

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Modelos de pérdidas de maíz grano por sequía en Veracruz y Tamaulipas **Models for corn grain losses by drought in Veracruz and Tamaulipas**

Authors/Autores: Valdés-Rodríguez, O. A.

ID: e1974

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1974>

Received/Fecha de recepción: June 23th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: November 12th 2025

Available online/Fecha de publicación: August 13, 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Valdés-Rodríguez, O. A. (2026). Models for corn grain losses by drought in Veracruz and Tamaulipas. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1974.
<https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1974>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Modelos de pérdidas de maíz grano por sequía en Veracruz y Tamaulipas

Models for corn grain losses by drought in Veracruz and Tamaulipas

Costos de sequía en maíz/Cost of drought in corn

Valdés-Rodríguez, O. A..^{1*}(<https://orcid.org/0000-0002-3702-6920>)

Academia de Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto, 26, CP 91000, Xalapa, Veracruz, México.

*dra.valdes.colver@gmail.com

Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez. Academia de Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto, 26, C.P. 91000, Xalapa, Veracruz, México. Teléfono (228) 841 5100. E-mail: dra.valdes.colver@gmail.com

RESUMEN

El objetivo es evaluar modelos lineales de regresión múltiple para pérdidas por maíz y niveles de sequía. Se consideraron superficies siniestradas y niveles de sequía en Veracruz y Tamaulipas. Se probaron modelos para toda la región y para cada estado, para niveles de sequía con superficies pérdidas y valores de producción. Los modelos fueron significativos ($p < 0.01$) para superficie perdida y niveles de sequía para toda la región ($r = 0.592$), para Veracruz y para Tamaulipas ($r > 0.460$). Para valores de producción y niveles de sequía para toda la región ($r = 0.539$), para Veracruz y para Tamaulipas ($r > 0.500$). Se concluye que los modelos son predictivos.

PALABRAS CLAVE:

Maíz grano, desastres, sequías, pérdidas, Veracruz, Tamaulipas, México.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate linear multiple regression models for corn losses and drought levels. Sites with corn surface losses and drought levels were considered in Veracruz and Tamaulipas. Multiple regression models were used to analyze drought levels, surface losses, and production values for the entire region and each state. The models were significant ($p < 0.01$) for surface losses and drought levels ($r = 0.592$) for the whole region, as well as for Veracruz ($r = 0.460$) and Tamaulipas ($r = 0.460$). For production values and drought levels for the entire area ($r = 0.539$), Veracruz, and Tamaulipas ($r > 0.500$). It is concluded that the models are predictive.

KEY WORDS:

Corn grain, disasters, drought, losses, Veracruz, Tamaulipas, Mexico.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) en grano es el cultivo más importante y con mayor superficie de producción en México, de acuerdo con los datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP 2024). De los 6.94 millones de hectáreas (ha) sembradas en 2023, el SIAP reportó que el 77 % era agricultura de temporal, lo que implica mayores riesgos de pérdidas de cosechas si

se presentan condiciones de sequía. El maíz fue el grano que mayor valor aportó al GDP (PIB) del ramo en mayo de 2025, con un 2.32 % de incremento asociado a un decremento de la sequía del 56 % (SIAP, 2025b). No obstante, los estados productores de Veracruz y Tamaulipas tienen registros de sequías periódicas, de acuerdo con el Monitor de Sequía en México (MS) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (SMN, 2024). Para esta región, algunos estudios indican que las sequías se relacionan con pérdidas de superficie total en producción de maíz en varios municipios de Veracruz (Bada-Carbajal et al., 2021; Guerra Martínez et al., 2020) y Tamaulipas (Alcalá Rico & Ricardo, 2020). Por lo que se recomienda indagar más profundamente sobre posibles escenarios que permitan predecir consecuencias entre sequías y producción de maíz, ya que hay un vacío de conocimiento sobre investigaciones en estos estados. Un trabajo previo en la región encontró que el MS puede ser una herramienta alternativa a los datos meteorológicos para correlacionar niveles de sequía con productividad de maíz grano (Valdés-Rodríguez et al., 2025). Esto se debe a que el MS es una herramienta que integra el índice estandarizado de precipitación o SPI, el porcentaje de precipitación promedio a largo plazo, el índice de sequía de Palmer, datos de las estaciones climatológicas, imágenes satelitales, niveles de presas y opiniones de expertos regionales en sequía (Hadwen et al., 2024). Lo cual permite obtener información que en algunos sitios es inexistente debido a deficiencias en la cobertura del SMN (Luna Díaz Peón et al., 2018; SMN, 2025). Por lo que el objetivo de esta investigación es determinar si un modelo lineal de regresión múltiple puede correlacionar los niveles de sequía del MS con superficies siniestradas y sus correspondientes valores de producción de maíz grano en Veracruz y Tamaulipas.

