

Modelo conceptual de fertilización nitrogenada para maíz (*Zea mays* L.) en Veracruz, México



Conceptual model of nitrogen fertilization for corn (*Zea mays* L.) in Veracruz, Mexico

Capetillo-Burela, A; López-Collado, C. J.; Zetina-Lezama, R.; Reynolds-Chávez, M. A.; Matilde- Hernández, C.; Cadena-Zapata, M.; López-López, J.A.; Editor Académico Prof. Jorge Luis Rostran-Molina, M.Sc

A Capetillo-Burela

capetillo.angel@inifap.gob.mx
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales
Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental
Cotaxtla, México

C. J. López-Collado

cjlc2000@hotmail.com
Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, México

R. Zetina-Lezama

zetina.rigoberto@inifap.gob.mx
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales
Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental
Cotaxtla, México

M. A. Reynolds-Chávez

muchachoc@hotmail.com
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales
Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental
Cotaxtla, México

C. Matilde- Hernández

matilde.cristian@inifap.gob.mx
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales
Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental
Cotaxtla, México

M. Cadena-Zapata

martincadenaz@gmail.com
Universidad Autónoma Agarrarúa Antonio Narro,
Saltillo Coahuila México., México

J.A. López-López

juan.alopez@uaaan.edu.mx
Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, Km. 26.5
carretera federal Veracruz-Xalapa. AP.421, C.P.91700,
Veracruz, Veracruz., México
Editor Académico Prof. Jorge Luis Rostran-Molina,
M.Sc
jorge.rostran@ev.unanleon.edu.ni

Resumen: El balance nutrimental, es un enfoque para generar recomendaciones de fertilización, el cual requiere menos recursos y tiempo para su implementación, se basa en que la dosis de fertilización depende de la demanda del nutrimento por el cultivo, el suministro del nutrimento por el suelo y la eficiencia de recuperación del nutrimento aplicado como fertilizante. El objetivo fue evaluar el modelo conceptual de fertilización para generar dosis nitrogenadas en maíz en la Costa del Golfo de México. Este consistió en el balance entre demanda de nitrógeno del cultivo, menos el suministro de nitrógeno por el suelo entre la eficiencia del fertilizante en cuatro tratamientos (VS-536 y V-537 C con y sin fertilizante). Los parámetros fisiotécnicos evaluados en las localidades Jamapa, Paso Real y El Rincón, del municipio de Jamapa, Veracruz fueron: demanda del cultivo, suministro de nutrimentos por el suelo y eficiencia del fertilizante. La demanda de nitrógeno con fertilizante fue estadísticamente superior a la no fertilizada; el suministro en ambos tratamientos fue estadísticamente similar. La eficiencia del fertilizante nitrogenado fue menor al 50% en las tres localidades. Las dosis de nitrógeno estimadas con el modelo conceptual fueron diferentes en las tres localidades (Jamapa 85, Rincón 55, y Paso Real 72 kg N ha⁻¹, respectivamente) en comparación con la dosis aplicada (150 kg N ha⁻¹), lo que representa una sobrefertilización del 44%, 64% y 52% para Jamapa, Rincón y Paso Real. Se concluye que este modelo permitió generar dosis adecuadas de Nitrógeno en menor tiempo y con una menor inversión.

Palabras clave: Demanda, Suministro, Eficiencia de fertilizante, Suelo, Dosis.

Abstract: The nutrient balance is an approach to generate fertilization recommendations, which requires less resources and time for its implementation. It is based on the fact that the fertilization dose depends on the nutrient demand by the crop, the nutrient supply by the soil and the efficiency of recovery of the nutrient applied as fertilizer. The objective was to evaluate the conceptual model of fertilization to generate nitrogen doses in corn on the Gulf Coast of Mexico. This consisted of the balance between crop nitrogen demand minus soil nitrogen supply and fertilizer efficiency in four treatments (VS-536 and

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León.,
Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua
ISSN-e: 2410-7980
Periodicidad: Semestral
vol. 7, núm. 14, 2021
czuniga@ct.unanleon.edu.ni

Recepción: 20 Mayo 2021
Aprobación: 16 Octubre 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941761005/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i14.12606>

