

Floricultura intensiva y deforestación: un análisis desde los cambios de uso de suelo en Villa Guerrero, Estado de México

Intensive floriculture and deforestation: an analysis of land use changes in Villa Guerrero, Estado de México

Luis Gerardo Domínguez Guadarrama¹, Carlos Israel Vázquez León^{2*}

¹ Maestría en Administración Integral del Ambiente, El Colegio de la Frontera Norte. San Antonio del Mar, Tijuana, B. C., México. CP. 22560. 2163luis@gmail.com

² Departamento de Estudios Urbanos y Medio Ambiente, El Colegio de la Frontera Norte. San Antonio del Mar, Tijuana, B. C., México. CP. 22560 Tel 664-6316300 ext 1309; cvazquez@colef.mx

*Autor de correspondencia

Resumen

Palabras clave:

Ecosistemas
forestales;
invernaderos; análisis
espacial.

La creciente presión que enfrentan los ecosistemas forestales debido a la expansión de las actividades humanas, como la agricultura, ha provocado su deterioro y disminución, generando repercusiones no solo en los propios ecosistemas, sino también en las comunidades urbanas y rurales. Estos procesos son la justificación para el desarrollo del presente trabajo, que tiene como objetivo describir y analizar el proceso de deforestación en Villa Guerrero, Estado de México, a través de la estimación de cambio de uso de suelo. Se utilizaron imágenes satelitales Landsat 5 y 8 correspondientes a los años 1994 y 2023. Durante este periodo de 29 años, se registró una pérdida de 4553.39 ha de superficie forestal. Se discute que la actividad florícola es el principal factor responsable de la deforestación en las áreas naturales.

Abstract

Keywords: Forest
ecosystems;
greenhouses; spatial
analysis.

The increasing pressure faced by forest ecosystems due to the expansion of human activities, such as agriculture, has caused their deterioration and decline, generating repercussions not only in the ecosystems themselves, but also in urban and rural communities. These processes justify the present work, which aims to describe the deforestation process in Villa Guerrero, Estado de México, through the estimation of land use change. Landsat 5 and 8 satellite images corresponding to the years 1994 and 2023 were used. During this 29-year period, a loss of 4553.39 ha of forest area was recorded. It is argued that floricultural activity is the main factor responsible for deforestation in natural areas.

Recibido: 23 de septiembre de 2024

Aceptado: 05 de junio de 2025

Publicado: 7 de enero de 2026

Cómo citar: Domínguez, L. G.; & Vázquez, C. I. (2026). Floricultura intensiva y deforestación: un análisis desde los cambios de uso de suelo en Villa Guerrero, Estado de México. *Acta Universitaria* 36, e4365. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2026.4365>

Introducción

En México, los ecosistemas forestales abarcan 137.8 millones de hectáreas, incluyen bosques, selvas, manglares y otras asociaciones vegetales (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente [Profepa], 2020). En particular, los bosques templados están distribuidos en la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico, mientras que las selvas secas se encuentran en la vertiente del Pacífico, desde Sonora hasta Chiapas (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], 2021, 2022). Estos ecosistemas, además de su riqueza biológica, brindan servicios ecosistémicos clave para el bienestar humano y el equilibrio ambiental.

Sin embargo, la deforestación, a través del cambio de uso de suelo forestal hacia actividades económicas, como la agricultura intensiva, es un proceso crítico que modifica de forma drástica la vegetación natural y, con ello, la degradación de los ecosistemas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2023). La expansión y extensión de la influencia humana en el entorno natural implica consecuencias, tales como la disminución de los servicios ecosistémicos, la pérdida de biodiversidad (Rockström *et al.*, 2009) y la contribución a procesos de cambio climático (Sehuagún-Sánchez & Reyes-Hernández, 2018), por mencionar algunos.

En este contexto, Villa Guerrero, Estado de México, se erige como un caso representativo. Con cerca del 49% de su superficie cubierta por vegetación natural -principalmente por bosques templados y selva baja caducifolia-, este territorio ha experimentado numerosas transformaciones asociadas al cambio de uso de suelo¹. Dedicado históricamente a la fruticultura, como el cultivo de aguacate, durazno, pera y manzana, el municipio ha pasado hacia un modelo de producción florícola intensiva en invernadero, lo que ha generado una considerable pérdida de cobertura vegetal y fragmentación del paisaje natural (Andrade & Castro, 2018; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2018).

En este marco, es necesario generar un diagnóstico ambiental y territorial del municipio, que aporte insumos relevantes para la planeación y ordenación social y ecológica del territorio. Por consiguiente, se emplea el análisis espacial como una herramienta metodológica para examinar con precisión la dinámica territorial y las variaciones en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo. En este contexto, la investigación propone examinar los cambios en el uso del suelo en Villa Guerrero, destacando la deforestación como un problema ambiental complejo. Esta investigación busca generar información clave para los actores involucrados, facilitando la toma de decisiones dirigidas a la conservación de los ecosistemas forestales en un entorno marcado por una intensa presión antropogénica.

