cebada la composición fue más homogénea (Figura 2b).

Los cultivos de maíz y cebada mostraron una mayor diversidad, seguidos por el frijol y la avena. Este patrón fue consistente con los estimadores no paramétricos Chao 1 y Chao 2. El maíz presentó la mayor diversidad arvense según los índices de Shannon (H′ = 2.02) y Simpson inverso (1−D = 4.96). La avena, por su parte, mostró una diversidad más baja (H′ = 1.66; 1−D = 3.90), aunque con una equitatividad relativamente alta (Figura 3 y 4). El cultivo de avena registró el índice de dominancia más alto (D ≈ 0.29), mientras que la cebada presentó la menor dominancia y una alta equitatividad (e^H/S ≈ 0.34). En el maíz se observó una alta riqueza combinada con una baja equitatividad, lo que indica una comunidad diversa pero dominada por especies competitivas como *Bidens* sp., *Eragrostis mexicana* (Hornem.) Link y *Galinsoga parviflora* Cav., que también fueron abundantes en el frijol (Figura 4).

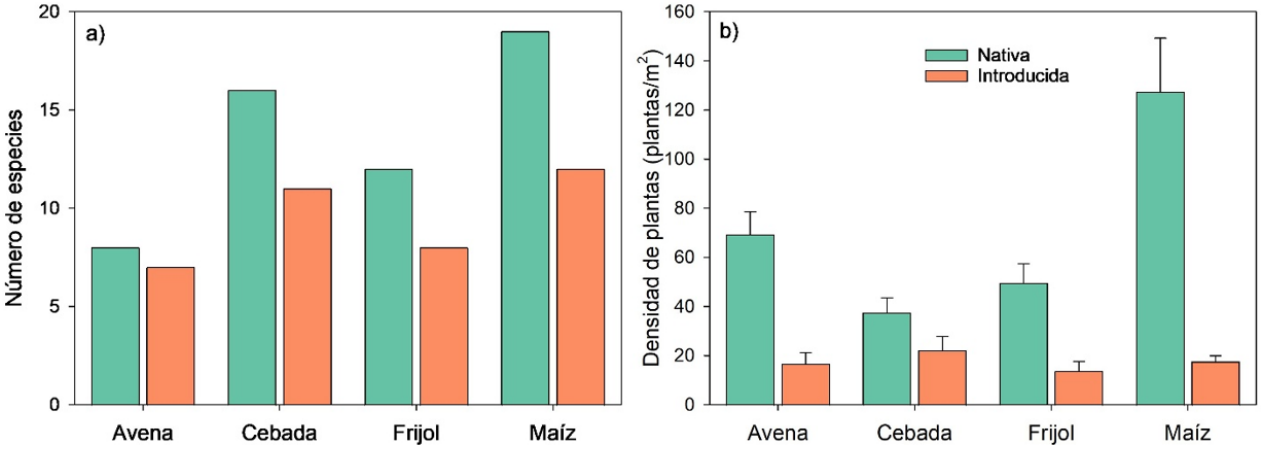


Figura 2. Riqueza (a) y densidad de plantas (b) de especies arvenses introducidas y nativas por tipo de cultivo (media ± desviación estándar).