Autor de correspondencia: zetina.rigoberto@inifap.gob.mx

V-537 C with and without fertilizer). The physiotechnical parameters evaluated in the locations of Jamapa, Paso Real and El Rincón, in the municipality of Jamapa, Veracruz were: crop demand, soil nutrient supply and fertilizer efficiency. Nitrogen demand with fertilizer was statistically superior to that without fertilizer; supply in both treatments was statistically similar. Nitrogen fertilizer efficiency was less than 50% at all three locations. Nitrogen doses estimated with the conceptual model were different in the three locations (Jamapa 85, Rincón 55, and Paso Real 72 of kg N ha⁻¹, respectively) compared to the applied dose (150 kg N ha⁻¹), representing an overfertilization of 44%, 64% and 52% for Jamapa, Rincón and Paso Real. It is concluded that this model allowed the generation of adequate doses of nitrogen in less time and with a lower investment.

Keywords: Demand, Supply, Fertilizer efficiency, Ground, Dose.

INTRODUCCIÓN

En un país como México, en el que una parte importante de la actividad económica depende de la producción de cultivos como el maíz, es necesario contar con tecnologías que respondan a las características y necesidades de las unidades de producción, tales como la fertilización química nitrogenada y orgánica para mejorar los rendimientos, al existir dicha correlación de la fertilización nitrogenada con el rendimiento se puede dimensionar y de este modo estandarizar la cantidad a aplicar para la determinación del punto de máximo rendimiento en el cultivo de maíz (Figuerola et al., 2021). En el estado de Veracruz, la superficie cultivada con maíz es de 558,791 ha, de las cuales 80% son sembradas en temporal (SIAP, 2018). En esta condición, se presenta una baja producción de grano, con rendimientos promedio de 2.2 t/ha (Jaramillo et al., 2018) vinculado entre otros factores, a las dosis de fertilización y oportunidad de aplicación. De acuerdo a estudios realizados mediante el método productor-experimentador en diferentes áreas maiceras de Veracruz, han determinado que uno de los principales factores que afectan al rendimiento es la fertilización, debido a que los productores no lo aplican en la cantidad ni en el momento en que la planta lo requiere, lo cual sólo incrementa los costos de producción. La fertilización es uno de los factores clave y controlables para la obtención de un mejor rendimiento en el cultivo de maíz (Medina et al., 2018); además, que ejerce una alta influencia sobre los componentes de rendimiento y las características agronómicas de ese cultivo (Gudelj et al., 2018). En este sentido, la cantidad de fertilizante que debe agregarse a los cultivos generalmente es determinada tradicionalmente mediante experimentos de campo Ayvar-Serna et al., (2020), en los cuales se mide la respuesta del cultivo a la aplicación de dosis crecientes de fertilizantes y a partir de esta información, se obtiene una dosis óptima económica (Vargas Salgado, 2020). Estos ensayos deben repetirse con cada cultivo de interés para una zona específica. Una aproximación aceptable de la dosis óptima económica sólo se logra estableciendo durante varios años un número elevado de ensayos que cubran el máximo posible de condiciones edáficas y climáticas de una región Martínez et al., (2020). El enfoque anterior ha permitido en México, estratificar la respuesta de un cultivo en áreas de respuesta homogéneas llamadas agro sistemas, los cuales presentan condiciones relativamente uniformes en los factores de producción (Turrent, 1978; 1981).

NOTAS DE AUTOR

zetina.rigoberto@inifap.gob.mx

En otras palabras, para un mismo estrato de suelo y clima, solo se diferencian de su capacidad de suministro de nutrientes para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, este procedimiento no presta mucha atención a las razones que determinan una respuesta dada, porque visualizan el proceso de un sistema en que sólo se analizan las entradas (dosis de fertilizantes) y las salidas (rendimientos).