¹ De acuerdo con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018), el cambio de uso de suelo es “la remoción total o parcial de la vegetación forestal de los terrenos forestales arbolados [...] para destinarlos o inducirlos a actividades no forestales” (p. 7). En este sentido, el cambio de uso de suelo puede provocar alteraciones significativas en la cobertura del suelo y efectos ambientales a distintas escalas (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2012). Este proceso implica tanto la extensión transformada (densidad) como la velocidad del cambio (intensidad), afectando la funcionalidad ecológica del territorio (Gallardo, 2017).

Materiales y métodos

Área de estudio

Villa Guerrero es un municipio localizado en el suroeste del Estado de México, se sitúa distintivamente entre el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur, dentro de la región hidrológica del río Balsas. Se caracteriza por ser predominantemente rural, posee un entorno físico definido por suelos andosoles y vertisoles, un clima templado subhúmedo y la existencia de recursos hídricos como el río Calderón, configurando un paisaje con diversidad ecológica. Dichas características se presentan en dos zonas bioclimáticas predominantes: los bosques templados en la región norte y la selva baja caducifolia en el sur. En el entorno socioeconómico se destaca el sector primario y a la floricultura como actividad económica predominante². Estas características distinguen a Villa Guerrero, consolidando no solo su identidad cultural, sino también su dinámica ecológica y económica (Ayuntamiento de Villa Guerrero, 2021; Ceballos, 2018; INEGI, 2010, 2021).

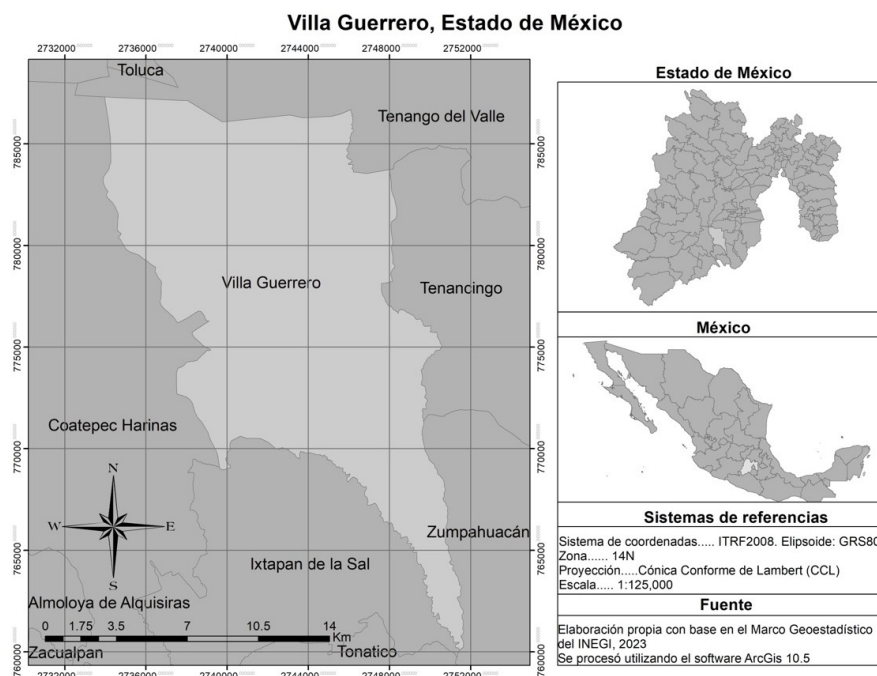


Figura 1. Mapa de ubicación de Villa Guerrero, Estado de México.
 Fuente: Elaboración propia con base en el marco geoestadístico del INEGI (2023).

² Para el año 2023, la floricultura representó el 57.48% del total de hectáreas cosechadas del sector agrícola en la región y concentró el 95.38% del valor total de la producción (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023).

Metodología

Para identificar los cambios del uso de suelo y los procesos de deforestación en Villa Guerrero, se empleó la metodología propuesta por Pontius *et al.* (2004), en el cual, por medio de la matriz de tabulación cruzada, se identifican ganancias y pérdidas. Se establecieron cinco categorías utilizando imágenes satelitales del programa LANDSAT, mediante la función Iso Cluster Unsupervised Classification, del *software* ArcGIS 10.5.

Se evaluó el cambio de uso del suelo y deforestación de 1994 a 2023, este se efectuó utilizando la matriz de transición, facilitando la descripción de los patrones de cambio.

Obtención de imágenes Landsat

Se utilizaron imágenes satelitales provenientes de los satélites Landsat 5 y 8, ambas del programa LANDSAT operados por la NASA y distribuidos públicamente a través del portal EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés).

Landsat 5, en operación desde 1984, está equipado con siete bandas espectrales. De ellas, la mayoría cuenta con una resolución espacial de 30 metros, excepto la banda térmica, con una resolución de 120 metros (U. S. Geological Survey [USGS], 2022). En contraste, Landsat 8, lanzado el 11 de febrero de 2013, incorpora dos sensores: el Operational Land Image (OLI), con nueve bandas -ocho de ellas con una resolución de 30 metros y una (la banda pancromática) con 15 metros-, y el Thermal Infrared Sensor (TIRS), encargado de las bandas térmicas 10 y 11, con una resolución de 100 metros (USGS, 2019).

