



## Artículo

# Determinantes sociodemográficos y organizativos de la superficie bajo invernadero en Tecozautla, Hidalgo

Antonio Aguilar-López <sup>1,\*</sup>, Ana Isabel Ramírez-Sabino <sup>1</sup> y Blanca Jazmín Lizbeth Hernández-Jasso <sup>2</sup>

1 Tecnológico Nacional de México/ITS de Huichapan, División de Ingeniería en Gestión Empresarial, México

2 Tecnológico Nacional de México/ITS de Huichapan, División de Ingeniería en Gestión Empresarial, México

\* Correspondencia: aaguilar@iteshu.edu.mx

**Resumen:** Este estudio analiza los factores sociodemográficos y organizativos asociados a la superficie sembrada bajo invernadero en Tecozautla, Hidalgo. Con base en un censo de 39 unidades productivas realizado en 2023, se estimó un modelo de regresión log-lin, donde la variable dependiente fue la superficie sembrada (transformada en logaritmo natural). El modelo explicó el 28.2% de la variabilidad observada ( $R^2$  ajustado = 0.198;  $p$  = 0.021). Los resultados indican que la formación universitaria se asocia con un aumento del 354.49% en dicha superficie, mientras que la edad del productor y el número de socios se relacionan negativamente, con reducciones del 4.69% y 28.54%, respectivamente. Se concluye que la capacitación técnica especializada puede favorecer la ampliación productiva, pero factores como el envejecimiento y la toma de decisiones colectiva pueden limitarla. Se recomienda diseñar intervenciones diferenciadas según el perfil educativo y etario, así como fortalecer la gobernanza en organizaciones agrarias.

**Keywords:** Agricultura protegida; capital humano; desarrollo regional

## 1. Introducción

**Citar este trabajo:** Aguilar, López, A.; Ramírez, Sabino A.I.; Hernández Jasso B. J. L. *Determinantes sociodemográficos y organizativos de la superficie bajo invernadero en Tecozautla, Hidalgo. RELITEC'S 2025, 8va, edición.*

Recibido: 06/08/2025

Aceptado: 06/11/2025

Publicado: 30/11/2025

La agricultura protegida (AP) es un sistema especializado de producción agrícola que permite al productor controlar ciertos factores del ambiente, reduciendo el impacto del clima sobre los cultivos. Su objetivo es mejorar la calidad y continuidad de la producción a lo largo del año. Las principales estructuras utilizadas son invernaderos, mallas sombra, túneles altos y bajos, cada una con diferente capacidad de control ambiental. Estas instalaciones ayudan a disminuir daños por plagas, enfermedades y variaciones de temperatura, haciendo posible una producción más eficiente y estable [1].

En el municipio de Tecozautla, Hidalgo, se aprecia una acumulación progresiva en la superficie cultivada bajo AP, específicamente en su modalidad de invernadero. Esta superficie pasó de 15.00 hectáreas en 2013 a 38.10 en 2023, lo que evidencia un crecimiento en la última década. Si bien el avance no ha sido lineal, se aprecia una tendencia hacia la adopción de este sistema de producción en el municipio [2].

La instalación de sistemas de AP implica inversiones fijas considerables, también conocidas como costos de entrada, que se incrementan con el nivel tecnológico de dichos sistemas [3]. Sin embargo, en el caso de los invernaderos, incrementar la superficie cultivada permite generar economías de escala, obtener ahorros y mejorar la eficiencia en el uso de recursos, ya que diversos costos estructurales y recurrentes pueden distribuirse entre una base productiva más amplia, lo que reduce el costo medio por unidad.

Comprender cómo las características de los productores relacionan con la escala de los invernaderos es crucial para diseñar incentivos que sostengan este crecimiento sin comprometer recursos, ni la equidad. En este sentido, el objetivo de este trabajo es cuantificar la asociación entre variables sociodemográficas y organizativas de los