Las recomendaciones que se generan de lo anterior son de carácter estático, puesto que la adición de fertilizantes y enmiendas orgánicas al suelo generalmente provocan un aumento en la disponibilidad de los nutrientes en el tiempo, lo cual significa que el suministro nutrimental del suelo es dinámico y que lógicamente deben serlo las dosis de fertilización (Angoma y Farfán, 2021). El reconocimiento de que la aplicación de fertilizantes es una función directa de la disponibilidad del nutriente en el suelo; es decir, del suministro por el suelo, fue una de las principales iniciativas que dieron origen a que en México se establecieran programas para evaluar esta disponibilidad mediante procedimientos químicos, lo cual se conoce comúnmente como análisis de suelo (Calvo et al., 2020). Las técnicas tradicionalmente usadas, requieren de un gran esfuerzo técnico, de tiempo y económico para generar recomendaciones de fertilización, por lo que dadas las condiciones económicas actuales de los países en desarrollo, responsables de generar esta información, es casi imposible reeditar las experiencias del pasado, además de que se debe agregar que desde un punto de vista agronómico, científico y académico es conveniente explicar la naturaleza de los fenómenos de respuesta, en función de las leyes y principios que las rigen. En este sentido, el modelo conceptual de fertilización es aquel que se utiliza para estimar dosis de fertilización utilizando un número reducido de parámetros que correspondan a los procesos que determinan la nutrición de los cultivos (Leal M. B., 2021). Los componentes que integran al modelo antes mencionado es la demanda del cultivo, el suministro de nutrientes, y la eficiencia del fertilizante; los cuales se describen a continuación: a) La demanda del cultivo es la cantidad teórica que este requerirá para alcanzar el máximo rendimiento posible con cierto grado de probabilidad, y se calcula con base en una concentración crítica requerida por el cultivo; b) Suministro de nutrientes por el suelo comprende la capacidad del suelo para suministrar los nutrientes, así como la eficiencia de la planta para absorber los nutrientes disponibles, y c) La eficiencia del fertilizante es la cantidad de nutriente aplicado al suelo que es aprovechado por la planta, y depende de factores como el tipo de cultivo, suelo, fuente del fertilizante, época y forma de aplicación tal como se indica en los estudios realizados por Cagua Meza, (2021); De Leo et al., (2020); Daza-Torrez, (2018), Della Santa et al., (2018).

Por ello, el modelo conceptual de fertilización es una alternativa que permite generar a corto plazo, dosis de fertilización para cultivos anuales como el maíz, el cual puede ser aplicado a nivel de planta, parcela, localidad o municipio, es decir, no presenta límites definidos. Este modelo fue propuesto por Stanford (1966), en Estados Unidos, el cual para generarlo propuso un algoritmo denominado modelo de la hoja de balance, que estima el requerimiento del fertilizante; el cual es calculado con base en la demanda de nutrientes por el cultivo menos el suministro proporcionado por el suelo y el resultado así obtenido es entonces dividido por la eficiencia del fertilizante a aplicar. El objetivo de este trabajo fue aplicar un modelo conceptual de fertilización para el cultivo de maíz, en tres localidades del municipio de Jamapa, Ver., México, que permita generar dosis de fertilización nitrogenada para tres tipos de suelos agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en tres localidades del municipio de Jamapa, Veracruz (El Rincón, Jamapa y Paso Real), las cuales se localizan a 30 km del puerto de Veracruz, presentan un clima AW₂ (Soto, 2001 y García, 1987), una altitud de 18 m, temperatura promedio anual de 25°C y precipitación promedio anual de 1400 mm. Las coordenadas cartesianas de cada uno de los sitios donde se estableció el experimento son las siguientes: localidad Jamapa 19° 02' 16'' N y 96° 14' 01 W''; localidad Rincón 19° 01' 47'' N y 96° 13' 19 W'' y localidad Paso Real 19° 03' 02'' N y 96° 14' 14 W'', las cuales fueron delimitadas con un GPS (Meridian Gold, modelo 211836). Antes del establecimiento del experimento y después de la