Para este análisis, se eligieron imágenes correspondientes a los años 1994 y 2023, cubriendo un intervalo de casi tres décadas (24 de noviembre de 1994 al 16 de noviembre de 2023). La selección respondió a criterios históricos y analíticos: 1994 representa el año de inicio del Programa Nacional de Modernización del Campo, mientras que 2023 ofrece una visión reciente del estado actual del territorio.

Con el fin de mejorar la interpretación visual de las coberturas del suelo, se aplicaron correcciones radiométricas y composiciones de bandas específicas. Estas operaciones facilitaron la identificación y diferenciación de elementos del paisaje, mejorando la claridad visual de las imágenes y favoreciendo su clasificación para fines de análisis territorial.

Procesamiento de imágenes Landsat

Para una mejor interpretación de las coberturas del suelo, se aplicaron combinaciones específicas de bandas espectrales en las imágenes satelitales. En el caso de Landsat 5, se utilizaron las bandas TM7 (infrarrojo de onda corta), TM4 (infrarrojo cercano) y TM2 (azul), mientras que para Landsat 8 se eligieron las bandas OLI7 o SWIR 2 (infrarrojo de Onda Corta 2), OLI5 (infrarrojo cercano) y OLI3 (verde). Estas combinaciones permitieron resaltar contrastes importantes del paisaje, lo que facilitó una lectura precisa de los distintos tipos de cobertura (Jiménez, 2016).

El procesamiento de las imágenes se realizó con el *software* ArcGIS 10.5. Una vez cargadas, las escenas fueron recortadas con base en los límites del municipio, tomado del Marco Geoestadístico 2023 del INEGI (2023). Posteriormente, se aplicó una clasificación no supervisada utilizando la herramienta Iso Cluster Unsupervised Classification. Esta técnica permitió segmentar el área en cinco categorías distintas que corresponden a diferentes usos de suelo, definidos de acuerdo con sus características visuales y espectrales (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación del uso de suelo y vegetación natural en Villa Guerrero, Estado de México.

Categoría		Descripción del uso de suelo
1.	Vegetación natural	Bosque templado, selva baja caducifolia, otras asociaciones vegetales.
2.	Zonas agrícolas heterogéneas	Agricultura de riego, de temporal y áreas sin vegetación aparente.
3.	Cultivos permanentes	Invernaderos, túneles y maya sombra.
4.	Asentamientos humanos	Cabecera municipal, comunidades rurales y la central de abastos "Jamaica".
5.	Cuerpos de agua	Presas de riego.

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (1992, 2018) y trabajo de campo, 2024.

Una vez definidas las cinco categorías de uso de suelo y vegetación, se procedió a comparar los resultados obtenidos para los años 1994 y 2023. Para ello, se superpusieron los mapas temáticos de ambas fechas utilizando la herramienta "Intersect" en el software ArcGIS 10.5. Esta operación facilitó identificar las áreas donde ocurrieron transformaciones en la cobertura del territorio, generando un nuevo mapa que refleja con precisión los cambios registrados a lo largo del periodo analizado, es decir, durante los últimos 29 años.

Se realizó una evaluación de fiabilidad utilizando la matriz de confusión, complementada con el índice Kappa, aplicando ambos métodos en los años 1994 y 2023. La matriz de confusión opera como una tabla de contingencia, es una herramienta estadística diseñada para examinar conjuntos de observaciones emparejadas. Su uso se ha consolidado como un método para evaluar la precisión de los datos obtenidos mediante técnicas de teledetección³ (Ariza-López *et al.*, 2018).

El índice Kappa (k) permite medir la diferencia entre el mapa generado y la realidad, teniendo en cuenta la coincidencia que podría ocurrir por azar. Su fórmula general es $K=(Po-Pe)/(1-Pe)$, donde Po es la proporción de elementos correctamente clasificados y Pe es la proporción de coincidencia esperada por azar. Ambos valores se calculan a partir de los resultados de la matriz de confusión (Gallardo *et al.*, 2022; Poveda-Sotelo *et al.*, 2022).

Como material de apoyo, se revisaron mapas de uso de suelo y vegetación proporcionadas por INEGI (1992) (datos vectoriales de cartas de uso de suelo y vegetación, serie I del año 1992 y VII del año 2018). Se hicieron recorridos de campo durante el periodo del 20 de febrero de 2024 al 20 de marzo de 2024, con la finalidad de obtener coordenadas e imágenes fotográficas y comparar imágenes del municipio a través de GoogleEarth.

³ En cuanto a su contenido, la matriz de confusión se compone de un conjunto de valores que representa la comparación entre observaciones emparejadas. Aquí, las columnas presentan al conjunto de referencias, las hileras a las clases generadas en el proceso de clasificación y la diagonal contiene los muestreos correctos. Para este caso específico, se utilizaron 50 unidades de muestreo (píxeles) aleatorio estratificado por categoría, las cuales permiten estimar el grado de similitud entre los datos. La comparación se realizó entre dos conjuntos: uno generado mediante la clasificación no supervisada y otro utilizando como referencia la imagen satelital Landsat (Ariza-López *et al.*, 2018).