Material y Métodos

Área de estudio y selección de fuentes oficiales

La región de estudio comprende los estados de Veracruz y Tamaulipas, México. En ambos estados se cultiva maíz grano en 247 municipios de los 255 que existen (SIAP, 2025a). La superficie sembrada y el valor de producción de maíz grano por municipio se obtuvieron de los datos que proporciona el SIAP (2025a) de cada ciclo agrícola y cultivo. Esta investigación solo consideró el ciclo agrícola primavera-verano (abril a septiembre), ya que este produce el 66.2 % del total anual. El periodo de análisis fue de 2003 a 2023, que corresponde al inicio de datos a nivel municipal hasta el momento de la estimación del modelo. Los niveles de sequía por municipio se obtuvieron del MS (SMN, 2024), que los presenta cada 15 días, y los clasifica como 0: sin sequía, D0 (anormalmente seco), D1 (sequía moderada), D2 (sequía severa), D3 (sequía extrema), y D4 (sequía excepcional). Donde D0 es la sequía menos intensa y D4 la más intensa (NDMC, 2025). La selección de municipios con sequía se realizó considerando las declaratorias de desastre por sequía (DS) emitidas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2024), que indican las causas de las declaratorias por municipio y fecha. Este sistema se utilizó ya que los datos del SIAP no proporcionan las causas de los siniestros.

Procesamiento de los datos y modelos de regresión

Para los municipios seleccionados y por cada ciclo agrícola, el total de superficie siniestrada se obtuvo de la suma de todas las comunidades de cada municipio que reportan al SIAP. El valor de producción por ha se obtuvo como el promedio de los valores de todas las comunidades del municipio, y el valor total de las pérdidas como la suma del producto del valor por ha de todas las superficies siniestradas. Los valores finales se ajustaron con la tasa de incremento promedio de precios de cada estado mediante el producto del porcentaje de incremento por el valor al año. Se utilizaron modelos de regresión lineal múltiple por tener cinco variables de entrada (Draper & Smith, 1998), y por ser aplicados en estudios de comportamiento de maíz (Crespo et al., 2025). Para los modelos de regresión se consideraron como variables independientes las sumas de los niveles de sequía de cada periodo, convertidos a valores numéricos, donde: sin sequía = 0, D0 = 1, D1 = 2, D2 = 3, D3 = 4 y D4 = 5, y como variables dependientes las superficies siniestradas o los valores de producción, según correspondiese. Las ecuaciones 1 y 2 muestran los modelos.

$$SVy = b_0 + b_1 \sum D_0 + b_2 \sum D_1 + b_3 \sum D_2 + b_4 \sum D_3 + b_5 \sum D_4 \quad (1)$$

$$CVy = b_0 + b_1 \sum D_0 + b_2 \sum D_1 + b_3 \sum D_2 + b_4 \sum D_3 + b_5 \sum D_4 \quad (2)$$

Donde: SVy representa el total de superficie siniestrada durante el ciclo primavera-verano de todo el periodo, CVy representa el total del valor estimado de las pérdidas por superficie siniestrada, $\sum D_0$, $\sum D_1$, $\sum D_2$, $\sum D_3$, y $\sum D_4$ son las sumas de los niveles de sequía registrados durante el ciclo y b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , y b_5 , las constantes de regresión estimadas. Dado que se consideraron dos entidades federativas, se decidió probar cuatro modelos, 1) para superficies siniestradas de ambas entidades como una sola región de estudio, 2) para superficies de cada entidad por separado, 3) para valores de producción de ambas entidades como una sola región y 4) para valores de producción de cada entidad por separado.

Pruebas estadísticas

Previo a la estimación de los modelos, los datos fueron sujetos a pruebas de normalidad mediante el método de Shapiro-Wilk, y al no ser normales ($p < 0.001$), estos se normalizaron mediante el $\ln(x)$, antes de su ingreso al programa Sigmaplot V11 para la obtención de los modelos.

Resultados y Discusión

Declaratorias de sequía y modelos de regresión

Se reportaron 123 municipios con DS entre 2003 y 2019. Los años de las DS coinciden con incrementos en los niveles de sequía de la región de estudio. En 2005, hasta el 88 % de la región presentó algún nivel de sequía, en 2011 el 100 %, el 2013 el 39 %, y entre 2018 y 2019 el 99 %. Los niveles D2 (34+39) y D3 (51+39) tuvieron sus valores más altos durante los años 2011 y 2019 (Figura 1).