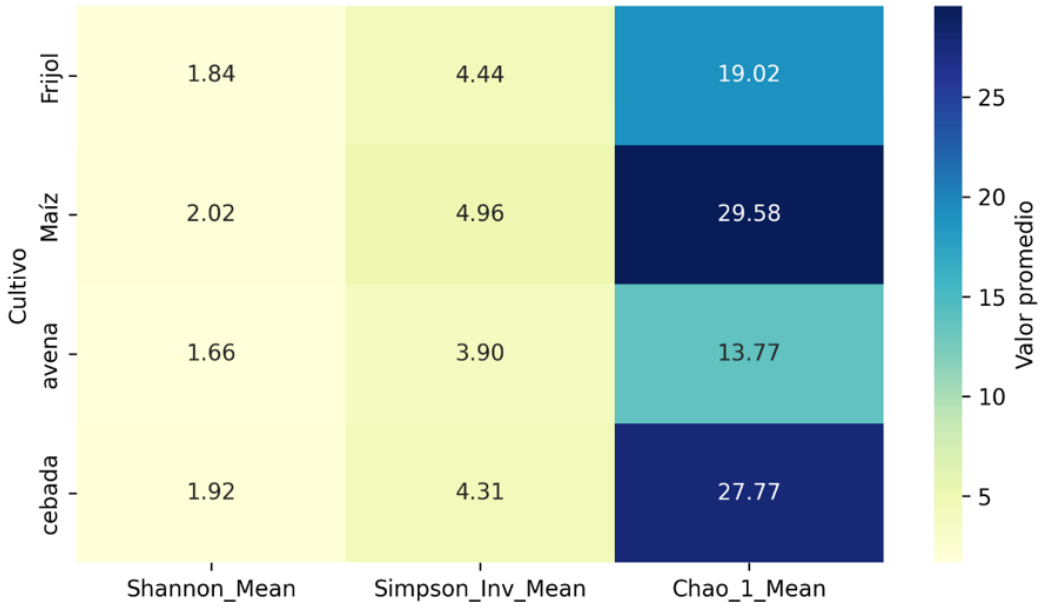


Figura 3. Matriz de calor que muestra los valores promedio de los índices de diversidad (Shannon, Simpson Inverso y Chao 1) por tipo de cultivo.

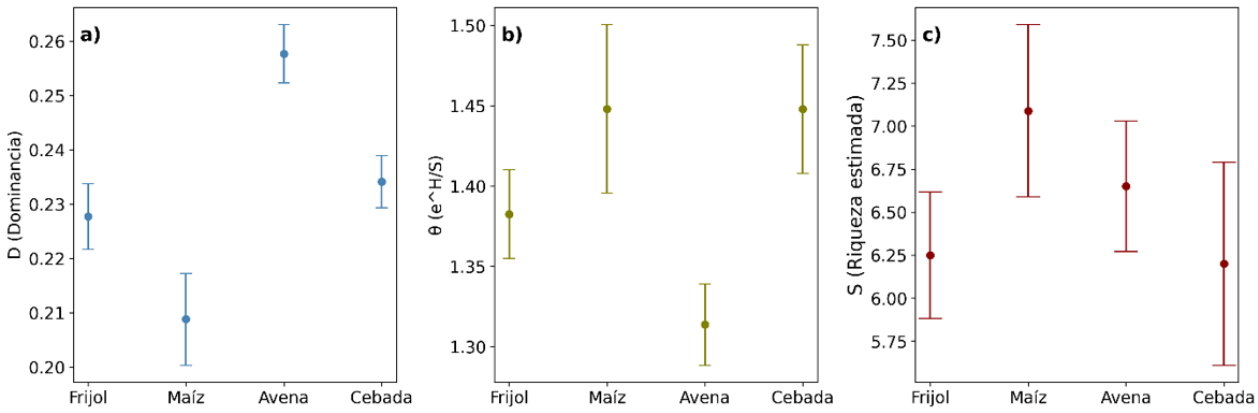


Figura 4. Comparación entre monocultivos de los índices de (a) dominancia (D), (b) Equitatividad (e^H/S) y (c) Riqueza estimada (S); medias ± 1 desviación estándar.

El análisis de PERMANOVA indicó diferencia significativa entre las comunidades de arvenses entre cultivos ($p < 0.05$), mientras que el análisis multinivel identificó a *Brassica* sp. como la especie indicadora, casi exclusiva del cultivo de avena (índice de valor indicador = 0.71); *Plantago lanceolata* (0.66), hierba del lagartijo (0.400); *Lysimachia arvensis* (0.378) y *Persicaria hydropiperoides* (0.34) fueron las especies indicadoras para el cultivo de cebada; Malva sp. (0.402) y *Galinsoga parviflora* (0.380) para maíz; mientras que ninguna especie fue indicativa para frijol. Por otra parte, *Chenopodium* sp. (0.49) fue característica de avena y maíz, y *Cyperus* sp. (0.63) de frijol y maíz.