Análisis de la matriz de tabulación cruzada

Como parte del análisis espacial, se generó una matriz de tabulación cruzada que permitió examinar los cambios entre las coberturas de suelo en los años 1994 (T_1) y 2023 (T_2). Esta matriz se construyó a partir de la combinación de los mapas clasificados para ambos años, y presenta de manera estructurada las dinámicas de cambio entre categorías.

En la matriz, cada fila corresponde a una clase de uso de suelo registrada en 1994, mientras que las columnas representan las clases observadas en 2023. Las celdas ubicadas sobre la diagonal (sombreadas en gris) indican las áreas que no experimentaron modificaciones, es decir, aquellas que conservaron la misma categoría entre ambos momentos (P_{ij}).

Tabla 2. Matriz de tabulación cruzada.

Categorías		Tiempo 2					Total T_1	Pérdidas P
		1	2	3	4	5		
Tiempo 1	1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
	2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{25}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
	3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{35}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
	4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{45}	P_{4+}	$P_{4+} - P_{44}$
	5	P_{51}	P_{52}	P_{53}	P_{54}	P_{55}	P_{5+}	$P_{5+} - P_{55}$
Total T_2		P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	P_{+5}		
Ganancias G		$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$	$P_{+5} - P_{55}$		

Fuente: Elaboración propia, adaptada de Pontius *et al.* (2004).

Las celdas fuera de la diagonal muestran las transiciones, ya sea ganancias o pérdidas entre diferentes tipos de cobertura. Además, en la columna total de cada fila se incluye la notación (P_{i+}), que refleja el área total ocupada por cada categoría en 1994, mientras que en la fila total de cada columna aparece la notación (P_{+j}), correspondiente al área registrada para cada clase en 2023.

Adicionalmente, se incorporó una columna que señala la pérdida de superficie de cada categoría entre ambos periodos, calculada mediante la fórmula $P = (P_{j+} - P_{ij})$. En la parte inferior de la matriz también se muestra una fila que indica las ganancias, expresadas como $G = (P_{+j} - P_{ij})$, es decir, el incremento de superficie para cada categoría en el segundo periodo (Pontius *et al.*, 2004).

Resultados

Las dinámicas sociales y económicas de una región determinan la transformación del uso de suelo, generando impactos, por lo que el análisis del cambio es una herramienta importante para comprender estos impactos. Para lograrlo se recolectaron y analizaron datos espaciales de los años 1994 y 2023, obteniendo dos mapas diferenciados de uso de suelo y vegetación. A continuación, se presentan los resultados del análisis.

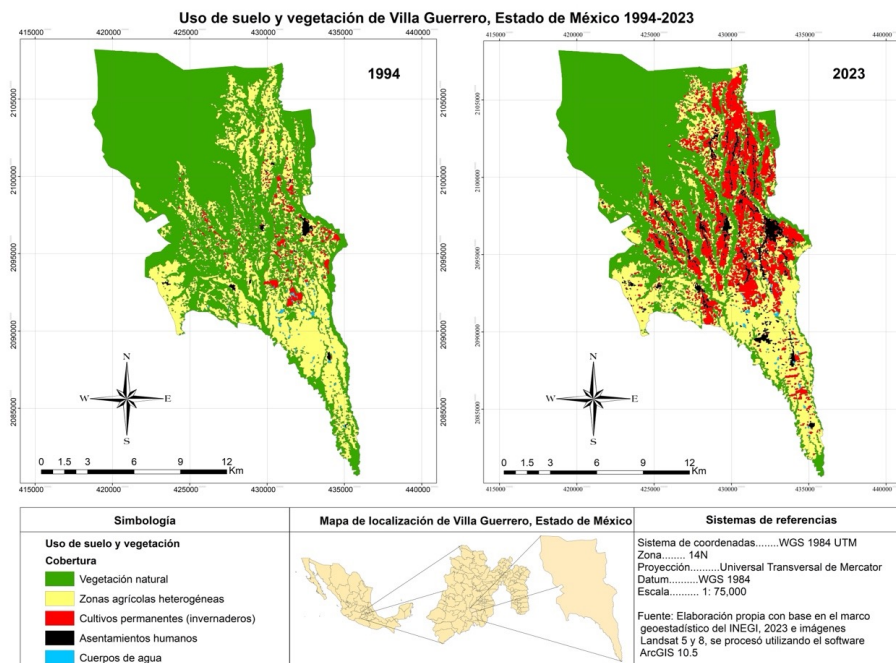


Figura 2. Mapa de uso de suelo y vegetación en Villa Guerrero, Estado de México, 1994 y 2023.

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2023) e imágenes Landsat 5 y 8.

Tabla 3. Usos de suelo y vegetación natural en Villa Guerrero, Estado de México, 1994 y 2023.

Categoría	Uso de suelo y vegetación	Superficie 1994 (ha)	Porcentaje	Superficie 2023 (ha)	Porcentaje
1	VN	15 384.95	68.09%	11 153.70	49.36%
2	ZAH	6 509.01	28.81%	6 250.70	27.66%
3	CPI	519.71	2.30%	4 247.95	18.80%
4	AH	104.60	0.46%	857.78	3.80%
5	CA	76.22	0.34%	84.37	0.37%
Total		22 594.49	100%	22 594.49	100%

Nota. VN: Vegetación natural; ZAH: Zonas agrícolas heterogéneas; CPI: Cultivos permanentes (invernaderos); AH: Asentamientos humanos; CA: Cuerpos de agua.

