
Estimación de rendimiento de variedades nativas de maíz en el estado de Tlaxcala

A. Maria-Ramírez^{2*}, V.H. Volke-Haller² y M.L. Guevara-Romero³

¹ El Colegio de Tlaxcala, A.C. Privada Melchor Ocampo 28, Centro, 90600 Tlaxcala, Tlaxcala.

² Colegio de Postgraduados, Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco 56230, Estado de México.

³ Facultad de Arquitectura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Boulevard Valsequillo s/n. Ciudad Universitaria, Puebla, Puebla.

Yield estimation of native corn varieties in the State of Tlaxcala

Abstract

Crop yield estimation using different models has been generated with different degrees of complexity, in terms of the information considered and their degree of precision, the methodologies and the time. In the present study two mathematical models for the estimation of landraces performance from the State of Tlaxcala were generated based on characteristics, such as: i) weight of ear, percentage of cob and percentage of grain moisture; and ii) weight of ear, percentage of cob, and considered the moisture of dry grain in the shadow. Both models have a good fit ($R^2 = 0.999$), and were valid for estimating performance in landraces of the State of Tlaxcala. It is worth noting that there is little information about the development and use of mathematical models such as those generated in this research, and the usefulness they may have.

Key words: physical characteristics of the ear, mathematical models, rainfed maize, races of native maize.

Resumen

Para las estimaciones de rendimiento de cultivos se han generado diversos modelos, con diferentes grados de complejidad en cuanto a la información que consideran y su grado de precisión, a las metodologías y al momento en que se aplican. En la presente investigación se generaron dos modelos matemáticos de estimación de rendimiento de maíces nativos del estado de Tlaxcala, con base en características de la mazorca como: uno, peso de la mazorca, porcentaje de olote y porcentaje de humedad del grano, para cuando se dispone de un medidor de humedad; y, otro, peso de la mazorca, y porcentaje de olote, y considera la humedad del grano seco a la sombra, para cuando no se dispone de un medidor de humedad. Ambos modelos presentan un buen ajuste ($R^2 = 0.999$), y son válidos para estimar el rendimiento en maíces nativos del estado de Tlaxcala. Cabe resaltar que existe escasa información sobre el desarrollo y uso de modelos matemáticos como los generados en esta investigación, y la utilidad que ellos pueden tener.

Palabras claves: características físicas de la mazorca, modelos matemáticos, maíz de temporal, razas de maíces nativos.

*Autores de correspondencia

Email: anmara1954@gmail.com; Fax (246) 4647726

Introducción

Las estimaciones de rendimiento de los cultivos resultan de la mayor importancia para la economía de un país, a través de las diferentes actividades en que se encuentran directa o indirectamente involucradas (Díaz, 1990; Tinoco y García, 2009; Aguilar-Ávila y Santoyo-Cortés, 2013). Para estas estimaciones se han generado diversos modelos, con diferentes grados de complejidad en cuanto a la información que consideran y el grado de precisión que dan las estimaciones, de metodologías y del momento en que se aplican (Aguilar-Ávila y Santoyo-Cortés, 2013).

Los modelos más amplios pueden tener sus limitaciones en ámbitos donde predominan parcelas de superficies pequeñas, de variabilidad climática y por tanto de fechas de siembra variables y de prácticas de manejo del cultivo diferentes, o por carencia de la información necesaria (Aguilar-Ávila y Santoyo-Cortés, 2013).

Alguno de los modelos más sencillos es uno basado en la estimación de rendimientos a nivel predial, que, dependiendo de los objetivos que se busquen, puede incluir además de la estimación del rendimiento por superficie, variables como la variedad del cultivo, de manejo del cultivo, de suelo y clima, y de daños por fenómenos climáticos.