Las densidades de plantas observadas en campo mostraron valores sistemáticamente inferiores a las densidades de siembra recomendadas, registrándose promedios de 6 plantas m^{-2} para frijol (frente a 12-17 recomendadas), 3.4 plantas m^{-2} para maíz (frente a 5 recomendadas), y 50 y 41 plantas m^{-2} para avena y cebada, respectivamente (recomendación de 150 y 200 plantas m^{-2} para avena y cebada, respectivamente. Se encontró una relación entre la densidad de plantas del cultivo y la estructura de la comunidad arvense. En avena y frijol, las parcelas con baja densidad de plantas tuvieron una mayor riqueza de especies arvenses, mientras que en cebada ocurrió lo contrario, con mayor riqueza en densidades altas. En el maíz no se observó un patrón definido, con una mayor dispersión en los valores registrados (Figura 5).

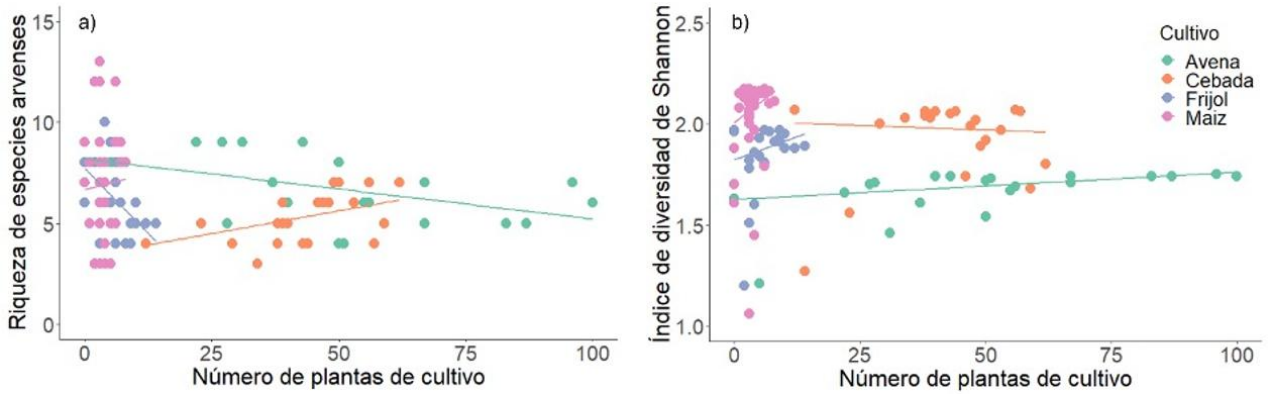


Figura 5. Relación entre el número de plantas de cultivo y la riqueza de especies arvenses (a), y el índice de diversidad de Shannon (b). Avena (n = 20); cebada (n = 25); frijol (n = 24); maíz (n = 34).

Las correlaciones de rangos de Kendall entre el número promedio de plantas cultivadas por cuadrante y la abundancia media total de arvenses confirmaron estas tendencias (Tabla 2). En el cultivo de avena y frijol hubo una correlación negativa moderada (ϱ = -0.36 y -0.39 para avena y frijol, respectivamente). En cambio, el maíz mostró correlaciones negativas débiles, mientras que fue positiva en cebada (Tabla 2). Los modelos de regresión lineal entre el número de plantas cultivadas y la riqueza confirmaron estas tendencias (Figura 5a), mientras que mostraron tendencias contrarias en la relación entre el número de plantas de cultivo y el índice de diversidad de Shannon (Figura 5b).