El análisis de varianza para la regresión lineal múltiple entre superficie siniestrada y niveles de sequía fue significativo ($p < 0.001$) para los cuatro modelos (Tabla 1). En superficie siniestrada, la correlación (r) para la región fue de 0.592 ($r^2 = 0.351$), mientras que, por separado, Veracruz obtuvo una $r = 0.708$ ($r^2 = 0.501$) y Tamaulipas $r = 0.688$ ($r^2 = 0.474$). Para los valores de producción la región obtuvo una $r = 0.539$ ($r^2 = 0.290$) y por separado Veracruz obtuvo una $r = 0.708$ ($r^2 = 0.501$) y Tamaulipas una $r = 0.532$ ($r^2 = 0.283$). Las constantes fueron significativas en los cuatro modelos, mientras que D2 fue significativa para toda la región en los modelos de superficie y valores de producción, pero por separado para Veracruz fue D3, mientras que para Tamaulipas fue D2. Los valores negativos de D0 y D4 pueden deberse a su menor conteo cuando se registran más valores D2 y D3, que tienen su mayor número de registros en los años de sequías más altas (2011 y 2019), y que a su vez coinciden con las mayores superficies siniestradas. Asimismo, se documenta que para 2011 y 2019 las temperaturas registraron más de siete meses promedios superiores a las normales, y más de ocho meses con precipitaciones inferiores a las normales (Valdés-Rodríguez et al., 2025). De acuerdo con estos datos, los cultivos de maíz de temporal se vieron sometidos a condiciones extremas que pudieron superar las temperaturas medias (18 a 26 °C) y precipitaciones acumuladas (300 a 400 mm) menores a las que el maíz requiere para ser productivo (SIAP-SADER, 2018), lo cual pudo ocasionar la pérdida total de producción. Para el estado de Tamaulipas, un estudio local indicó que los productores de maíz declararon siniestros totales en 2018 y 2019 debido a las sequías (Garay Martínez et al., 2020). Mientras que en Veracruz, los municipios que cultivaron maíz en 2005, 2011, 2018 y 2019 tuvieron las mayores superficies siniestradas asociadas a sequías (Valdés-Rodríguez et al., 2023). Se considera que el modelo podría obtener un mejor nivel de correlación si se agregan variables como tipo de suelo, tipos de variedades o manejo agronómico, no obstante, estos dos últimos datos no están disponibles en el SIAP a nivel municipal. Otra limitante es la subrepresentación en declaratorias de sequía, que ya no se presentan en las últimas estadísticas del CENAPRED debido a modificaciones en las políticas nacionales (CENAPRED, 2024).