En el caso del maíz, se han generado modelos sencillos para realizar estimaciones de rendimiento en regiones de productores pequeños con base en características de la mazorca, en que estas varían en su tamaño y forma y otras de sus características, pudiendo considerar también la variedad y variables de suelo y clima, y de manejo agronómico del cultivo (Díaz, 1990; Ángeles-Gaspar *et. al.*, 2010; Aguilar-Ávila y Santoyo-Cortés, 2013). A este respecto, Díaz (1990) desarrolló y utilizó un modelo matemático para estimar el rendimiento de maíz en regiones del estado de Puebla, basado en información de la mazorca como largo y ancho, el porcentaje de olote de la mazorca y de humedad del grano, y la densidad de población del cultivo, considerando también ajustes por daños de heladas y sequía, con fines de observar cambios en el rendimiento derivados de la transferencia y uso de tecnologías de producción nuevas por los productores. Pérez (2001) presenta una metodología y modelo para la estimación de rendimiento de maíz en parcelas de los productores, que considera el muestreo e información de la variedad, peso de 22

mazorcas y peso medio de cinco de ellas, y peso de grano, factor de desgranado y porcentaje de humedad de las cinco mazorcas, para finalmente calcular el rendimiento de la parcela por hectárea considerando el número de plantas por hectárea y el número medio de mazorcas por planta. Aguilar-Ávila y Ávalos-Gutiérrez (2013) presentan una metodología y modelo para la estimación de rendimientos de maíz a nivel de parcela de productores, que considera el muestreo e información del cultivo como prácticas de producción, presencia de fenómenos climáticos y de plagas y enfermedades, y variables de la mazorca como daños por fenómenos climáticos y por plagas y enfermedades, factor de desgranado, humedad del grano, número de granos por mazorca y peso específico de un grano, además del número de plantas por hectárea y el número medio de mazorcas por planta.

Una vez obtenida la información de las variables de la mazorca consideradas, se podrá obtener un modelo matemático que permita estimar el peso de grano de una mazorca, y con base en la medición del número de plantas por hectárea y el número medio de mazorcas por planta, se obtiene el rendimiento por hectárea.

La precisión del modelo podrá estar afectada por factores de tipo biótico (plagas y enfermedades), abióticos (temperatura, sequías, heladas, suelos y de manejo del cultivo), que afecten el rendimiento, y esto determina que en la información a captar se puedan considerar también estos factores y su variación, a fin de obtener un modelo más preciso.

En el proceso de obtención del modelo matemático estarán involucrados aspectos de muestreo y metodológicos que será necesario considerar para llegar a un modelo adecuado, que pueda ser representativo para la región; por ejemplo, en el aspecto metodológico, para la estimación del modelo normalmente se ha considerado el procedimiento “selección a pasos” (Díaz, 1990) sin embargo, este procedimiento no siempre permite obtener los modelos más adecuados (Volke, 1981).

El objetivo de la presente publicación fue desarrollar un modelo o modelos matemáticos de estimación de rendimiento de maíces nativos del estado de Tlaxcala, a partir de características físicas de la mazorca, bajo condiciones de temporal, con fines de estimación de rendimientos.

Materiales y métodos

Para desarrollar la presente investigación se usó la información generada en el Proyecto FZ016, Conocimiento de la Diversidad y Distribución Actual del Maíz Nativo y sus Parientes Silvestres en México, Segunda Etapa 2008-2009, que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) realizó para la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), y que comprendió la investigación: Diversidad y Distribución Actual de los Maíces Nativos en Tlaxcala, como parte del Proyecto antes mencionado (María y Hernández, 2010).

Esta información se refiere a 256 muestras de mazorca de maíces nativos en parcelas de productores, obtenidas en el estado de Tlaxcala en los ciclos de producción de 2008-2009 y 2009-2010.

Región de estudio

El estado de Tlaxcala se encuentra ubicado en el centro del país, con altitudes entre 2200 y 3000 m, y comprende 60 municipios, de los cuales se cubrieron las principales áreas productoras de maíz del estado (María y Hernández, 2010).

Los valores medios de precipitación total anual en la región oscilan entre 262 (Rancho Zoquiapan, Benito Juárez) y 793 mm (ciudad de Tlaxcala), que se distribuyen entre 67.3 y 84.2 % en los meses de junio a octubre, respectivamente (María *et al.*, 2005¹). Las temperaturas medias anuales van de 13.0 a 14.5 °C en la parte noroeste del estado, de 14.5 a 15.2 °C en la parte sur y de 13.5 a 15.2 °C en la parte sureste (INIFAP, 2012).