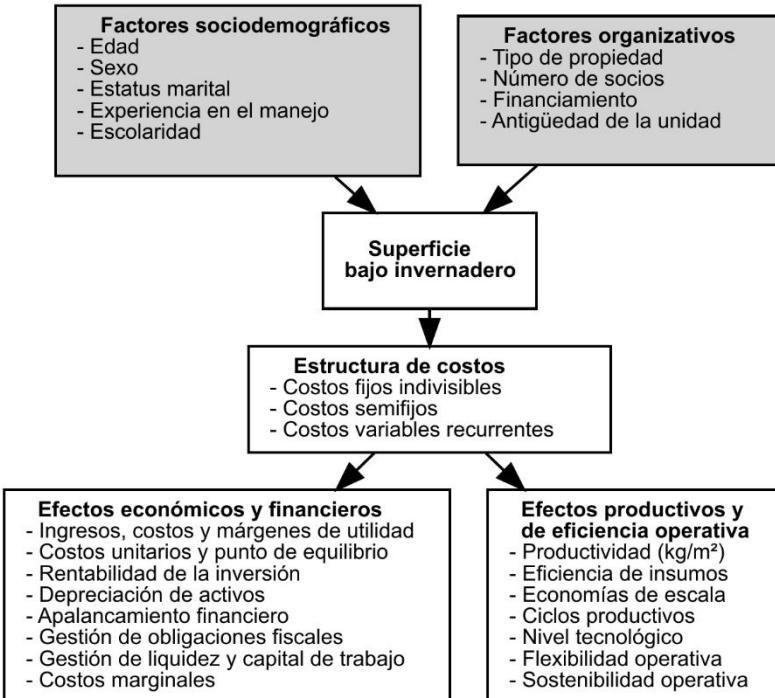
productores y la superficie instalada bajo invernadero en Tecozautla, con el fin de brindar una base empírica para políticas públicas que potencien el crecimiento sustentable de la AP en la región. Para lograr el objetivo, se plantearon las siguientes preguntas de investigación: ¿en qué medida las características sociodemográficas de los productores (como el nivel educativo, edad, sexo y estatus marital) se asociaron con la extensión de la superficie bajo invernadero? ¿Cómo influyeron los factores organizativos (como el número de socios, el tipo de tenencia de la tierra, el acceso a financiamiento público o privado, así como la antigüedad de las unidades productivas) en la magnitud de la superficie bajo invernadero? Con base en estas preguntas, se formularon una serie de hipótesis de tipo correlacional, orientadas a explorar el sentido y la magnitud esperada de la relación entre distintos factores sociodemográficos y organizativos y la superficie cultivada bajo invernadero. Estas hipótesis permiten estructurar el análisis empírico y guiar la interpretación de los resultados en un modelo de regresión ajustado para estos productores. La Tabla 1 presenta las hipótesis consideradas en este estudio.

**Tabla 1.** Hipótesis formuladas para la relación entre variables y superficie bajo invernadero.

Hipótesis	Variable	Planteamiento	Signo*
H1	Edad	A mayor edad del productor, menor será la superficie.	-
H2	Sexo (Mujer)	Las productoras tendrán una menor superficie que los productores hombres.	-
H3	Marital (Casado/a)	Los productores casados tendrán una mayor superficie que los productores solteros.	+
H4	Marital (Divorciado/a)	Los productores divorciados tendrán una mayor superficie que los productores solteros.	+
H5	Marital (Unión libre)	Los productores en unión libre tendrán una mayor superficie que los productores solteros.	+
H6	Escolaridad (Bachillerato)	Los productores con bachillerato tendrán una mayor superficie que los productores con secundaria o menos.	+
H7	Escolaridad (Universidad)	Los productores con universidad tendrán una mayor superficie que los productores con secundaria o menos.	+
H8	Tipo de propiedad	Las unidades de producción privadas tendrán una mayor superficie que las unidades ejidales.	+
H9	Número de socios	A mayor número de socios, mayor será la superficie.	+
H10	Financiamiento	Los productores que reciben financiamiento tendrán una mayor superficie que los productores sin financiamiento.	+
H11	Existencia	A mayor antigüedad de la unidad productiva, mayor será la superficie.	+
H12	Experiencia en manejo	A mayor experiencia en el manejo de invernaderos, mayor será la superficie.	+

\* Signo esperado de acuerdo con la relación entre pares de variables.

La propuesta central de este trabajo plantea que un conjunto de factores socioeconómicos y organizativos se asocia con la magnitud de la superficie bajo invernadero que gestionan los productores en Tecozautla. Esta superficie, a su vez, influye en la estructura de costos de cada unidad de producción. A partir de dicha estructura, pueden derivarse efectos sobre la rentabilidad, tanto en su dimensión económica y financiera como en la eficiencia productiva y operativa de la empresa agrícola (Figura 1).



**Figura 1.** Factores y efectos de la superficie sembrada bajo invernadero. Elaboración propia.

Es importante enfatizar que el análisis aquí presentado no pretende afirmar que los factores señalados constituyan los únicos elementos que determinan la magnitud de la superficie sembrada bajo invernadero. Lejos de proponer una explicación exhaustiva o excluyente, esta investigación plantea que dichos factores conforman una dimensión específica (aunque significativa) dentro del conjunto más amplio de variables que inciden en el establecimiento y expansión de este tipo de agricultura. En este sentido, se reconoce que la superficie bajo invernadero puede responder también a una diversidad de elementos técnicos, económicos, institucionales, ambientales y culturales que interactúan de manera compleja.

La formulación de las preguntas de investigación atendió a la carencia de evidencia micro-local respecto a los factores individuales y organizativos que determinan la expansión de la agricultura protegida en Tecozautla.

Durante la revisión de literatura, se encontró que la capacitación técnica y el capital humano son factores que influyen en la eficiencia en la adopción de innovaciones en AP [4]. También se ha identificado que esta adopción depende de características del productor, tales como edad, escolaridad, experiencia, confianza y acceso a asesoría técnica, así como de características de la unidad productiva, tales como escala, superficie sembrada y rendimiento [5].

Siguiendo esta lógica, se ha planteado que el emprendimiento rural puede estar influido por factores sociodemográficos que reflejan desigualdades estructurales. En este sentido, se examinó la relación entre el sexo del productor y su propensión a emprender, considerando las brechas de acceso a recursos en el medio rural. De igual forma, la edad fue analizada como un indicador de la disposición al riesgo y los horizontes temporales de inversión, mostrando que los hombres de entre 32 y 38 años, con estudios de posgrado, con estado civil distinto a la soltería y provenientes de familias con al menos un título universitario, presentan mayores probabilidades de emprender [6].