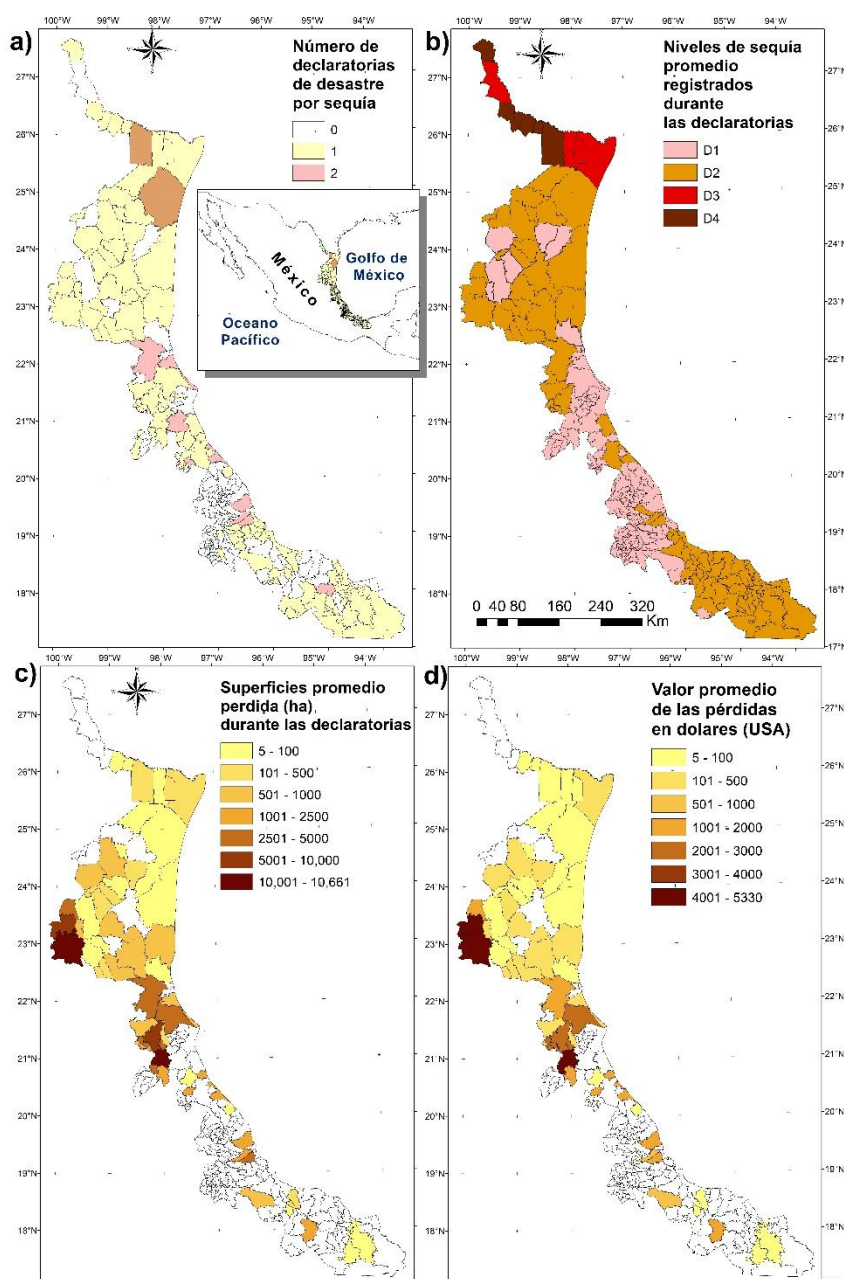


Figura 1. Declaratorias de desastre por sequía y pérdidas de maíz grano ocurridas durante el periodo de 2003 a 2023 en Veracruz y Tamaulipas. Veracruz, México.

Tabla 1. Niveles de significancia y coeficientes obtenidos con modelos de regresión lineal múltiple entre niveles de sequía y superficies y valores de maíz grano siniestrados en los estados de Veracruz y Tamaulipas.

Sitios	Variable	Pérdidas de superficie en maíz grano			Valores de producción		
		Coeficiente	t	P	Coeficiente	t	P
Veracruz y Tamaulipas N = 77	Constante	5.313	6.976	<0.001	13.620	16.437	<0.001
	D0	-0.285	-1.222	0.226	-0.302	-1.191	0.238
	D1	0.138	0.648	0.519	0.106	0.459	0.648
	D2	0.621	2.927	0.005	0.547	2.454	0.017
	D3	0.0457	0.200	0.842	0.080	0.323	0.748
Veracruz N = 29	D4	-0.214	-0.695	0.490	-0.219	-0.653	0.516
	Constante	4.335	2.904	0.008	12.585	8.358	<0.001
	D0	0.367	0.577	0.570	0.356	0.555	0.584
	D1	0.326	0.922	0.366	0.317	0.890	0.383
	D2	0.359	1.113	0.277	0.397	1.221	0.234
Tamaulipas N = 43	D3	1.088	2.838	0.009	1.165	3.011	0.006
	D4	0.386	0.533	0.599	0.353	0.482	0.634
	Constante	5.097	7.010	<0.001	13.717	14.769	<0.001
	D0	-0.238	-1.117	0.272	-0.430	-1.611	0.116
	D1	0.172	0.794	0.433	-0.088	-0.324	0.747
Tamaulipas N = 43	D2	1.082	3.505	0.001	0.446	1.336	0.190
	D3	-0.453	-1.653	0.107	-0.029	-0.087	0.931
	D4	-0.252	-0.882	0.384	-0.494	-1.367	0.180

Coeficiente: coeficientes de las variables independientes; t valor; P: p valor.

Conclusiones

Los modelos de regresión lineal múltiple facilitaron una opción para analizar y predecir superficies siniestradas y valores de producción de maíz grano en relación con los niveles de sequía registrados por el MS en los estados de Veracruz y Tamaulipas, con mayor correlación para los estados por separado y para los niveles D2 y D3 de sequía. No obstante, su capacidad de predicción máxima fue del 50 % para el estado de Veracruz, por lo que se debe considerar incluir más variables para mejorarlos.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, metodología, análisis de resultados, manejo de datos, y escritura del manuscrito V-R. La autora de este manuscrito ha leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Conflicto de interés: La autora declara no tener conflicto de interés.