Los suelos presentes en el estado de Tlaxcala, según el sistema FAO corresponden a Andosoles (5.20 %), Arenosoles (1.75 %), Cambisoles (9.99 %), Durisoles (11.87 %), Fluvisoles (2.51 %), Gleysoles (0.06 %), Leptosoles (11.50 %), Luvisoles (5.68 %), Phaeozem (33.97 %), Regosoles (13.30 %), Solonchak (0.06 %) , Vertisoles (0.80 %) y Umbrisoles (2.00 %), con una superficie de hacentamientos humanos de 1.35 % (INEGI, 1986;

SECODUVI, 2013). Estos suelos difieren en sus características de textura, profundidad y pendiente, y conjuntamente con las condiciones climáticas y disponibilidad de riego, tienen un uso de praderas y de cultivos, principalmente maíz y hortalizas en las áreas con riego, con algunas superficies menores con bosques.

En 2015, en el estado de Tlaxcala se sembraron 122,326 ha de maíz, donde 106,302 ha (86.9 %) fueron de temporal, con un rendimiento promedio de 2.5 t ha⁻¹, y 16,024 ha (13.1 %) fueron con riego con un rendimiento medio de 2.8 t ha⁻¹ (SIAP, 2017).

Para maíz de temporal se presentan áreas de muy buena productividad (MBP), de buena productividad (BP) y de mediana productividad (MP). Las áreas de MBP presentan una precipitación media anual de 675 a 800 mm en el período de junio a octubre y suelos de más de 1.0 m de profundidad, con rendimientos de hasta 6.0 t ha⁻¹; las áreas de BP presentan una precipitación media anual en el período de junio a octubre de 625 a 675 mm y suelos de más de 0.7 m de profundidad, con rendimientos de hasta 4.0 t ha⁻¹; las áreas de MP presentan una precipitación media anual en el período de junio octubre de 475 a 625 mm y una profundidad del suelo mayor a 0.5 m, con rendimientos de hasta 3.0 t ha⁻¹ (María *et al.*, 2002, 2003).

Hernández (2014), menciona que 90 % del maíz sembrado es con semilla nativa o criolla, y que ese alto porcentaje de siembra de maíces nativos muestra el gran interés de las comunidades campesinas por preservar este grano y el esfuerzo que realizan por resistir la introducción de variedades mejoradas.

Razas de maíz

María y Hernández (2010), reportan que las razas de maíz identificadas en 256 colectas en 34 municipios del estado de Tlaxcala, fueron: Cacahuacintle (2.7 %), Chalqueño (13.7 %), Chalqueño por Bolita (0.4 %), Chalqueño por Cacahuacintle (0.4 %), Chalqueño por Cónico (4.3 %), Cónico (44.5%), Cónico por Elotes Cónicos (0.8 %), Cónico por Cacahuacintle (0.4 %), Cónico por Bolita (3.1 %), Cónico por Chalqueño (9.4 %), Cónico por Pepitilla (0.4 %) y Elotes Cónicos (19.9 %)². Así, 78.5% de

¹ María R., A.; Medina G., G. y Ruiz C., J. A. 2005. SICATLAX Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas. En: Foro Sistemas Producto e Innovaciones Tecnológicas, Experiencias y Perspectivas Regionales Tlaxcala-Puebla-Hidalgo. p. 119-128, y con datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) hasta 2010, usando SICATLAX.

²La clasificación directa fue de Hernández Casillas, J.M., experto de maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

las muestras colectadas, independientemente del color, están relacionadas con las razas de maíces Cónicos.

El color predominante del grano de las razas de maíz es el blanco, con 91.3 %, y 5.3 % presentan grano de color amarillo y 3.4% de color rojo, azul y negro (Medina, 2016).

Muestreo de mazorcas

Las parcelas de los productores en las que se colectaron las muestras, se distribuyeron en la superficie de siembras de maíz considerada, con base en los caminos de acceso, y las muestras se obtuvieron tanto de manera directa en el momento de la cosecha como en las viviendas de los productores cuando la cosecha ya se había realizado, pero no se habían desgranado las mazorcas.

En el ciclo de producción primavera-verano 2008-2009 se colectaron 204, y en el ciclo primavera-verano de 2009-2010 se colectaron 52 muestras; en algunos casos, se obtuvo más de una muestra por parcela, si a simple vista se consideraba que las mazorcas podían corresponder a diferente raza.