cosecha del mismo, se realizaron análisis de suelos en cada una de las tres localidades de estudio a muestras colectadas en Zig-Zag a una profundidad de 30 cm; a las cuales se les determinaron lo siguiente: Textura (hidrómetro de Bouyoucos), pH (relación suelo-agua 1:2 por potenciometría), materia orgánica (método de Walkley-Black, 1934), nitrógeno orgánico (método AS-08) SEMARNAT, (2000), Fosforo [método de Bray (1945)], potasio (método de acetato de amonio pH7), Calcio y magnesio (método de acetato de amonio pH 7) Sumner & Miller (1996). El experimento fue establecido bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones con arreglo factorial completo 2 x 2 (variedad x fertilizante) y cuatro tratamientos (VS-536 con y sin fertilizante, y V-537 C con y sin fertilizante); en el cual cada una de las unidades experimentales estaba constituida por 10 surcos de 8 m de longitud, espaciados a 0.80 m. Cada experimento fue dividido en ocho unidades experimentales con fertilizante y ocho sin fertilizante, haciendo un total de 16 unidades experimentales por localidad (Cuadro 1). La dosis de fertilización aplicada en las tres localidades fue la 150-46-30 de N, P y K, la cual es la recomendada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), para la zona central del estado de Veracruz (Sotelo et al., 2016), (Tinoco-Alfaro et al., 2002) y (Turrent et al., 1991).

CUADRO 1.
Detalle de los tratamientos evaluados en el ejido el Jamapa, Rincón y Paso Real.

Tratamiento	Descripción	Observaciones
1	VS-536 con fertilizante	a) 4 repeticiones por localidad (16 unidades
2	VS-536 sin fertilizante	experimentales; de los
3	V-537 C con fertilizante	cuales 8 son con fertilizante y 8 sin fertilizante) b) Tres
4	V-537 C sin fertilizante	diferentes localidades c) Tres tipos de suelos diferentes

Fuente: Elaboración propia

Los terrenos fueron preparados mediante barbecho a 40 cm de profundidad, dos pasos de rastra en forma cruzada y surcado a 80 cm; posteriormente se sembraron dos semillas de maíz a una distancia de 20 cm entre planta y 80 cm entre surco (misma situación para ambas variedades y localidades). Los fertilizantes se aplicaron de la siguiente manera: al momento de la siembra se aplicó la mitad del nitrógeno en forma de urea (46% de N), todo el fósforo con la fuente comercial superfosfato de calcio triple (46% de P_2O_5) y todo el potasio con la fuente comercial de cloruro de potasio (60% de K_2O). A los 30 días después de la siembra (dds), se realizó la segunda fertilización de N con el fertilizante comercial urea. La forma de aplicación de los fertilizantes químicos es la recomendada por los investigadores de maíz del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). A los 15 dds se realizó un aclareo dejando una planta por punto de siembra, con la finalidad de evitar competencia entre ellas por nutrientes y mantener una población estimada de 62,500 plantas por hectárea.

Las variables que se evaluaron en unidades experimentales con y sin fertilizante en cada experimento fue el índice de la concentración interna de nitrógeno en planta, raíz y grano, índice de cosecha, raíz y humedad, y rendimiento (Gonzalez et al., 2017); (López, 2005); Aguirre-Valdivia & Vargas-Gutiérrez, (2018). Para estimar los valores de cada variable del modelo fueron usadas dos plantas por unidad experimental de 8 x 8 m². Para la estimación del índice de cosecha, fueron cosechados 7.2 m² de cada unidad experimental eliminado a la vez el efecto de orilla.

Demanda de nitrógeno por el cultivo de maíz. En la parcela útil de cada localidad, fueron cosechadas por tratamiento y repetición dos plantas completas, a las cuales por separado se le cosecharon las mazorcas y se extrajeron las raíces por separado de cada una de esas dos plantas. Para el caso de las plantas, estas fueron

cortadas, pesadas en fresco, y secadas en una estufa de aire forzado a 65 °C por 72 h para obtener el peso seco. El grano de maíz de las dos mazorcas cosechadas fue pesado en fresco y se determinó el porcentaje de humedad con un determinador portátil marca “Multi grain”, modelo Dickey-John, posteriormente fueron sometidos en una estufa de aire forzado a 65 °C por 72 h para la obtención del peso seco constante. En el caso de las raíces, éstas fueron obtenidas de las plantas que se describieron anteriormente; las cuales se colectaron a 70 cm de profundidad y diámetro. Estas fueron lavadas con agua limpia a presión en una malla de 0.5 mm, secadas a la sombra, y se les tomó peso fresco con una balanza digital marca ACCULAB modelo V-6000. Una vez secadas a la sombra, fueron puestas en una estufa de aire forzado para obtener el peso seco de las mismas. Las muestras secas de plantas, raíces y grano fueron molidas en un molino de mesa, marca Thomas Wiley, se clasificaron, etiquetaron y se les determinó la concentración de nitrógeno total, mediante el método de microkjeldahl; con los datos obtenidos se determinó la demanda de N por el cultivo de acuerdo a la siguiente fórmula (López, 2005):