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del análisis espacial.

Los resultados muestran transformaciones significativas en el periodo de 29 años analizado (Figura 2, Tabla 3). En 1994, la superficie clasificada como vegetación natural abarcaba 15 384.95 ha, pero para 2023 esta extensión se redujo a 11 153.70 ha.

Asimismo, se identifica una reducción de 1.15% en las hectáreas destinadas a zonas agrícolas heterogéneas. De manera destacada, se observa que existe un incremento en la superficie destinada a cultivos permanentes en invernaderos, pasando de 519.71 ha en 1994 a 4 247.95 ha en 2023. Este aumento indica que la actividad económica relacionada con los invernaderos se ha intensificado. Los cambios tendrían implicaciones importantes tanto a nivel ambiental como social en el territorio del municipio de Villa Guerrero.

En otros aspectos, es preciso mencionar la validación del mapa, esto mediante la matriz de confusión y el índice Kappa, ya que a través de estos resultados se muestran las precisiones y el grado de confiabilidad de cada categoría. Por un lado, la matriz aplicada al mapa correspondiente al año 1994 muestra que, de las 250 muestras (píxeles) ejecutadas, 227 fueron correctamente clasificadas, mientras que para el mapa de 2023 fueron 241 píxeles. Esto se traduce en una precisión global del 91% y 96% con respecto a cada mapa.

Por otro lado, el índice Kappa, a diferencia de la precisión global, considera la posibilidad de coincidencias aleatorias, con lo cual se convierte en una métrica más robusta. En tal sentido, dicho índice para el mapa de 1994 alcanzó el 0.89 (89%) y para el del 2023 0.95 (95%) de concordancia. Estos valores, interpretados según la escala de Landis & Koch (1997), se presentan como altamente confiables⁴.

Posteriormente a la identificación de los distintos usos de suelo y vegetación, así como a la validación de las cartografías y posibles transformaciones, es necesario comprender los cambios identificados. Para esto, se realizó el análisis de pérdidas, ganancias y persistencias en el paisaje, empleando herramientas de análisis espacial y la matriz de cambios de uso de suelo (Tabla 4 y Figura 3). Este análisis permite identificar con precisión el impacto de la actividad florícola en la configuración territorial de Villa Guerrero.

Tabla 4. Matriz de cambios de usos de suelo en Villa Guerrero, Estado de México (1994-2023).

Ganancias	Año 2023					Total 1994	Pérdidas
	VN	ZAH	CPI	AH	CA		
VN	10 831.56	2 596.11	1 781.37	164.33	14.36	15 384.95	4 553.39
ZAH	302.06	3 540.51	2 119.57	511.20	32.90	6 509.01	2 968.50
CPI	12.60	79.56	334.87	91.23	1.44	519.71	184.84
Año AH	0	9.04	5.79	89.08	0.70	104.60	15.52
1994 CA	7.48	25.49	6.35	1.94	34.97	76.22	41.25
Total 2023	11 153.70	6 250.70	4 247.95	857.78	84.37		
Ganancia	322.14	2 710.19	3 913.08	768.70	49.40		

Nota. VN: Vegetación natural; ZAH: Zonas agrícolas heterogéneas; CPI: Cultivos permanentes (invernaderos); AH: Asentamientos humanos; CA: Cuerpos de agua

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del análisis espacial.

⁴ De acuerdo con Landis & Koch (1997), los valores de Kappa se clasifican como: <0.00, pobre; 0.00-0.20, leve; 0.21-0.40, aceptable; 0.41-0.60, moderada; 0.61-0.80, sustancial; 0.81-1.00, casi perfecta.

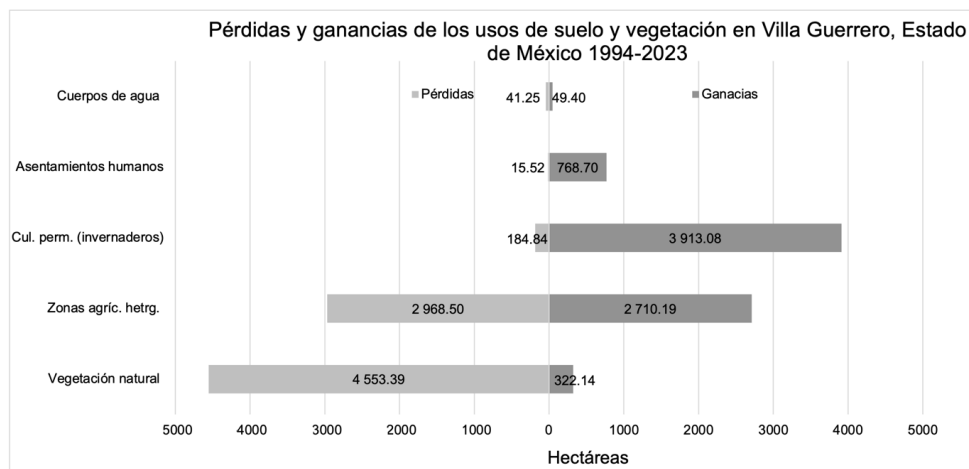


Figura 3. Pérdidas y ganancias de los usos de suelo y vegetación en Villa Guerrero, Estado de México (1994-2023).