El efecto de la tenencia de la tierra sobre la productividad agrícola ha sido previamente estudiado, como en el caso de Tlaxcala en 2002, donde se analizó el uso de tecnología y la productividad de los productores de maíz según el tipo de propiedad. Aunque el estudio no se centró en AP y no encontró una relación significativa entre la tenencia de la tierra y la productividad, sí puso en evidencia que otros factores (como el

acceso desigual a la tierra y a la tecnología, las condiciones edafoclimáticas, la pluriactividad y la discontinuidad tecnológica) explican en mayor medida las diferencias observadas entre productores [7].

Por otro lado, un estudio en la industria del agave, que se caracteriza por fases de escasez y sobreoferta, confirma la existencia de un “efecto tamaño” en las estrategias adoptadas por las empresas, explicado por su capacidad de diversificación, acceso a recursos financieros, planificación a largo plazo y uso de instrumentos financieros [8].

En cuanto al uso del análisis de regresión en contextos rurales, se ha evaluado la relación entre factores sociodemográficos y la propensión al riesgo entre agricultores de la República Checa mediante un modelo logístico ordinal. A partir de una muestra de 747 agricultores, se encontró evidencia de que la edad, el tamaño del hogar, vivir con una pareja/esposa/esposo y el nivel educativo tienen una relación significativa con la propensión al riesgo. Se considera que esta información puede ser de utilidad para bancos, programas de apoyo y el diseño de políticas públicas [9]. Por otro lado, se analizó la adopción de AP en Sri Lanka con un modelo logístico binario aplicado a una muestra de 120 productores. Los resultados indican que la edad, el tamaño del hogar, la superficie cultivada, el acceso al crédito, el acceso a nuevas tecnologías, el acceso a servicios de extensión y el empleo primario (la principal fuente de ingreso) tienen un efecto significativo sobre la adopción de la AP. De lo anterior se desprende la importancia de los servicios de extensión y de apoyo financiero para el crecimiento de la AP [10]. Por otro lado, se uso un modelo logístico multinomial en una muestra de 90 productores que cultivaban bajo diferentes tipos de estructuras de AP (temporal, semipermanente y permanente) en Nepal. Los resultados indican que las siguientes variables tienen un efecto positivo sobre la adopción de estructuras semipermanentes y permanentes: género, educación, tipo de familia, número de miembros del hogar involucrados en agricultura, experiencia en el cultivo de vegetales y la recepción de subsidios. Por otro lado, las siguientes variables tienen un efecto negativo: edad, pertenencia a un grupo de agricultores, registro de datos y visita de técnico [11].

El presente estudio responde a un vacío empírico clave, ya que no existen estimaciones econométricas locales que cuantifiquen el efecto de los factores sociodemográficos y organizativos sobre la extensión de los invernaderos en Tecozautla. En este sentido, esta investigación genera conocimiento accionable que permite diseñar políticas públicas basadas en evidencia, para las que se sugiere alinear programas de capacitación, financiamiento y extensión con las características reales de los productores. Por otro, refuerza el enfoque teórico del emprendimiento rural, al mostrar que variables como la formación universitaria, la edad y la estructura societaria condicionan de manera significativa la escala de los sistemas de AP. Dada la importancia estratégica de Tecozautla como polo tecnológico de la AP en el Valle del Mezquital, estos hallazgos también resultan extrapolables a otros municipios con potencial productivo similar en la entidad. En todo caso, deben considerarse otras características sociodemográficas de los productores tales como: empleo primario, número de miembros del hogar involucrados en agricultura, pertenencia a grupos de productores, registro de datos, superficie agrícola, tamaño del hogar (número de integrantes), tipo de hogar y visitas de técnicos.

## 2. Materiales y Métodos

El presente análisis se enmarca en un enfoque cuantitativo con finalidad explicativa-correlacional. El diseño es transversal y no experimental, basado en el censo de una población de 39 productores en el municipio de Tecozautla, Hidalgo. Los datos fueron recolectados entre febrero y mayo de 2023, sin introducir modificaciones en el entorno productivo. Para la obtención de la información se diseñó y aplicó un cuestionario estructurado, que incluyó una sección sobre las características sociodemográficas de los productores y otra sobre características organizativas de las unidades de producción. Las variables incluidas en estas secciones corresponden a registros de condiciones objetivas y de carácter factual. Se obtuvo el consentimiento para el análisis estadístico de la