$$\text{Demanda de nitrógeno} = \frac{(\text{ICIN}) \times (\text{IR}+1) \times (\text{IH}-1) \times (\text{REND})}{\text{IC}}$$

Donde:

ICIN= Índice de la concentración interna de nitrógeno (kg kg^{-1}); IR= Índice de raíz (kg kg^{-1}); IH= Índice de humedad del grano a la cosecha (kg kg^{-1}); REND= Rendimiento (kg ó t); IC= Índice de cosecha (kg kg^{-1}).

Suministro de nitrógeno al suelo. Este parámetro se obtuvo mediante el procedimiento de incubación aeróbica a muestras de suelo para estimar el nitrógeno disponible mineralizable (Franzluebbers et al., 2000), Lopez-Molina J, (2018) y Toledo et al., (2020), mediante la siguiente fórmula: N inicial + N mineralizado = Suministro. Para ello, las muestras de suelo colectadas fueron secadas, molidas y tamizadas, después de la cosecha en cada una de las parcelas. Posteriormente, dentro de un frasco de plástico transparente con capacidad de 3.75 L, se introdujeron 3 frascos de cristal con capacidad de 50 mL cada uno de la siguiente manera: uno con 10 mL de KOH a 1N para capturar el CO_2 producido por los microorganismos en su respiración, otro frasco de cristal con 10 mL de agua destilada para mantener una humedad constante en el interior del frasco de mayor volumen, y un tercer frasco también de cristal con siete gramos de suelo a capacidad de campo; el cual una vez introducido los tres frascos de cristal dentro del frasco de 3.75 L fue cerrado herméticamente para evitar intercambio de gases con el exterior. Todos los frascos de 3.75 L fueron colocados dentro de una estufa incubadora a 25°C, y fue observado su comportamiento al día 0, 1, 3, 11, 21 y 30 días a partir del desarrollo de esta actividad; cabe hacer mención que en los días de observación antes mencionados, fue rellenado el frasco que contenía agua destilada, y cambiado en su totalidad el de KOH de cada frasco de cristal; mientras que al frasco que contenía las muestras de suelo no se les realizó ninguna hasta esas fechas. En el día 30, después de haber estado las 48 muestras de suelo a 25°C, se retiró el frasco que contenía cada una de las muestras de suelo. A esta muestra de suelo se les agregaron 28 mL de cloruro de potasio (KCl) 2N y fueron agitadas por 30 min en un agitador mecánico en matraces de cristal de 50 mL cada uno.

Posteriormente, las muestras de suelos fueron filtradas en papel Whatman número 42 y del total del extracto obtenido, solamente 10 mL fueron necesarios para determinarle la concentración de NH_4^+ y NO_3^- (análisis colorimétrico) por espectrofotometría de emisión de luz visible y luz ultravioleta. Para ello se utilizó un espectrofotómetro marca Spectronic Genesys, modelo TH, fabricado por la empresa Wesprime, S. A. de C. V., México, D. F.

Eficiencia del fertilizante. La fórmula que se utilizó para determinar la eficiencia del fertilizante utilizada por López (2005) fue la siguiente:

$$\text{EF} = \frac{|\text{NCF}| \times (\text{PSPRG}) \times |\text{NSF}| \times (\text{PSPRG})}{\text{FA}}$$

Donde:

EF: Eficiencia del fertilizante

[N CF] = Concentración de N en parcelas con fertilizante

PSPRG = Peso seco de planta, raíz y grano (kg)

[N SF] = Concentración de N en parcelas sin fertilizante

FA: Fertilizante aplicado (kg)

Este método utiliza la concentración de nitrógeno en parcelas con y sin fertilizante, así como el peso seco de las mismas. El resultado de la diferencia entre los tratamientos con y sin fertilizante anterior se dividió entre la cantidad en kilogramos de fertilizante nitrogenado aplicado al cultivo de maíz. Con este procedimiento se obtuvo el parámetro “eficiencia del fertilizante nitrogenado”; el cual es un indicador indispensable para poder aplicar el modelo conceptual de fertilización. Este procedimiento se realizó en cada una de las tres localidades seleccionadas.