En cada muestra se obtuvieron al azar 50 mazorcas que fueren representativas, y que no estuvieran dañadas; esto, ya sea, al momento de la cosecha en los montones en que se van hacinando o del llenado de bolsas para su transporte, o en los sitios de almacenamiento y/o secado en los hogares. Las mazorcas se secaron al aire y a la sombra, hasta que su estado de humedad permitiese su desgranado manual. De las 50 mazorcas se tomaron al azar 15, se ordenaron según su longitud, y se tomaron las 10 centrales para medir las variables a considerar en cada una de ellas.

Las variables de la mazorca para las cuales se tomó información fueron: longitud, desde la base hasta la punta de la mazorca (cm), diámetro, en la parte central (cm), diámetro del olote, en la parte central (cm), número de hileras, número de granos por hilera, peso del grano (g) y contenido de humedad (%).

El diámetro de la mazorca y del olote se midió con un vernier metálico marca Truper, el peso de la mazorca se registró con una balanza mecánica Ohaus 750 SW, de 2 610 g, y el contenido de humedad se determinó con un medidor portátil de humedad marca Dickey-John Grain Moisture Tester Estados Unidos.

Con el peso de la mazorca y el peso del grano se

determinó el porcentaje de olote, cuyo cálculo es igual a:

- $\text{Porcentaje de olote} = [(\text{peso de mazorca} - \text{peso de grano}) / (\text{peso de mazorca})] * 100 (\%)$.

Con el porcentaje de humedad del grano se calculó el peso del grano a humedad comercial (14.0 %), como:

- $\text{Peso del grano a humedad comercial de } 14.0 \% = (100 - \text{porcentaje de humedad del grano a la cosecha}) / 86 (\text{g})$.

Por otra parte, se realizó una clasificación de las razas de los maíces nativos presentes en la región, con la finalidad de observar si la variación de la forma y tamaño de la mazorca fuere una variable a considerar en la estimación del rendimiento a nivel de la región, de acuerdo a la distribución de ellas en ésta.

Análisis de la información

La información se analizó para el peso de grano a humedad comercial (14 %) por mazorca en función de las variables de la mazorca y la humedad del grano, mediante regresión, con fines de obtener uno o más modelos matemáticos. Para esto se siguió el procedimiento propuesto por Volke (2008).

Con el modelo de regresión obtenido, se determinaron los valores predichos de peso de grano a humedad comercial de una mazorca, considerando las variables que incluyó el modelo en sus valores de interés, medios o de mayor frecuencia. Con el modelo obtenido y, en su caso considerando la distribución en la región de los valores de las variables que incluyese, además de una densidad de población dada o su distribución en la región, se podrá obtener el rendimiento medio en la región, lo cual no fue objetivo de esta investigación.

Resultados

En el proceso de obtención de un modelo matemático para el peso de grano a humedad comercial (14 %) de una mazorca, se probaron todas las variables de la mazorca medidas. De estas variables, en todos los modelos probados quedaron incluidas las variables de peso de la mazorca húmeda, porcentaje de humedad de la mazorca y porcentaje de olote de la mazorca. Otras variables asociadas a la forma de la mazorca que pudiesen intervenir en el peso de grano de la mazorca, puesto que en la región, ya que se presentan distintas razas de maíz, como diámetro y longitud de la mazorca,

diámetro del olote, relación largo/diámetro de la mazorca y las mismas diferentes razas de maíz, no mejoraron el ajuste de un modelo que incluyese a las variables de peso de la mazorca húmeda, porcentaje de humedad de la mazorca y porcentaje de olote de la mazorca.

En estos términos, el modelo matemático obtenido para el peso de grano a humedad comercial (14%) de una mazorca fue el siguiente:

$$PG = 45.933 + 0.9065 PM - 1.487 HG - 8.233 PO^{0.50}$$

$$(Pr. F = 0.0001, CME = 0.515, CV = 0.566 \%, R^2 = 0.999)$$

Dónde: PG = peso de grano de una mazorca, a 14.0 % de humedad (g); PM = peso medio de 10 mazorcas, a humedad de cosecha (%); PO = porcentaje de olote (%); HG = humedad de la mazorca a la cosecha (%).