Referencias

- Alcalá Rico, J. S. G. J., & Ricardo, A. R. (2020). Situación actual de la agricultura en el municipio de Bustamante, Tamaulipas. *Transversalidad Científica y Tecnológica*, 4(1), 77–84. https://www.researchgate.net/publication/347437449_PUBLICADA_POR_LA_ACADEMIA_TAMAUUIPECA_DE_INVESTIGACION_CIENTIFICA_Y_TECNOLOGICA_Consejo_Editorial_Comite_Revisor#fullTextFileContent
- Bada-Carbajal, L. M., Osorio-Antonia, J., & Ramírez-Hernández, Z. (2021). Evolución de la producción del maíz en Veracruz, México. *Investigación Administrativa*, 50–2(128), 1–16. <https://doi.org/10.35426/IAv50n128.07>
- CENAPRED, [Centro Nacional de Prevención de Desastres]. (2024). Sistema de Consulta de Declaratorias. Sistema de Consulta de Declaratorias. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/apps/Declaratorias/>
- Crespo, C., O'Brien, P. L., Rogovska, N., Martinez, D., Ruis, S. J., & Kovar, J. L. (2025). Stover harvest increases yield stability in continuous corn systems. *Agronomy Journal*, 117(2), e70058. <https://doi.org/10.1002/ajq.2.70058>
- Draper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis*. In Wiley intercience publication (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Garay Martínez, J. R., Barrón Bravo, O. G., Granados Rivera, L. D., Patricia, M. T. S., & Avilés Ruiz, R. (2020). Caracterización de las unidades de producción de maíz y sorgo en el Mante, Tamaulipas. *Transversalidad Científica y Tecnológica*, 4(1). https://www.researchgate.net/publication/388927090_Caracterizacion_de_las_unidades_de_produccion_de_maiz_y_sorgo_en_el_Mante_Tamaulipas
- Guerra Martínez, A., López Galindo, L. K. I., Álvarez Ramírez, M. M., & Antonio Sánchez, D. G. (2020). Caracterización de la sequía en el Estado de Veracruz (2007-2018) y su efecto en la Seguridad Alimentaria. *Observatorio de Seguridad Alimentaria y Nutricional de Veracruz*, 272–284.
- Hadwen, T., Lopez, M., Loranca, Y., & Tinker, R. (2024). North American Drought Monitor. Home Page. <https://droughtmonitor.unl.edu/nadm/Home.aspx>
- Luna Díaz Peón, A., Valdes Rodríguez, O. A., & Solís Villanueva, J. (2018). Información climatológica de Veracruz, México. In N. Hernández Cortés, M. Nava Tablada, & L. Ruelas Monjardín (Eds.), *Sustentabilidad del desarrollo: desafíos y propuestas* (1st ed., pp. 163–173). Gobierno del Estado de México.
- NDMC, [National Drought Mitigation Center]. (2025). La Clasificación De La Sequía. Monitor de Sequía de Los Estados Unidos. <https://droughtmonitor.unl.edu/es/Acercade/Acercadelosdatos/LaClasificaciendelaSequia.aspx>
- SIAP-SADER. (2018). Aptitud agroclimática del maíz en México. In D. de S. Geoespacireales (Ed.), 2018 (1st ed., Vol. 01, Issue 55). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap/prensa/aptitud-agroclimatica-de-mexico>
- SIAP, [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera] (2024). Panorama Agroalimentario. La ruta de la Transformación Agroalimentaria 2018-2024. In P. Ornelas Ruiz (Ed.), 2018-2024. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cqvJ/view
- SIAP, [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera]. (2025a). Estadística de Producción Agrícola. SIAP. <https://nube.agricultura.gob.mx/datosAbiertos/Agricola.php>
- SIAP, [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera]. (2025b). Sector primario lidera el crecimiento económico con un avance de 5.4% en mayo de 2025. Cosechando Números Del Campo 09. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/es/articulos/cosechando-numeros-del-campo-09-sector-primario-lidera-el-crecimiento-economico-con-un-avance-de-5-4-en-mayo-de-2025>
- SMN, [Servicio Meteorológico Nacional]. (2024). Monitor de Sequía en México. Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- SMN, [Servicio Meteorológico Nacional]. (2025). Información estadística climatológica. Información de Estaciones Climatológicas. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Valdés-Rodríguez, O. A., Salas-Martínez, F., & Palacios-Wassenaar, O. M. (2023). Hydrometeorological Hazards on Crop Production in the State of Veracruz, Mexico. *Atmosphere*, 14(287), 1–23. <https://doi.org/10.3390/atmos14020287>
- Valdés-Rodríguez, O. A., Salas-Martínez, F., Palacios-Wassenaar, O., & Marquez, A. (2025). Assessment of Corn Grain Production Under Drought Conditions in Eastern Mexico Through the North American Drought Monitor. *Atmosphere*, 16(2), 193. <https://doi.org/10.3390/atmos16020193>