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del análisis espacial.

Se determina que ha habido una reducción significativa en la superficie con vegetación natural, con una pérdida de 4 553.39 ha. El cambio más destacado en esta categoría corresponde a la conversión a zonas agrícolas heterogéneas, abarcando 2 596.11 ha. Además, 1 781.37 ha se destinaron a cultivos permanentes bajo invernaderos, mientras que 164.33 ha se transformaron en asentamientos humanos y 14.36 ha en uso para cuerpos de agua.

Por otro lado, se registra una pérdida de 2 968.50 ha en las zonas agrícolas heterogéneas, así como una ganancia de 2 710.19 ha. Frente a este complejo cambio, es importante destacar que la categoría de cultivos permanentes (invernaderos) representa el 70.40% de esta pérdida, equivalente a 2 119.57 ha. Adicionalmente, 511.20 ha se transformaron en asentamientos humanos y 32.90 ha en cuerpos de agua.

En la Figura 2 se observa una marcada tonalidad roja en todo el territorio, concentrada especialmente en la región norte. Los resultados de dicho color, descritos en la Tabla 4 y Figura 3, muestran un importante aumento en la categoría de cultivos permanentes (invernaderos), con un total de 3 913.08 ha. El 99.68% de esta expansión se ganó de las zonas agrícolas heterogéneas y vegetación natural, con 2 596.11 ha y 1 781.37 ha, respectivamente.

En términos de permanencias, de las 15 384.95 ha de vegetación natural existentes en 1994, para 2023 permanecieron 10 831.56 ha. Además, se conservaron 3 540.51 ha de zonas agrícolas heterogéneas y 334.87 ha de invernaderos. En lo que respecta a asentamientos humanos y cuerpos de agua, estas conservaron 89.08 ha y 34.97 ha, respectivamente.

Discusión

El paisaje natural en Villa Guerrero, Estado de México, ha experimentado cambios significativos a lo largo de los últimos 29 años, en especial con la pérdida de más de 4 500 ha de vegetación, esto se muestra con los resultados obtenidos.

Se demuestra que la expansión de la floricultura como actividad económica ha provocado notables transformaciones en la dinámica territorial. Dicha expansión apunta a una deforestación sistemática, alterando tanto la composición como la estructura ecológica del territorio. Los resultados obtenidos concuerdan con investigaciones previas que han examinado la conversión del uso de suelo forestal como principal vector de degradación ambiental en zonas rurales con orientación agrícola (FAO, 2023; Gallardo *et al.*, 2022; Martínez, 2015).

La transformación de la agricultura practicada a cielo abierto hacia sistemas de cultivos permanentes bajo invernaderos es reflejo de los cambios en los modelos de producción, donde predominan los factores de mercado -como son la demanda, eficiencia y rentabilidad económica- sobre los principios de protección y conservación.

Este patrón coincide con lo reportado por Camacho-Sanabria *et al.* (2017), donde identificaron que, en Progreso Hidalgo, Villa Guerrero, Estado de México, existe un aumento de cultivos en invernaderos, mientras que la agricultura tradicional y vegetación natural disminuyeron. Esta transición representa un modelo de expansión de la floricultura que, si bien genera beneficios económicos, produce impacto en la calidad ambiental, la salud humana, la seguridad hídrica y en la calidad del suelo (Rosales *et al.*, 2018; Velázquez, *et al.*, 2017).

Existen trabajos de investigación desarrollados en otras regiones del país que reportan resultados que concuerdan con los de la presente investigación. Por ejemplo, Molina *et al.* (2017) estudiaron el caso en Zinacantán, Chiapas, México, donde identificaron que, si bien la actividad florícola genera ingresos para las familias, el modelo de producción no es ambientalmente sustentable. De manera complementaria, se presenta la situación en la Sabana de Bogotá, Colombia, y sin duda se refuerza esta problemática. Aquí, Sanchez-Ordoñez & Pyszczyk (2022) advierten que la expansión de la floricultura ha ocasionado la pérdida del hábitat para aves endémicas y migratorias, en un contexto de falta de sensibilización ambiental.

Desde la perspectiva legal, la transformación del uso de suelo forestal en Villa Guerrero plantea importantes desafíos ambientales y cumplimientos normativos. La Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 1988) es el marco normativo de referencia y establece que todo cambio de uso de suelo en terrenos forestales debe contar con autorización previa emitida. Además, el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional (POER) del Territorio de la Subcuenca Nevado Sur (donde se localiza Villa Guerrero) no se ha evaluado ni actualizado desde el 2011 (Domínguez, 2024). Estas herramientas del Estado deben ser guías para el desarrollo de la sociedad en equilibrio, incluyendo el medio ambiente; no obstante, su implementación resulta objetable.