Cabe aclarar que en el año 2009 se presentaron heladas en la etapa de llenado del grano en la zona de El Carmen Tequexquitla, en 3.9% de las localidades, que afectaron y disminuyeron la producción de grano de la mazorca. Las colectas de las localidades afectadas se incluyeron en la estimación del modelo matemático como una variable auxiliar; sin embargo, para lo cual no se observó un efecto significativo en el ajuste del modelo, lo que tiene su explicación en que las heladas causaron una disminución del tamaño (diámetro) y peso de la mazorca, y un incremento del porcentaje de olote de la mazorca, con un incremento medio de 5.1%, y fue esta la variable que quedó incluida en el modelo. Este incremento del porcentaje de olote de la mazorca indica que la helada afectó un mayor grado al grano que al olote. Sin embargo, podrá ocurrir que el efecto de la helada pueda variar según el momento en que ocurra al estado de desarrollo de la mazorca.

Para estimar el rendimiento en un año con daño de heladas a partir del modelo obtenido en esta investigación, se debe considerar el peso medio de las mazorcas muestreadas a su humedad de cosecha, la humedad media de las mazorcas, y el porcentaje de olote sin y con daño de heladas, y con los valores de peso de grano de una mazorca medidos se procede a obtener la media ponderada, según el porcentaje de superficie estimada con daño de helada.

Con el modelo matemático obtenido se calcula el peso medio de grano por mazorca de un productor, introduciendo en él un correspondiente peso medio

de mazorca a la cosecha, un porcentaje medio de olote y una humedad media del grano.

Para el caso en que no se disponga de un medidor de humedad, se procedió a determinar un modelo que excluyese esta variable, a condición de que las mazorcas se hayan secado a la sombra por cierto tiempo hasta que resultase fácil su desgranado a mano, de modo que tendiesen a tener un contenido de humedad relativamente constante. Con la presente información, la distribución de mazorcas por contenido de humedad del grano fue la que se indica en el tabla 1.

Tabla 1. Distribución de mazorcas por contenido de humedad del grano.

Contenido de humedad (%)	Porcentaje de mazorcas (%)
10.5 – 11.0	0.8
11.1 – 12.0	20.3
12.1 – 13.0	52.7
13.1 – 14.0	19.9
14.1 – 17.5	6.3

Teniendo en cuenta que las mazorcas deban llegar a un contenido de humedad lo más uniforme posible, mediante su secado, se consideraron las mazorcas con humedad entre 12.0 y 13.0, que además comprendieron 52.7 % del total, y con ellas se calculó un modelo.

En este modelo se consideró una humedad del grano en 12.5 %, y a partir de este valor se estimó el modelo a 14.0 % de humedad del grano, que es el siguiente:

$$PG = 28.566 + 0.9052 PM - 8.542 PO^{0.50}$$

$$(Pr.F = 0.0001, CME = 0.558, CV = 0.591 \%, R^2 = 0.999)$$

Donde: PG = peso de grano de una mazorca, a 14.0 % de humedad (g), PM = peso medio de 10 mazorcas, secadas a la sombra, en promedio a 12.5 % de humedad (g); PO = porcentaje de olote (%).

El modelo obtenido presenta un buen ajuste, sin embargo, su cuadrado medio del error es ligeramente mayor que el del modelo que incluye el porcentaje de humedad de la mazorca.

Otro modelo de estimación de rendimiento, utilizado por investigadores como Díaz (1990), es el que considera las variables largo y diámetro de la mazorca, al cual se le estaría agregando el peso de la mazorca, e igual que el modelo anterior, consideraría la humedad de la mazorca secada a la sombra hasta que fuese fácil su desgranado a mano.

No obstante, estando presente la variable peso de la mazorca, de fácil determinación, las variables longitud y diámetro de la mazorca no presentaron significancia, reflejo ello de la alta correlación entre el peso de la mazorca y estas variables, de:

- peso – longitud: $r = 0.859$ ($p = 0.0001$),
- peso – diámetro: $r = 0.843$ ($p = 0.0001$),

motivo por lo cual no se obtuvo un modelo matemático con estas variables.