Tabla 2. Correlación de rangos de Kendall entre el número de plantas de cultivo y número de plantas de arvenses en los cuatro monocultivos.

Cultivo	Número de pantas		Tau de Kendall
Avena	995	1722	-0.36
Frijol	139	1523	-0.39
Cebada	1036	1494	0.31
Maíz	116	4907	0.0

DISCUSIÓN

La predominancia de las familias Asteraceae, Poaceae y Fabaceae coincide con patrones observados en otros agroecosistemas de zonas templadas y tropicales, donde estas familias suelen dominar debido a su alta plasticidad ecológica (Sánchez-Reyes *et al*. 2024). La composición de especies nativas e introducidas puede explicarse, en gran medida, por el tipo de manejo agrícola. Los sistemas tradicionales, como maíz y frijol, generalmente se caracterizan por un menor uso de insumos y mayor heterogeneidad estructural, lo que favorece la persistencia de especies nativas (Altieri y Koohafkan 2004, Sánchez-Reyes *et al*. 2024). En contraste, los cultivos tecnificados, como la cebada presentan condiciones más homogéneas y están sujetos a prácticas de manejo más intensivas, lo cual promueve la proliferación de especies exóticas oportunistas (Jain *et al*. 2025). Además, factores como la historia de uso del suelo, el tipo de cultivo y el uso diferencial de insumos también influyen sobre la composición florística observada (Liebman *et al*. 1997, Balcázar-Quiñones *et al*. 2020).

La combinación de alta riqueza y baja equitatividad en el cultivo de maíz puede estar relacionada con una baja cobertura inicial del cultivo o espaciamientos amplios que favorecen el establecimiento de arvenses oportunistas (Tollenaar *et al*. 1994, Chandrasena 2021). La mayor homogeneidad de especies en la cebada se asocia a su condición de cultivo forrajero tecnificado, mientras que la mayor proporción de especies nativas en maíz y frijol sugiere una mayor conexión con la vegetación local. A pesar de la alta riqueza en maíz y frijol, la baja equitatividad indica que unas pocas especies dominantes tienden a monopolizar los recursos, lo que podría limitar el desarrollo de especies subordinadas y reducir la funcionalidad ecosistémica (Kanatas 2020).

Diversos estudios han documentado que las arvenses, además de su valor como bioindicadores, pueden desempeñar funciones ecológicas relevantes en agroecosistemas. Algunas especies, incluso

sin uso agrícola directo, tienen importancia trófica o cultural y contribuyen a la conservación de servicios ecosistémicos como la polinización, el control biológico y la regulación microclimática (Gerowitt *et al*. 2017, Alignier *et al*. 2024, Gazoulis *et al*. 2024). En este contexto, los sistemas con mayor diversidad y menor dominancia pueden tener mayor funcionalidad y resiliencia ante perturbaciones (Downing *et al*. 2012).

La relación observada entre la densidad del cultivo y la estructura de las arvenses no es uniforme entre los sistemas evaluados. En el caso de la avena, la tendencia hacia una menor abundancia en densidades mayores es coherente con estudios que sugieren que una cobertura temprana del cultivo puede limitar el establecimiento de arvenses (Harker y O'Donovan 2013, Adeux *et al*. 2019). No obstante, en el frijol, la arquitectura de hojas anchas parece jugar un rol relevante en el sombreado del suelo incluso a densidades bajas, mientras que la estructura de la cebada permite una mayor transmisión de luz a pesar de su mayor densidad de siembra. Esto sugiere que la densidad actúa más como un factor modulador cuya eficacia está supeditada a los atributos funcionales y arquitectónicos de cada cultivo (Zingsheim y Döring 2024).