Los datos obtenidos en cada parámetro del modelo conceptual de fertilización nitrogenada (demanda, suministro y eficiencia del fertilizante), fueron analizados con el paquete de diseños experimentales de la Universidad de Nuevo León, versión 2.5 y, finalmente se hicieron pruebas de t con el programa de Microsoft Office Excel 2003 a las dosis generadas con el modelo contra la dosis de fertilizante nitrogenado aplicada al cultivo de maíz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de parámetros correspondientes a la demanda de nitrógeno del cultivo de maíz en el ejido Paso Real, municipio de Jamapa, Veracruz. En los Cuadros 2 y 3 se presentan los análisis de varianza realizados a las variables evaluadas en el experimento establecido en la localidad de Paso Real, municipio de Jamapa, Veracruz., donde se observa que para el factor variedad, se detectó un efecto altamente significativo únicamente en el porcentaje de humedad en planta y significativo en humedad de grano en la etapa de cosecha. Por el contrario, en el factor fertilización, se encontró significancia en la mayoría de las variables, excepto en el porcentaje de humedad en planta, lo cual indica que las características medidas en planta, raíz y grano del cultivo de maíz son afectadas por la fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio datos que también fueron encontrados por Cruz-Mónica, (2017); Neira-Torres, (2020); Vázquez-Aguilar, (2019). La interacción variedad por fertilización, sólo fue significativa en el índice de raíz y en el porcentaje de humedad en planta a la cosecha. En el resto de las interacciones, estos factores actuaron de manera independiente, por lo que los efectos simples de un sólo factor son los mismos para todos los niveles de los otros factores dentro de una variación aleatoria, medida por el error experimental (Quiroz et al., 2017). Los coeficientes de variación se ubicaron en un intervalo aceptable, de acuerdo con lo reportado por Reyes (1990 b), al considerar que este experimento se condujo bajo condiciones de temporal. El coeficiente de variación del índice de raíz fue similar en el ejido Paso Real (26.0) y Jamapa (23.0), y diferente en el Rincón (11.6), esto posiblemente obedece principalmente al tipo de suelo en el cual se desarrolló el cultivo de maíz y a la forma de obtención de las raíces para su análisis.

CUADRO 2.

Significancia detectada en las variables porcentaje de nitrógeno en planta, raíz y grano, índice de raíz e índice de cosecha en el experimento establecido en el ejido Paso Real.

FV	GL	Porcentaje de N en planta	Porcentaje de N en raíz	Porcentaje de N en grano	Índice de raíz	Índice de cosecha
Bloque	3	0.0245	0.0035	0.0678	3.3201	15.2421
Variedad (V)	1	0.0000	0.0100	0.0044	1.2938	78.0976
Fertilización (F)	1	ns	ns	ns	ns	ns
V x F	1	0.1538	0.0521	0.2288	51.6600	223.1230
		*y	**x	**	**	**
Error	9	0.0006	0.0007	0.0192	26.9102	8.3417
Total	15	ns	ns	ns	*	ns
CV (%)		0.0153	0.0038	0.0062	3.9782	16.0056
		14.9	9.8	6.1	26.0	9.1

Fuente: Elaboración propia

ns = No significativo

*y = Significativo al 5 %

**x= Altamente significativo al 1 %

CUADRO 3.

Significancia detectada en las variables humedad en planta, raíz y grano, y rendimiento de grano en el experimento establecido en el ejido Paso Real.