Una vez obtenido el modelo matemático que estima el peso medio de grano a humedad comercial (14 %) por mazorca; a nivel de productor, se puede estimar el rendimiento de grano por superficie (hectárea). Para esto se requiere conocer el número de mazorcas por hectárea, igual al número de mazorcas en una superficie muestreada, por un factor para expresar a número de mazorcas por hectárea, donde:

- Superficie muestreada = [(largo de los surcos muestreados (m)) * (ancho promedio de los surcos muestreados (m))] (m^2)
- Factor para expresar por hectárea = $10000 /$ (superficie cosechada) (m^2)
- Número de mazorcas por hectárea = (número de mazorcas cosechadas en una superficie) * (factor para expresar por hectárea).

Díaz (1990), propone un procedimiento para el muestreo del número de plantas por superficie, válido también para determinar el número de mazorcas por superficie, que consiste en tomar mediciones del número de mazorcas y ancho de surco en cinco sitios de 10 m lineales distribuidos en la parcela según el formato de muestreo, obteniendo el número promedio de plantas y de mazorcas y calculando el área promedio (largo por ancho) muestreada.

El número de mazorcas por hectárea puede variar entre productores, lo mismo que la superficie de las parcelas; sin embargo, si la muestra es representativa, la estimación del rendimiento a nivel de región corresponderá al producto del número medio de mazorcas por hectárea por las hectáreas totales.

Discusión

Dado que el objetivo de la investigación fue generar uno o más modelos matemáticos para estimar el rendimiento de grano de maíz para los maíces nativos del estado de Tlaxcala, que considerasen factores bióticos para tratar de tener mejor

precisión, y además fueran de uso relativamente sencillo, se generaron dos modelos. El primero requiere del peso medio de 10 mazorcas, el porcentaje de olote y la humedad del grano; el segundo considera también estas variables, excepto la humedad del grano por si no se dispone del instrumento para obtenerla, aunque con un ajuste ligeramente menor que el primero.

Estos modelos incluyeron: uno, tres variables de la mazorca, como el peso de la mazorca a humedad de cosecha, la humedad del grano y el porcentaje de olote, y otro, el peso de la mazorca seca a la sombra y el porcentaje de olote, con valores ambos de $R^2 = 0.999$.

En estos términos, los modelos obtenidos presentan un buen ajuste y son de fácil aplicación, considerando que la humedad del grano en su caso y el porcentaje de olote son variables que es necesario determinar, aunque en uno de los modelos se consideró la humedad del grano seco a la sombra.

Díaz (1990) generó modelos matemáticos del peso de grano de la mazorca, ya corregido por porcentaje de olote y porcentaje de humedad del grano, en función de las variables longitud y diámetro de la mazorca: uno, con las variables simples y cuadráticas y las interacciones entre ellas, con un total de ocho variables y un R^2 de 0.840; otro, partiendo de las mismas ocho variables y aplicando el procedimiento de “selección a pasos”, que incluyó la variable lineal de diámetro y las interacciones: negativa entre las variables lineal de longitud y diámetro al cuadrado y positiva entre la variable lineal de diámetro y cuadrática de longitud, con un R^2 de 0.829.

El modelo con ocho variables puede estar mostrando signos contrarios a los esperados, para una o más variables, por ejemplo, negativo para la longitud de la mazorca, debido a las correlaciones entre las variables, y el modelo obtenido con el procedimiento “selección a pasos” no incluyó la variable lineal de longitud, y en cambio incluyó las interacciones: negativa cuadrática de diámetro por lineal de longitud y positiva lineal de diámetro por cuadrática de longitud, lo que resulta difícil de interpretar en términos del fenómeno.

Este resultado concuerda con el hecho de que el procedimiento de “selección a pasos” no siempre da los mejores modelos, ya sea por exclusión de variables con sentido según el fenómeno o con signos contrarios a los esperados, derivado ello de una alta correlación entre las variables que el

procedimiento precisamente trata de superar. Por último, cabe resaltar que en la literatura existe escasa información sobre el desarrollo y uso de modelos matemáticos como los generados en el presente caso, y la utilidad que ellos pueden tener.