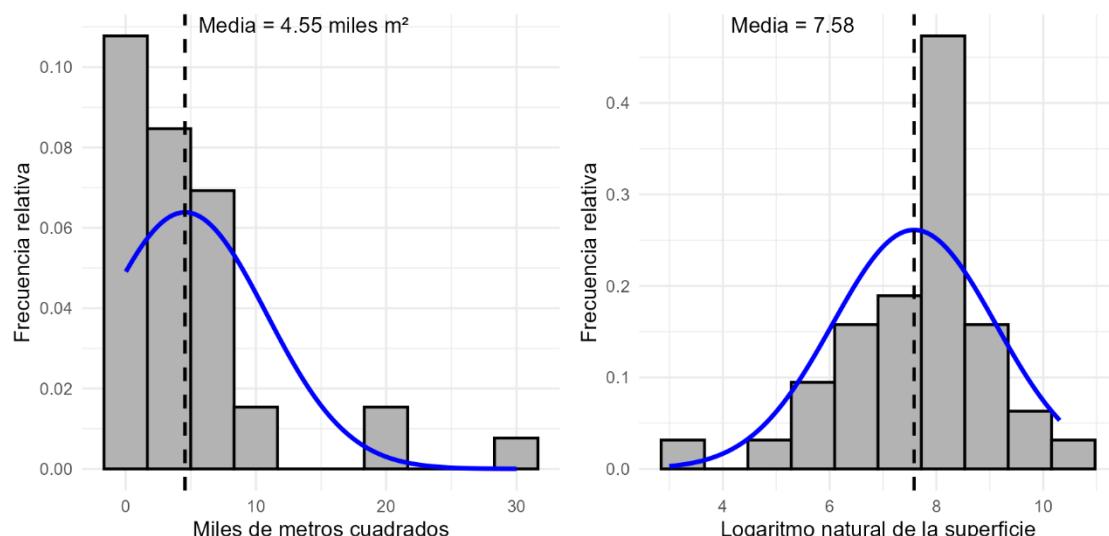
información recolectada. Para el presente estudio, los datos han sido anonimizados, garantizando la protección de la identidad de los productores.

El enfoque estadístico combina análisis bivariado y multivariado. Inicialmente, se realizaron pruebas de correlación, t de Student y ANOVA para explorar relaciones entre pares de variables. Posteriormente, se aplicó un modelo de regresión de tipo log-lin (variable dependiente en logaritmo natural y variables explicativas en niveles) por mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Este modelo fue optimizado mediante selección paso a paso (*stepwise*) a partir de un modelo saturado hasta llegar a un modelo resultante, empleando como indicador el Criterio de Información de Akaike (AIC). La validez del modelo resultante fue evaluada a través de pruebas de colinealidad (VIF), heteroscedasticidad (Breusch-Pagan), normalidad de residuos (Shapiro-Wilk) y autocorrelación (Durbin-Watson). Las variables consideradas se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Variables incluidas en el modelo saturado, con datos del 2023.

Variable	Descripción	Tipo
Ln_Superficie	Área bajo invernadero ( $m^2$ ) en logaritmo natural	Continua
Edad	Años del productor	Numérica
Sexo	Sexo biológico: 0 = Hombre (referencia), 1 = Mujer	Categórica
Marital	Casado/a, Divorciado/a, Soltero/a (referencia), Unión libre	Categórica
Escolaridad	Secundaria o menos (referencia), Bachillerato, Universidad	Categórica
T_Propiedad	Ejidal (referencia), Privada	Categórica
Num_Socios	Número de socios en la unidad	Numérica
Financiamiento	0 = No (referencia), 1 = Sí (público o privado)	Categórica
Existencia	Años desde que se estableció el invernadero	Numérica
Exp_manejo	Años de experiencia en manejo de invernaderos	Numérica

A continuación, se presenta un histograma que muestra la distribución de la superficie sembrada bajo invernadero entre los productores de Tecozautla (Figura 2).



**Figura 2.** Histograma de la variable dependiente (superficie) y de su versión transformada.

En la Tabla 3 se presentan los estadísticos descriptivos de las variables numéricas del modelo saturado. Se incluye la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad.

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos de las variables numéricas del modelo saturado.

Variable	Media	D. E.*	Min	Max	Shapiro-Wilk	P-valor	Normal
Edad	43.59	10.48	25.00	65.00	0.964	0.247	Sí

Existencia	10.92	6.91	2.00	30.00	0.868	0.000	No
Exp_manejo	14.74	8.18	5.00	33.00	0.915	0.006	No
Ln_Superficie	7.58	1.53	3.00	10.31	0.952	0.095	Sí
Num_Socios	0.36	1.51	0.00	9.00	0.259	0.000	No
Superficie	4,553.08	6,246.69	20.00	30,000.00	0.664	0.000	No

\* D. E. = Desviación estándar.

En la Tabla 4 se presentan los estadísticos descriptivos de las variables categóricas del modelo saturado.

**Tabla 4.** Estadísticos descriptivos de las variables categóricas del modelo saturado.

Variable	Categoría	Frecuencia	Porcentaje (%)
Escolaridad	Secundaria	13	33.33
Escolaridad	Bachillerato	15	38.46
Escolaridad	Universidad	11	28.21
Financiamiento	No	24	61.54
Financiamiento	Sí	15	38.46
Marital	Soltero/a	6	15.38
Marital	Casado/a	26	66.67
Marital	Divorciado	1	2.56
Marital	Unión libre	6	15.38
Sexo	Hombre	27	69.23
Sexo	Mujer	12	30.77
T_Propiedad	Ejidal	2	5.13
T_Propiedad	Privada	37	94.87