FV	GL	Humedad en planta (%)	Humedad en raíz (%)	Humedad en grano (%)	Rendimiento de grano
Bloque	3	40.957	32.872	1.606	0.352
Variedad (V)	1	256.400	15.019	35.105	0.141 ns
Fertilización (F)	1	**x	ns	*y	
V x F	1	20.361	74.394 *	46.921 *	21.515 **
		ns			
Error	9	167.378	34.222	0.075 ns	0.213 ns
Total	15	*	ns		
CV (%)		21.633	12.189	6.501	0.255
		11.8	5.9	11.7	14.4

Fuente: Elaboración propia

ns = No significativo

*y = Significativo al 5 %

**x= Altamente significativo al 1 %

Determinación de parámetros correspondientes a la demanda de nitrógeno del cultivo de maíz en ejido Jamapa, municipio de Jamapa, Veracruz. En los Cuadros 4 y 5 se presenta el resumen de los análisis de varianza realizados a las variables medidas en el experimento establecido en el ejido Jamapa, municipio de Jamapa, Ver., donde se observa que las variedades de maíz VS-536 y V-537 C producen cambios diferentes con respecto a índice de cosecha, humedad de grano, y rendimiento, al momento de la cosecha. La dosis de fertilización aplicada en comparación con el tratamiento sin fertilizante se encontró que produce cambios en el contenido de humedad de planta y grano al momento de la cosecha, pero también produjo cambios en la concentración de nitrógeno en raíz, humedad de raíz y rendimiento. Lo anterior indica que las características medidas en planta, raíz y grano del cultivo de maíz son afectadas por la fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio. La acción conjunta variedad x fertilización, sólo fue significativa en la humedad de planta a cosecha. En el resto

de las interacciones, estos factores actuaron de manera independiente, por lo que los efectos simples de un solo factor son los mismos para todos los niveles de los otros factores dentro de una variación aleatoria, medida por el error experimental (Quiroz et al., 2017). Los coeficientes de variación se ubicaron en un intervalo aceptable, de acuerdo con lo reportado por Reyes (1990-b), al considerar que este experimento se condujo bajo condiciones de temporal o de condiciones de campo.

CUADRO 4.

Significancia detectada en las variables porcentaje de nitrógeno en planta, raíz y grano, e índice de raíz y cosecha evaluadas en el experimento establecido en el ejido Jamapa.

FV	GL	Porcentaje N en planta	Porcentaje N en raíz	Porcentaje N en grano	Índice de Raíz (g g ⁻¹)	Índice de cosecha (g g ⁻¹)
Bloque	3	0.019	0.029	0.049	0.09	16.3
Variedad (V)	1	0.015 ns	0.004 ns	0.000 ns	0.07 ns	143.4 *y
Fertilización (F)	1	0.049 ns	0.025 *	0.105 ns	0.27 ns	25.5 ns
V x F	1	0.000 ns	0.013 ns	0.048 ns	0.05 ns	33.0 ns
Error	9	0.010	0.003	0.022	0.51	23.7
Total	15					
CV (%)		13.8	8.6	11.2	20.3	9.6

Fuente: Elaboración propia

ns = No significativo

*y = Significativo al 5 %

CUADRO 5.

Significancia detectada en las variables humedad en planta, raíz y grano a cosecha, y rendimiento de grano evaluadas en el experimento establecido en el Ejido Jamapa.

FV	GL	Humedad en planta a cosecha (%)	Humedad en raíz a cosecha (%)	Humedad en grano a cosecha (%)	Rendimiento de grano (%)
Bloque	3	6.60	2.91	10.52	0.788
Variedad (V)	1	5.06 ns	9.00 ns	32.14 *y	4.543 *
Fertilización (F)	1	138.06 **x	90.25 *	87.04 **	3.380 *
V x F	1	45.56 *	6.25 ns	0.84 ns	0.705 ns
Error	9	4.65	11.75	6.21	0.485
Total	15				
CV (%)		8.5	5.0	11.9	14.1