Conclusiones

Se generaron dos modelos matemáticos para la estimación de rendimiento de grano de maíces nativos del estado de Tlaxcala, con base en variables de la mazorca como peso de la mazorca y porcentaje de olote, y porcentaje de humedad del grano, relativamente sencillos y con buen ajuste estadístico ($R^2 = 0.999$, en ambos), cuya validez es solo para este tipo de maíces en el estado de Tlaxcala.

Bibliografía

- Aguilar-Ávila, J. y Avalos-Gutiérrez, C. 2013. Estimación de cosecha de maíz. En: J. Aguilar-Ávila y V.H. Santoyo-Cortés (Coords.), Estimación de rendimientos en el sector agropecuario. Universidad Autónoma Chapingo-Porrúa, México, D.F., pp.11-22.
- Aguilar-Ávila, J. y Santoyo-Cortés, V.H. 2013. Introducción. En: J. Aguilar-Ávila y V.H. Santoyo-Cortés (Coords.), Estimación de rendimientos en el sector agropecuario. Universidad Autónoma Chapingo-Porrúa, México, D.F., pp. 7-10.
- Ángeles-Gaspar, E., Ortiz-Torres, E., López, P.A. y López-Romero, G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Fitotecnia Mexicana*, 33(4):287-296.
- Díaz C., M. 1990. Manual para estimar rendimiento de maíz y determinar el uso de la tierra en programas de desarrollo agrícola regional. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México, México.
- Hernández R. C. 2014. La Tierra del Maíz. Instituto Tlaxcalteca de la Cultura - Gobierno del Estado de Tlaxcala. Tlaxcala, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1986. Síntesis geográfica de Tlaxcala. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F., pp. 97.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2012. Pronóstico Agroclimático Tlaxcala. SAGARPA-INIFAP-Secretaría de Fomento Agropecuario-Fundación Produce, Tlaxcala, Tlaxcala, México.
- María R. A., García N., H., Ortiz T.,C., Medina G.,G., y Mendoza H.,J. 2002. Sistema de Información de zonas potenciales para la producción de cultivos en el Estado de Tlaxcala. INIFAP, Tlaxcala, Tlaxcala, México.
- María R., A., Rojas, M., I., Ávila P., M.A. y Gámez V., J.A. 2003. Producción de maíz de temporal en el Estado de Tlaxcala. INIFAP, Tlaxcala, Tlaxcala, México.
- María R., A. y Hernández C., J.M. 2010. Diversidad y distribución actual de los maíces nativos en Tlaxcala. Informe final de actividades 2008-2010, INE-CONABIO-INIFAP, Tlaxcala, Tlaxcala, México.
- Medina D., M.L. 2016. La defensa del maíz nativo en Tlaxcala, 2006-2012. Tesis de Doctorado, El Colegio de Tlaxcala A.C., Tlaxcala, Tlaxcala, México.
- Pérez-Camarillo, J.P. 2001. Metodología para la evaluación de cosecha de maíz en parcelas comerciales. INIFAP-Fundación Hidalgo produce, Pachuca, Hidalgo, México.
- SECODUVI (Secretaría de Obras Públicas, Desarrollo Urbano y Vivienda). 2013. Programa de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para el estado de Tlaxcala. Periódico oficial no. extraordinario, junio 4 de 2013.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Programas de producción agrícola. Avance de siembras y cosechas. Resumen por estado. Acciones y Programas. Resumen por estado. Consultado el 15 de enero de 2017. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do;jsessionid=23C82F12CB1A924A7C39C56A10574B4F
- Tinoco A., C.A. y García A., J.L. 2009. Validación de una metodología generada para la predicción de cosechas de arroz para el estado de Veracruz. En: reunión de avances en la investigación agrícola, pecuaria, forestal y acuícola en el trópico mexicano. INIFAP-UV-CP-UACH-ITUG-ITBOCA. Veracruz, Veracruz, México. pp. 79-85.
- Volke 1981. Estimación de funciones de producción mediante regresión en experimentos con fertilizantes y densidad de plantas, con fines de determinación de óptimos económicos. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Volke H., V. 2008. Estimación de funciones de respuesta para información de tipo no experimental, mediante regresión. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.