Para identificar qué características individuales y organizativas explican la magnitud de la superficie bajo invernadero en Tecozautla se recurrió a un enfoque de regresión lineal múltiple. El procedimiento partió de un modelo saturado que incluía nueve predictores recopilados en el censo: edad, sexo, estatus marital, nivel de escolaridad, tipo de propiedad, número de socios, acceso a financiamiento, antigüedad del invernadero (existencia en años) y experiencia en el manejo de invernaderos (en años). A continuación, se presenta el modelo saturado:

$$\begin{aligned}
 & \text{Ln\_Superficie}_i \\
 &= \beta_0 + \beta_1 \text{Edad}_i + \beta_2 \text{Sexo}_i + \beta_3 \text{Marital}_i + \beta_4 \text{Escolaridad}_i \\
 &+ \beta_5 \text{T\_Propiedad}_i + \beta_6 \text{Num\_Socios}_i + \beta_7 \text{Financiamiento}_i + \beta_8 \text{Existencia}_i \\
 &+ \beta_9 \text{Exp\_manejo}_i + \varepsilon_i
 \end{aligned} \tag{1}$$

Este modelo mostró una  $R^2$  de 0.3463, indicio de un poder explicativo razonable dadas las limitaciones del tamaño de la población ( $n=39$ ). Sin embargo, varios coeficientes eran estadísticamente irrelevantes y la presencia de predictores redundantes podía inflar la varianza de las estimaciones. Por ello se avanzó hacia un ajuste más parsimonioso para seleccionar la combinación de variables mediante el procedimiento de selección *stepwise* a partir del AIC. Este algoritmo elimina (o reincorpora) predictores siempre que su salida mejore (disminuya) el AIC, indicador que penaliza la complejidad innecesaria. El modelo resultante fue:

$$\text{Ln\_Superficie}_i = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Edad}_i + \alpha_2 \text{Escolaridad}_i + \alpha_3 \text{Num\_Socios}_i + \varepsilon_i \tag{2}$$

Para facilitar la interpretación de los coeficientes estimados en el modelo resultante (de tipo log-lin), las variables numéricas fueron centradas en sus medias. Esta transformación implica que el valor cero en dichas variables representa el promedio observado en los datos. En este contexto, el intercepto estimado en el modelo de regresión puede interpretarse como el logaritmo natural de la superficie esperada para un productor con características promedio y con las variables categóricas en su nivel de referencia.

A su vez, los coeficientes asociados a variables numéricas indican el cambio porcentual aproximado en la superficie sembrada ante un cambio unitario en la variable correspondiente, manteniendo constantes las demás. Este efecto se calcula aplicando la transformación:

$$(\exp(\alpha) - 1) \times 100 \quad (3)$$

Por su parte, los coeficientes de variables categóricas representan el cambio relativo en comparación con su nivel de referencia. Así, por ejemplo, un coeficiente positivo para “Escolaridad: Universidad” indica que quienes cuentan con formación universitaria tienden a gestionar superficies significativamente mayores respecto a quienes tienen formación secundaria o menor (categoría de referencia).

### 3. Resultados

#### 3.1. Análisis bivariado

A continuación, se presentan los resultados del análisis estadístico bivariado entre las variables explicativas consideradas y la variable dependiente del estudio, correspondiente a la superficie sembrada bajo invernadero. Se emplearon pruebas de correlación y de comparación de medias según el tipo de variable (Tabla 5). En el caso de las variables numéricas, se aplicó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk tanto para la variable explicativa como para la dependiente. Cuando ambas variables muestran una distribución normal ( $p > 0.05$ ), se obtiene la correlación de Pearson. En cambio, si alguna de ellas no cumple este supuesto, se emplea la correlación de Spearman como alternativa no paramétrica, más adecuada para muestras pequeñas como la del presente estudio ( $n = 39$ ). Para las variables categóricas, se utilizó la prueba t de Student cuando la variable explicativa presentaba dos niveles y análisis de varianza (ANOVA) cuando incluía más de dos niveles.

**Tabla 5.** Asociación entre variables explicativas y superficie bajo invernadero en Tecozautla en 2023.

Variable	Tipo	Estadístico	Método	P-valor
Tipo de propiedad	Categórica	-4.0970	Prueba t	0.0002***
Escolaridad	Categórica	6.6410	ANOVA	0.0035***
Número de socios	Numérica	-0.2560	Correlación de Spearman	0.1154
Acceso a financiamiento	Categórica	1.4820	Prueba t	0.1493
Edad (años)	Numérica	-0.1830	Correlación de Spearman	0.2660
Experiencia en el manejo	Numérica	-0.1490	Correlación de Spearman	0.3647
Estado civil	Categórica	0.7060	ANOVA	0.5550
Sexo	Categórica	-0.1420	Prueba t	0.8885
Antigüedad de la unidad	Numérica	-0.0160	Correlación de Spearman	0.9224

Los resultados revelaron que ciertos factores organizativos y de capital humano, como el tipo de propiedad y el nivel de escolaridad del productor, presentan una asociación estadísticamente significativa con la superficie cultivada. En particular, las unidades operadas bajo esquemas de propiedad privada tienden a cultivar mayores extensiones. Asimismo, niveles educativos más altos se asocian con una mayor superficie cultivada, lo cual podría reflejar una mejor capacidad de gestión, acceso a información técnica y toma de decisiones estratégicas.

En contraste, variables como la edad del productor, la cantidad de socios, los años de existencia del proyecto, el sexo, y el acceso a financiamiento no mostraron una asociación estadísticamente significativa con la superficie bajo invernadero en este análisis. Aunque estos factores pueden incidir en otros aspectos del desempeño productivo, sus efectos directos sobre la escala cultivada no fueron evidentes en esta muestra.