Las diferencias observadas entre el maíz y la avena radican en sus estrategias de ocupación del nicho. La avena (*Avena sativa*), al ser una gramínea de crecimiento amacollado, genera un sombreado temprano y uniforme que actúa como un filtro ambiental severo, limitando la germinación de arvenses fotoblásticas. En contraste, el maíz (*Zea mays*) de temporal, debido a su arquitectura de hojas decumbentes o erectas y su disposición en surcos amplios, permite la formación de claros de luz persistentes durante gran parte del ciclo vegetativo. Estos espacios facilitan la coexistencia de una mayor riqueza de especies, aunque la competencia por recursos subterráneos (nitrógeno y agua) provoque que solo unas pocas especies dominen la comunidad (especies como *Malva* sp. y *Galinsoga parviflora*; Blanco-Valdés y González-Viera 2021). El aumento de la riqueza junto con la disminución de la diversidad en algunos cultivos sugiere que, a mayor riqueza, la comunidad tiende a ser dominada por unas pocas especies muy competitivas que monopolizan los recursos (Weiner *et al*. 2001, Harker y O'Donovan 2013). En particular, la reducción en la diversidad observada en cebada podría explicarse por un efecto de exclusión de especies subordinadas, resultado de una competencia temprana e intensa por agua y nutrientes, propia de cultivos de rápido establecimiento (Radosevich *et al*. 2007, Adeux *et al*. 2019); esto debido a que el cultivo de la cebada se realiza a finales de la estación de lluvias y con temperaturas más bajas, como un cultivo de invierno.

Bajo este contexto, una mayor densidad de siembra no se traduce necesariamente en una supresión directa de las arvenses, sino que puede favorecer la persistencia de especies con mayor tolerancia a la competencia (Blank y Mesgaran 2024). En cultivos establecidos a altas densidades se observa generalmente una reducción en la riqueza de especies, acompañada de niveles elevados de abundancia asociados con la consolidación de unas pocas especies generalistas (Kanatas 2020, Zingsheim y Döring 2024). Sin embargo, la influencia de la densidad debe interpretarse en conjunto con las características biológicas del cultivo y las condiciones locales de manejo (Benaragama *et al.* 2024). En sistemas más abiertos, como el maíz, la variación en la densidad no parece constituir un factor determinante por sí solo, lo que evidencia la complejidad de las interacciones en agroecosistemas no controlados. Estos resultados sugieren que el manejo de las comunidades arvenses requiere un enfoque integrado que considere, además de la densidad de plantas, prácticas

como la rotación de cultivos, la cobertura vegetal y la diversidad funcional de las especies presentes. Asimismo, el reconocimiento de las arvenses como componentes funcionales del agroecosistema permite explorar estrategias de manejo que valoren su contribución ecológica y su papel en la resiliencia del sistema productivo (Blank y Mesgaran 2024).

A pesar de que este estudio aporta evidencia relevante sobre la interacción entre la densidad del cultivo y la flora arvense en condiciones reales de producción, es imperativo reconocer ciertas limitaciones metodológicas intrínsecas al trabajo de campo en parcelas comerciales. Al no tratarse de un diseño experimental controlado, factores como la variabilidad en las fechas de siembra, la selección de variedades y las prácticas de labranza específicas de cada productor introducen un ruido estadístico que debe ser considerado. Asimismo, la etapa fenológica del cultivo al momento del muestreo desempeña un papel determinante, ya que la arquitectura de la planta y su demanda de recursos fluctúan a lo largo del ciclo, modificando la presión competitiva sobre las arvenses. Por lo tanto, los resultados aquí presentados deben interpretarse como asociaciones observacionales en un contexto multisitio. Finalmente, el muestreo se realizó durante un único año, lo que impide capturar dinámicas temporales asociadas a especies de emergencia tardía o de ciclo corto. Estas limitaciones recalcan la importancia de realizar estudios experimentales controlados y de largo plazo, que permitan validar los patrones detectados, analizar la interacción entre variables estructurales y funcionales, y avanzar hacia esquemas de manejo basados en una ecología contextualizada de las comunidades de arvenses.