Es oportuno mencionar que existen dos secciones territoriales al norte del municipio integradas a dos Áreas Naturales Protegidas. La primera sección corresponde al Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, y la segunda pertenece al Parque Estatal Ecológico y Recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán. Pese a ello, se encuentra la problemática del avance de la frontera agrícola, lo que ha causado una merma en las áreas boscosas (López *et al.*, 2012; Toscana & Granados, 2015).

Con el análisis espacial desarrollado, se confirma que la floricultura se ha constituido como el principal actor de cambio en el paisaje, desplazando gradualmente la vegetación natural y las áreas agrícolas heterogéneas. La concentración mayoritaria del cambio de uso de suelo forestal hacia invernaderos representa una transformación cuantitativa, además implica una reconfiguración cualitativa del territorio. Esta lógica de sustitución en cascada -de vegetación natural a agricultura, y de esta a floricultura- representa una trayectoria extractiva del territorio y compromete la resiliencia de los ecosistemas, además de que pone en riesgo los servicios ecosistémicos (Sehuagún-Sánchez & Reyes-Hernández, 2018).

En este contexto, resulta relevante considerar la dinámica demográfica y laboral del municipio. De acuerdo con los censos de población y vivienda, la población de Villa Guerrero pasó de 43 283 habitantes en 1995 a 69 086 en 2020 (INEGI, 1995, 2021). El crecimiento demográfico contribuye a una mayor presión sobre los recursos naturales, lo que intensifica la demanda de suelo tanto para vivienda como para actividades económicas. En 2020, el 65.79% de la población ocupada se encontraba empleada en el sector primario (INEGI, 2021), lo cual evidencia una marcada dependencia económica de las actividades agrícolas. Este dato corrobora lo discutido en el análisis espacial, en el cual se determina que las zonas destinadas a cultivos se han expandido, particularmente aquellas destinadas a la floricultura.

A pesar de esta tendencia general, se identifican espacios significativos de cobertura vegetal (superiores a 10 000 ha), los cuales desempeñan un rol importante en los ecosistemas, proveyendo servicios ecosistémicos y refugios ecológicos. No obstante, la permanencia de estas áreas no debe interpretarse como un indicador de equilibrio, sino como una oportunidad urgente para establecer mecanismos de conservación.

En su conjunto, los resultados indican que el modelo de desarrollo florícola en Villa Guerrero expone y pone en riesgo la conservación y preservación de espacios naturales. La rentabilidad del sector ha sido priorizada sobre la responsabilidad ecológica, en un entorno caracterizado por una debilitada regulación ambiental y limitada planeación territorial.

Conclusiones

El análisis presentado destacó el desarrollo de la floricultura intensiva como un factor clave en la propagación de cambios de uso de suelo y deforestación en el área de estudio. En este contexto, se observa que el desplazamiento de zonas agrícolas en áreas de vegetación natural, junto con el aumento de cultivos permanentes, se relaciona con el crecimiento en las áreas de asentamientos humanos. Este fenómeno sugiere que el crecimiento de la población impulsa los modos de producción, lo que a su vez contribuye a la disminución de la cobertura vegetal.

Es posible, examinando los datos económicos, sociales y espaciales de la transformación en el uso del suelo, comprender que existe una interacción entre la población económicamente activa y los sectores de actividad, así como la producción agrícola y florícola. Considerando esto, la dinámica en el marco de uso de suelo en Villa Guerrero refleja hoy en día que la actividad florícola es la más importante en la región. No obstante, este mismo dinamismo socioeconómico ha derivado en una pérdida significativa de cobertura vegetal, fragmentación de hábitats y presión sobre los recursos naturales.

En suma, aunque la floricultura ha consolidado su papel como eje del desarrollo económico en Villa Guerrero, también ha generado transformaciones socioambientales que comprometen justicia social y ambiental del territorio. El desafío, por tanto, consiste en transitar hacia un modelo de producción florícola responsable, que integre criterios ambientales, económicos y sociales, y que esté respaldado por políticas públicas coherentes, marcos legales robustos y una participación ciudadana activa. Bajo este enfoque, será posible garantizar la conservación de los ecosistemas que aún existen en la región y la calidad de vida de las comunidades.

Agradecimientos

Este artículo se desprende de la tesis de maestría "Floricultura intensiva y deforestación. Un análisis desde las políticas públicas y la gobernanza" del Colegio de la Frontera Norte, México.

Conflictos de interés

Sin conflictos de interés.