#### 3.1. Modelo de regresión múltiple

El modelo log-lin resultante (obtenido tras la selección *stepwise* por AIC) fue el siguiente (Tabla 6).

**Tabla 6.** Modelo log-lin para la superficie bajo invernadero en Tecoautla en 2023.

Variable	Coeficiente	Error estándar	Valor t	P-valor
Intercepción	7.091	0.388	18.259	0.000***
Edad (años)	-0.048	0.023	-2.068	0.046**
Escolaridad: Bachillerato	0.169	0.556	0.304	0.763
Escolaridad: Universidad	1.514	0.569	2.661	0.012**
Número de socios	-0.336	0.152	-2.208	0.034**

Los resultados del modelo log-lin indican que para un caso con valores promedio (edad = 43.59, número de socios = 0.36) y las variables categóricas en su nivel de referencia, el valor esperado de la superficie sembrada bajo invernadero es de 1,201.11 m<sup>2</sup> (IC 95%: 545.66 a 2643.87).

La edad del productor presenta un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre la superficie, por lo que cada año adicional de edad se asocia con una reducción aproximada del 4.69% ( $p = 0.046$ ). Esto sugiere que los productores mayores tienden a operar invernaderos de menor escala, posiblemente por una menor tolerancia al riesgo [9] o por horizontes de inversión más cortos. Se recomienda, por tanto, establecer esquemas de financiamiento de corto plazo, seguros accesibles y programas de relevo generacional que faciliten la sostenibilidad de estas unidades.

En contraste, la formación universitaria muestra un efecto positivo significativo: estos productores cuentan, en promedio, con 354.49% más superficie que quienes no los tienen ( $p = 0.012$ ), lo cual refuerza la importancia del capital humano técnico como motor de expansión. Esto refuerza la noción de que la educación es uno de los mayores factores detrás de la adopción de tecnologías modernas que buscan incrementar los rendimientos [11]. Se sugiere implementar becas, diplomados prácticos y estaciones demostrativas dirigidas a fortalecer estas capacidades en unidades emergentes.

En conjunto, estos resultados enfatizan la necesidad de políticas diferenciadas que consideren el perfil etario, la formación técnica y el grado de madurez de las unidades productivas, promoviendo trayectorias integradas de capacitación, financiamiento, acompañamiento técnico y planificación patrimonial para fortalecer un crecimiento más dinámico y sostenible del sector.

El modelo presenta un ajuste aceptable y significativo, lo que indica que las variables consideradas ofrecen una explicación válida de la variación en la superficie bajo invernadero en Tecoautla en el 2023 (Tabla 7).

**Tabla 7.** Estadísticos del modelo para la superficie bajo invernadero en Tecoautla en 2023.

Métrica	Valor	Interpretación
R <sup>2</sup>	0.282	El modelo explica el 28.2% de la variación en el logaritmo natural de la superficie.
R <sup>2</sup> ajustado	0.198	Considerando los grados de libertad, el ajuste sigue siendo válido.
Estadístico F	F(4, 34) = 3.343, p = 0.021	El modelo es globalmente significativo.

Los diagnósticos indican que se cumplen los supuestos clásicos de regresión para este modelo (Tabla 8).

**Tabla 8.** Diagnósticos del modelo para la superficie bajo invernadero en Tecoautla en 2023.

Diagnóstico	Resultado / p-valor	Conclusión
Normalidad (Shapiro-Wilk)	W = 0.945, p = 0.056	No se rechaza normalidad.
Heterocedasticidad (Breusch-Pagan)	BP = 6.153, p = 0.188	No hay heterocedasticidad detectable.

Autocorrelación (Durbin-Watson)	DW = 2.189, p = 0.648	No hay autocorrelación significativa.
Multicolinealidad (GVIF)	GVIF max = 2.0000	No hay colinealidad severa (todos < 5).
Observaciones atípicas	Obs. 23, 26	Obs: 23, 26 superan el umbral (4/n).

Aunque las observaciones 23 y 26 presentan alta influencia, no se trata de errores de captura, por lo que se consideran casos válidos dentro del análisis

La Figura 3 sintetiza los principales resultados del modelo, mostrando cómo los factores sociodemográficos y organizativos influyen en la superficie bajo invernadero. Las recomendaciones de política se positionan como entradas estratégicas que fortalecen el capital técnico y la coordinación colectiva, orientando intervenciones diferenciadas por perfil de productor.