CONCLUSIONES

Este estudio mostró diferencias importantes en la composición florística de las especies de arvenses asociadas a los monocultivos de maíz, frijol, cebada y avena en condiciones de temporal; por un parte, el maíz favoreció la riqueza, la cebada promovió el equilibrio (equitatividad) y la avena indujo la dominancia de pocas especies indicadoras específicas. El frijol no mostró ninguna especie indicadora propia, sino que compartió especies con maíz, cebada y avena. Por otra parte, los resultados mostraron que la densidad actúa como un modulador de la riqueza y diversidad de las especies acompañantes, aunque con respuestas diferenciadas según el tipo de cultivo. Los patrones observados, particularmente la correlación negativa entre la densidad y la riqueza en el cultivo de avena, sugieren que la densidad de plantas actúa como un filtro ecológico que modula la disponibilidad de recursos y el establecimiento de especies. No obstante, dada la naturaleza observacional de este trabajo y la heterogeneidad en el manejo agronómico de las parcelas de los productores, los hallazgos deben interpretarse como tendencias exploratorias y no como relaciones causales definitivas. Este trabajo constituye una base florística y ecológica fundamental para el diseño de estrategias de manejo agroecológico adaptadas a las condiciones reales de producción en el centro de México

AGRADECIMIENTOS

A José Antonio Arias Durón por el valioso apoyo técnico brindado durante las actividades de levantamiento de datos en campo.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia

LITERATURA CITADA

Adeux G, Vieren E, Carlesi S, Bàrberi P, Munier-Jolain N, Cordeau S (2019) Mitigating crop yield losses through weed diversity. Nature Sustainability 2(11): 1018-1026. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0415-y

Aguilar BG, Vázquez-Díaz EG, Castro-Rivera R, Cruz-Crespo E, Jarquín-Gálvez R (2019) Germinación de cultivares de frijol con características físicas contrastantes bajo condiciones de estrés osmótico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10(2): 239-251. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.720

Alignier A, Carof M, Aviron S (2024) Assessing cropping system multifunctionality: An analysis of trade-offs and synergies in French cereal fields. Agricultural Systems 221: 104100.

Altieri MA, Koohafkan P (2004) Globally important ingenious agricultural heritage systems (GIAHS): Extent, significance, and implications for development. Proceedings of the second international workshop and steering committee meeting for the globally important agricultural heritage systems. FAO, Rome, Italy. 24p.

Balcázar-Quiñones A, White-Olascoaga L, Chávez-Mejía C, Zepeda-Gómez C (2020) Los quelites: riqueza de especies y conocimiento tradicional en la comunidad Otomí de San Pedro Arriba, Temoaya, Estado de México. Polibotánica 49: 219-242. https:// doi.org/10.18387/polibotanica.49.14

Benaragama DI, Willenborg CJ, Shirtliffe SJ, Gulden RH (2024) Revisiting cropping systems research: An ecological framework towards long-term weed management. Agricultural Systems 213: 103811. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103811

Blanco-Valdes Y, González-Viera D (2021) Influencia de la densidad de población en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Cultivos Tropicales 42(3).

Blank L, Mesgaran MB (2024) Broadening the scope of weed research: Integrating ecological theories to propel weed management. Weed Research 64(5): 349-355. https://doi.org/10.1111/wre.12654

Chandrasena N (2021) Malezas y biodiversidad: Algunas reflexiones. Revista de la Sociedad de Ciencias de Malezas de Asia y el Pacífico 3(2): 1-19.

De-Cáceres M, Legendre P, Wiser SK, Brotons L (2012) Using species combinations in indicator analyses. Methods in Ecology and Evolution 3(6): 973-982.