Referencias

- Andrade, J. A., & Castro, P. (2018). Redes migratorias en el mercado de trabajo de la floricultura en el Estado de México. *Revista de Antropología Social*, 27(1), 145-168. <https://doi.org/10.5209/RASO.59436>
- Ariza-López, F. J., Rodríguez-Avi, J., & Alba-Fernández, V. (2018). Control estricto de matrices de confusión por medio de distribuciones multinomiales. *GeoFocus*, (21), 215-226. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.591>
- Ayuntamiento de Villa Guerrero. (2021). *Monografía Municipal*. <https://villaguerrero.edomex.gob.mx/monografia-municipal>
- Camacho-Sanabria, R., Camacho-Sanabria, J. M., Balderas-Plata, M. Á., & Sánchez-López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y Bosques*, 23(3), 39-60. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (28 de enero de 1988). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (5 de junio de 2018). *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS.pdf>
- Ceballos, G. (coord.). (2018). *Atlas de fauna y flora del Estado de México*. Gobierno del Estado de México. <https://foem.edomex.gob.mx/sites/foem.edomex.gob.mx/files/catalogo/Atlas-flora-fauna.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2021). *Bosques templados*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2022). *Selvas secas*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaSeca>
- Domínguez, L. G. (2024). *Floricultura intensiva y deforestación en Villa Guerrero, Estado de México. Un análisis desde las políticas públicas y la gobernanza* [Tesis de Maestría]. El Colegio de la Frontera Norte. <https://posgrado.colef.mx/tesis/20221658/>
- Gallardo, B. G., Morales, J. C., Frausto, O., Bravo, M. L., & Carrillo, F. M. (2022). Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo generado por actividades agrícolas en el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit, México. *Acta Universitaria*, 32, e3618. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3618>
- Gallardo, M. (2017). Intensidad en los cambios de usos de suelo registrados en la comunidad de Madrid durante los años 1982 y 2006. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (75), 407-42. <https://doi.org/10.21138/bage.2506>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1992). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie I. Continuo Nacional*. <https://www.inegi.org.mx/temas/ususuelo/#descargas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1995). *Censos y Cuento de Población y Vivienda 1995*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1995/#tabulados>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010 Villa Guerrero, México*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15113.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Continuo Nacional*. <https://www.inegi.org.mx/temas/ususuelo/#descargas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Censos y Cuento de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). *Marco Geoestadístico*. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#descargas>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf
- Jiménez, S. (2016). *Combinación de RGB con bandas del satélite Landsat 5, 7 y 8*. <https://www.hidraulicafacil.com.mx/2016/03/Com.Landsat7.html>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- López, E. J., López-Sandoval, J. A., Beltrán, A. S., & Aguilera, L. I. (2012). Composición de la flora arbórea en el área natural protegida Tenancingo-Malinalco-Zumpahuacán, Estado de México, México. *Polibotánica*, (34), 51-98. <https://www.redalyc.org/pdf/621/62123051003.pdf>
- Martínez, V. M. (2015). *Estimación del cambio de uso de suelo en el municipio de Villa Guerrero, Estado de México, y la influencia de dicho cambio por la expansión de invernaderos en el periodo 1989-2014, a través de la percepción remota* [Tesis de Licenciatura]. Repositorio Institucional. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/982476>
- Molina, H. J., Jiménez, M. A., Arvizu, E., & Sangerman-Jarquín, D. M. (2017). Producción de flores y uso de recursos naturales en Zinacantán, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(3), 583-597. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.33>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *La deforestación y sus impactos*. <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/reducing-deforestation/basic-knowledge/es/>
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2-3), 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Poveda-Sotelo, Y., Bermúdez-Cella, M. A., & Gil-Leguizamón, P. (2022). Evaluación de métodos de clasificación supervisada para la estimación de cambios espacio-temporales de cobertura en los páramos de Merchán y Telecom, Cordillera Oriental de Colombia. *Boletín de Ecología*, 44(2), 51-72. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n2-2022002>
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa). (2020). *Importancia de los Ecosistemas Forestales; Especies de los Bosques y Selvas*. <https://www.gob.mx/profepa/articulos/importancia-de-los-ecosistemas-forestales-especies-de-los-bosques-y-selvas?idiom=es>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Joachim, H., Nykvist, B., de Wit, C. A., Huges, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ..., & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475. <https://www.nature.com/articles/461472a>

- Rosales, I. G., Avita, J. A., & Ramírez, J. J. (2018). Externalidades sociales de la floricultura en el sur del Estado de México: efectos de los agroquímicos en la salud. En J. Zamora (coord.), *Impacto social, ambiental, territorios sostenibles y desarrollo regional desde el turismo* (pp. 224-236). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). <http://ru.iiec.unam.mx/4261/>
- Sanchez-Ordoñez, S. A., & Pyszcsek, O. L. (2022). Los floricultivos de la Sabana de Bogotá y su relación con la avifauna: una mirada desde los municipios de Madrid, El Rosal y Facatativá. *Revista U. D. C. A. Actualidad y Divulgación Científica*, 25(2), e1824. <https://doi.org/10-31910/rudca>
- Sehuagún-Sánchez, F. J., & Reyes-Hernández, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *Ciencias UAT*, 12(2), 6-21. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v12i2.831>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Toscana, A., & Granados, R. (2015). Recategorización del Parque Nacional Nevado de Toluca. *Política y Cultura*, (44), 79-105. <https://polcul.xoc.uam.mx/index.php/polcul/article/view/1273>
- U. S. Geological Survey (USGS). (2019). *Landsat 8 (L8) Data User Handbook*. <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook>
- U. S. Geological Survey (USGS). (2022). *Landsat 5 Overview*. <https://www.usgs.gov/tools/landsat-5-overview>
- Velázquez, A., Sánchez, J. C., Adame, S., Paredes, J., & Mancino, M. (2017). Determinación de vulnerabilidad de acuíferos usando método SINTACS por aplicación de plaguicidas en suelos florícolas en Villa Guerrero, Estado de México. *Revista Universitaria de Geografía*, 26(2), 111-129. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383254667005>