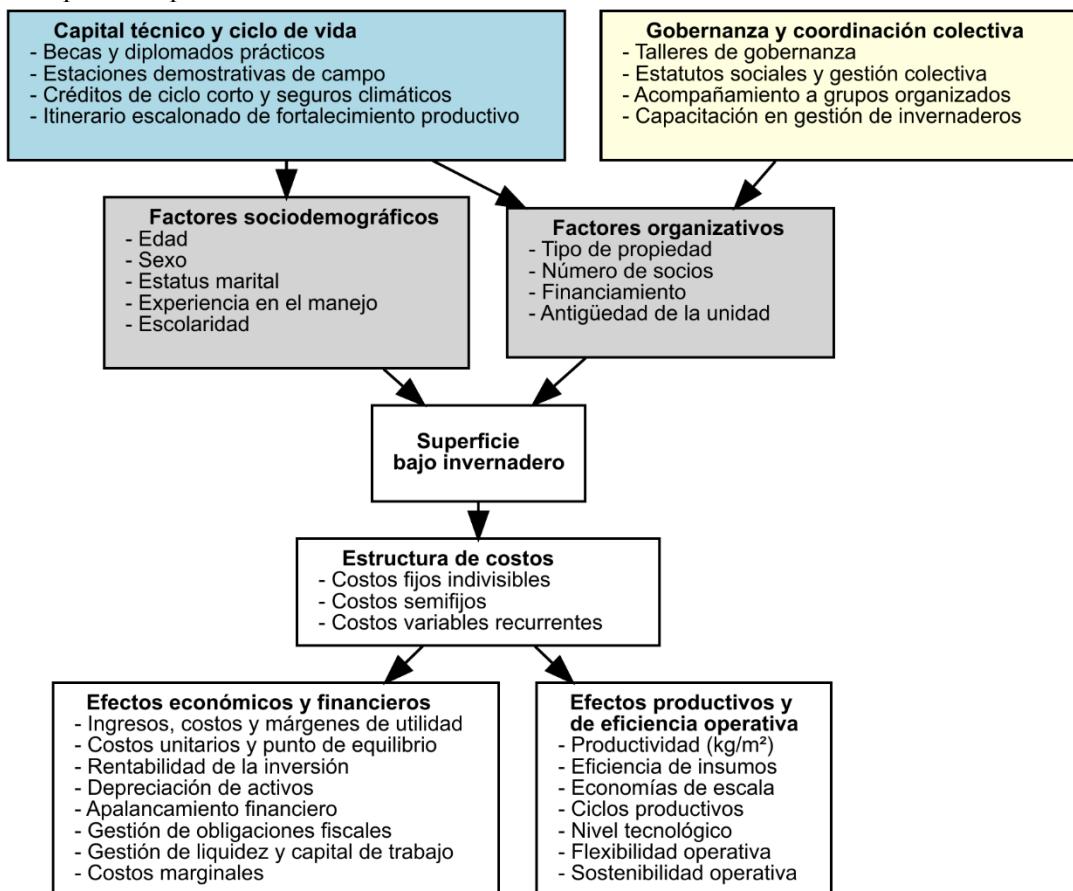


Figura 3. Recomendaciones de política para aumentar la superficie sembrada. Elaboración propia.

#### 4. Discusión

Aunque el análisis cuantitativo no incluye de forma explícita variables asociadas a las capacidades administrativas de los grupos productores, los resultados permiten inferir la importancia de esta dimensión. En particular, la relación negativa observada entre el número de socios y la superficie sembrada sugiere que, más allá de la estructura formal de gobernanza, existen carencias en habilidades de gestión que dificultan la eficiencia operativa de las formas colectivas. En este marco, resulta pertinente impulsar programas de capacitación enfocados en competencias de administración y gestión adaptadas al ámbito rural, abarcando temas como planeación operativa, manejo financiero, control de procesos y liderazgo colaborativo. La ausencia de estas capacidades puede ser un obstáculo estructural para el aprovechamiento de economías de escala y la profesionalización de la agricultura protegida en contextos colectivos.

Si bien los resultados obtenidos permiten identificar asociaciones estadísticamente significativas entre ciertas características de los productores y la superficie cultivada bajo invernadero, es importante señalar que este estudio se basa en un diseño observacional

de corte transversal. En consecuencia, no es posible establecer relaciones de causalidad en sentido estricto. Las variables fueron observadas en un único momento del tiempo y no hubo manipulación experimental ni control sobre las variables. Por ello, las relaciones identificadas deben interpretarse como correlaciones que orientan hipótesis causales, las cuales deberán ser verificadas en futuros estudios longitudinales o experimentales. En cuanto a la interpretación del modelo, conviene tener presente varias limitaciones:

- Endogeneidad por variables omitidas: es posible que exista algún factor no incluido en el modelo (por ejemplo, acceso a redes de comercialización, calidad del suelo, acceso a servicios de extensión técnica, motivaciones personales) que influya tanto en las características del productor, como en la escala de su invernadero. Si dichas variables están correlacionadas con los regresores y con la superficie, entonces los estimadores podrían estar sesgados;
- Causalidad inversa o simultaneidad: la relación observada entre la formación universitaria y la superficie podría reflejar no solo el efecto de ese grado educativo sobre la capacidad de ampliar invernaderos, sino también que quienes ya operaban explotaciones más grandes tuvieron mayores incentivos o recursos para invertir en un grado universitario. Esto dificultaría afirmar que la capacitación provocó el crecimiento, en lugar de al revés;
- Selección de muestra / autoselección: el análisis solo incluye a quienes decidieron embarcarse en el establecimiento de invernaderos. Los productores que no emprendieron o que abandonaron la actividad quedaron fuera de la muestra, lo que puede sesgar los coeficientes si las razones de no participación (por ejemplo: aversión al riesgo, falta de capital y/o ausencia de formación) también afectan los regresores;
- Efectos contextuales no modelados: dado que el estudio es de carácter municipal y transversal, no se incorpora la evolución de precios, programas de apoyo o choques climáticos que pudieron simultáneamente impulsar la superficie y atraer a ciertos perfiles de productores (por ejemplo, jóvenes más dispuestos a adoptar la tecnología durante un programa público), lo cual limita la capacidad de separar efectos temporales y causales.