Downing AS, Nes EH, Mooij WM, Scheffer M (2012) The resilience and resistance of an ecosystem to a collapse of diversity. Plos One 7(9): e46135. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046135

Gazoulis I, Kanatas P, Zannopoulos S, Kokkini M, Kontogeorgou V, Antonopoulos N, Travlos I (2024) Agroecology and beyond: enhancing ecosystem services provided by natural vegetation and inventing "service weeds". Frontiers in Plant Science 15: 1436310. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1436310

Gerowitt B, Bàrberi P, Darmency H, Petit S, Storkey J, Westerman P (2017) Weeds and biodiversity. In: Hatcher PE, Froud-Williams RJ (eds) Weed Research: Expanding Horizons. Wiley. pp. 115-147. https://doi.org/10.1002/9781119380702.ch5

Harker KN, O'Donovan JT (2013) Recent weed control, weed management, and integrated weed management. Weed Technology 27(1): 1-11. https://doi:10.1614/WT-D-12-00109.1

Heap I, Duke SO (2018) Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. Pest Management Science 74(5): 1040-1049. https://doi.org/10.1002/ps.4760

Ilic J (2023) The role of weeds as a source of beneficial microorganisms. European Journal of Plant Pathology 167(4): 427-431. https://doi.org/10.1007/s10658-023-02699-8

Jain D, Singh P, Rani K, Prajapati A (2025) Oat, a distinct cereal: Origin, history, production practices, and production economics. In: Tomar M, Sing P (eds) Oat (*Avena sativa*) productión tu plate. CRC Press. USA. pp. 1-4.

Kanatas P (2020) Mini-review: The role of crop rotation, intercropping, sowing dates and increased crop density towards a sustainable crop and weed management in arable crops. Journal of Agricultural Science 1: 22-27. https://doi.org/10.15159/jas.20.11

Liebman M, Gallandt ER, Jackson LE (1997) Many little hammers: ecological management of crop-weed interactions. Ecology in Agriculture 1: 291-343.

Mwangi O, Mucheru-Muna M, Kinyua M, Bolo P, Kihara J (2024) Organic farming practices increase weed density and diversity over conventional practices: a meta-analysis. Heliyon 10(12): e32761. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32761

Radosevich S, Holt J, Ghersa C (2007) Ecology of weeds and invasive plants: Relationship to agriculture and natural resource management. 3er. Ed. Wiley, New York. 439p. http://dx.doi.org/10.1002/9780470168943

Ren Z, Gibson DJ, Gage KL, Matthews JL, Owen MD, Jordan DL, Young BG (2024) Exploring the effect of region on diversity and composition of weed seedbanks in herbicide-resistant crop systems in the United States. Pest Management Science 80(3): 1446-1453. https://doi.org/10.1002/ps.7875

Rodríguez-Pérez G, García-Ramirez A, Reynaga-Franco FJ, Mendívil-Mendoza JE, Cervantes-Ortiz F, Andrio-Enriquez E, Mendoza-Elos M (2024) Yield stability of purple corn hybrids (*Zea mays* L.) in southern Sonora, Mexico. Agrociencia 58(3). https://doi.org/10.47163/agrociencia.v58i3.2980

Sánchez-Reyes GA, Vibrans H, Rendón-Aguilar B (2024) How do farming practices influence the richness and floristic composition of weeds in some Mexican maize fields?. Discover Agriculture 2(1): 122. https://doi.org/10.1007/s44279-024-00134-y

Santacruz GAA, Moya EG, Gonzalez CV, Flores JLF (1996) Importancia de los elementos climáticos en la variación florística temporal de pastizales semidesérticos. Acta Botánica Mexicana 35: 65-81. https://doi.org/10.21829/abm35.1996.957

Tollenaar M, Dibo AA, Aguilera A, Weise SF, Swanton CJ (1994) Effect of crop density on weed interference in maize. Agronomy Journal 86(4): 591-595. https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600040003x

Weiner J, Griepentrog HW, Kristensen L (2001) Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity. Journal of Applied Ecology 38(4): 784-790. https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00634.x

Zingsheim ML, Döring TF (2024) Does weed diversity mitigate yield losses? Frontiers in Plant Science 15: 1395393. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1395393