En conjunto, estas fuentes potenciales de sesgo obligan a interpretar los coeficientes como asociaciones condicionadas, más que como impactos causales puros. Para avanzar hacia estimaciones causales más robustas, futuras investigaciones podrían aprovechar diseños quasi-experimentales (por ejemplo: diferencias en diferencias o variables instrumentales) o datos longitudinales que permitan controlar variaciones no observables en el tiempo.

## 5. Conclusiones

Este estudio aporta evidencia preliminar sobre los factores que inciden en la escala de producción bajo invernadero en Tecozautla, Hidalgo, a partir del análisis de una población de 39 productores. Si bien el tamaño de esta población impone cautela en la generalización, los resultados permiten identificar patrones relevantes para orientar intervenciones de política pública.

Uno de los hallazgos más destacados es que la escolaridad universitaria muestra una asociación positiva con la escala productiva, lo que sugiere que el capital humano (tanto técnico como de gestión) podría desempeñar un papel importante en la consolidación de unidades más grandes.

Asimismo, se identifica un efecto negativo asociado con la edad. Este patrón es coherente con la hipótesis de que los productores jóvenes, con mayor tolerancia al riesgo y horizontes de recuperación más amplios, están liderando la expansión del modelo. A su vez, la presencia de socios adicionales dentro de una misma unidad tiende a reducir la superficie individual declarada, lo cual apunta a posibles tensiones de coordinación en arreglos colectivos.

Estos resultados, aunque sujetos a las limitaciones propias de la muestra, ofrecen indicios útiles para el diseño de programas diferenciados de capacitación técnica, financiamiento por edad y fortalecimiento organizativo. Replicar el estudio en otras regiones y ampliar la base de observaciones permitirá validar estos patrones y precisar sus implicaciones para el desarrollo de la agricultura protegida en contextos similares.

**Contribución:** Conceptualización A.A.L., validación: A.I.R.S. y diseño de cuestionario y recolección de datos B.J.L.H.J.

**Financiamiento:** Esta investigación no recibió financiamiento externo.

**Agradecimientos:** Se agradece profundamente a los productores de agricultura protegida Tecozautla, Hidalgo, que accedieron a compartir su tiempo y su experiencia durante el proceso de recolección de datos.

**Conflicto de interés:** Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Referencias

1. SENASICA La aplicación de sistemas de protección garantiza la disposición de frutas y verduras todo el año Available online: <http://www.gob.mx/senasica/articulos/conoce-que-es-la-agricultura-protegida?id-> (accessed on 5 June 2023).
2. SIAP Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta Available online: <http://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430> (accessed on 2 July 2024).
3. Moreno Reséndez, A.; Aguilar Durón, J.; Luévano González, A. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios* **2011**, *29*, 763–774.
4. Vargas Canales, J.M.; Palacios Rangel, M.I.; Aguilar Ávila, J.; Camacho Vera, J.H.; Ocampo Ledesma, J.G.; Medina Cuellar, S.E. Efficiency of Small Enterprises of Protected Agriculture in the Adoption of Innovations in Mexico. *estud. gerenc.* **2018**, *52*–62, doi:10.18046/j.estger.2018.146.2811.
5. Vargas Canales, J.M.; Palacios Rangel, M.I.; Camacho Vera, J.H.; Aguilar Ávila, J.; Ocampo Ledesma, J.G. Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Remexca* **2015**, *6*, 827–840, doi:10.29312/remexca.v6i4.622.
6. Arias Vargas, F.J.; Ribes-Giner, G.; Arango-Botero, D.; Garcés Giraldo, L.F. Factores sociodemográficos que inciden en el emprendimiento rural de jóvenes en Antioquia, Colombia. *Revista Venezolana de Gerencia* **2021**, *26*, 1218–1240.
7. Damián Huato, M.Á.; López Olguín, J.F.; Ramírez Valverde, B.; Parra Inzunza, F.; Paredes Sánchez, J.A.; Gil Muñoz, A.; Cruz León, A. Productividad y tenencia de la tierra: el caso de los productores de maíz del Estado de Tlaxcala, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural* **2007**, *4*, 149–177.
8. Boonman, T. El Efecto Tamaño En Las Estrategias de Las Empresas Tequileras Ante El Ciclo Del Agave: Un Estudio Exploratorio. *Carta Económica Regional* **2009**, *21*, 111–132.
9. Spicka, J. Socio-Demographic Drivers of the Risk-Taking Propensity of Micro Farmers: Evidence from the Czech Republic. *JEEE* **2020**, *12*, 569–590, doi:10.1108/JEEE-09-2019-0143.
10. Nadeesha, D.; Thilani, M.; Sidath, B. Factors Influencing Farmers' Adoption of Protected Agriculture: A Case of Vegetable Farmers in Dry Zone Sri Lanka. *Current Investigations in Agriculture and Current Research* **2020**, *8*, doi:10.32474/CIACR.2020.08.000300.
11. Subedi, S.; Tiwari, N.P.; Subedi, S. Profitability and Determinants of Protected Vegetable Farming in Nepal. *Cogent Food & Agriculture* **2023**, *9*, 2202202, doi:10.1080/23311932.2023.2202202.