Fuente; Elaboración propia

ns = No significativo

*y = Significativo al 5 %

**x= Altamente significativo al 1 %

Determinación de parámetros correspondientes a la demanda de nitrógeno del cultivo de maíz en ejido Rincón, municipio de Jamapa, Veracruz. En el Cuadro 6 y 7 se presenta el resumen de los análisis de varianza realizados a las variables medidas en el experimento establecido en la localidad de El Rincón, municipio

de Jamapa, Ver. Se observa en dichos cuadros que, para el factor variedad, sólo se detectó efecto altamente significativo en el índice de raíz, a diferencia del ejido Jamapa que en este mismo factor presentó diferencia estadística en el índice de cosecha, humedad de grano a cosecha y rendimiento y el ejido Paso Real que también presentó defenecia estadística en la humedad de planta y grano a cosecha. Por el contrario, en la fertilización, se encontró altamente significativo el por ciento de nitrógeno en grano y el rendimiento; y diferencias significativas en el porcentaje de nitrógeno en planta y raíz, índice de raíz y humedad de grano a cosecha, lo cual indica que las características medidas en planta, raíz y grano del cultivo de maíz son afectadas por la fertilización de nitrógeno. De acuerdo con Cepeda, (2016) el nitrógeno por su alta movilidad particularmente en condiciones tropicales se encuentra hasta en un 80% en la biomasa de las plantas. Este factor también presentó diferencias estadísticas en el ejido Jamapa en el porcentaje de nitrógeno en raíz, humedad de planta, grano y raíz a cosecha y rendimiento; así como en el ejido Paso Real en índice de raíz y cosecha, humedad de raíz y grano a cosecha, rendimiento y porcentaje de nitrógeno en raíz y grano. La acción conjunta variedad por fertilización, no fue significativa en ninguno de los parámetros en estudio. En el resto de las interacciones, estos factores actuaron de manera independiente, por lo que los efectos simples de un solo factor son los mismos para todos los niveles de los otros factores dentro de una variación aleatoria, medida por el error experimental (Quiroz et al., 2017). Los coeficientes de variación se ubicaron en un intervalo aceptable, de acuerdo con lo reportado por Reyes (1990), al considerar que este experimento se condujo bajo condiciones de temporal.

CUADRO 6.

Significancia detectada en las variables porcentaje de nitrógeno en planta, raíz y grano, e índice de raíz y cosecha evaluadas en el experimento establecido en el ejido Rincón.

FV	GL	Porcentaje N en planta	Porcentaje N en raíz	Porcentaje N en grano	Índice de Raíz (%)	Índice de cosecha (%)
Bloque	3	0.095	0.182	0.009	1.698	10.621
Variedad (V)	1	0.000 ns	0.294 ns	0.006 ns	18.275 **x	28.105 ns
Fertilización (F)	1	0.170 *y	0.652 *	0.135 **	3.705 *	157.507 ns
V x F	1	0.013 ns	0.005 ns	0.000 ns	0.722 ns	0.710 ns
Error	9	0.023	0.083	0.012	0.478	45.406
Total	15					
CV (%)		16.8	26.7	8.8	11.6	12.8

Fuente; Elaboración propia

ns = No significativo

*y = Significativo al 5 %

**x= Altamente significativo al 1 %

CUADRO 7

Significancia detectada en las variables humedad en planta, raíz y grano a cosecha, y rendimiento de grano evaluadas en el experimento establecido en el ejido Rincón.

FV	GL	Humedad en planta a cosecha (%)	Humedad en raíz a cosecha (%)	Humedad en grano a cosecha (%)	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)
Bloque	3	215.083	5.651	1.223	0.349
Variedad (V)	1	68.062	11.742	1.890	0.987 ns
Fertilización (F)	1	361.000	21.867	43.890	6.655 **x
V x F	1	45.562	1.140	0.015	0.372 ns
Error	9	128.930	9.321	8.098	0.285
Total	15				
CV (%)		26.6	3.9	10.8	14.9

Fuente; Elaboración propia

nsz = No significativo

*y = Significativo al 5 %

**x= Altamente significativo al 1 %

Índice de la Concentración interna de nitrógeno (ICIN) en tres localidades del municipio de Jamapa, Veracruz. Para esta determinación se realizaron análisis químicos de tejido vegetal de biomasa aérea, grano y raíz; en el cual se encontró que la parte vegetal que presentó mayor concentración de nitrógeno en tratamientos con y sin fertilizante fue el grano con 1.28%. En segundo lugar, fue la parte aérea de la planta con 0.80% y en tercer lugar la raíz con 0.75% respectivamente. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Rodríguez (1990), el cual menciona que los cultivos como el maíz que alcanzan la senescencia en el tiempo de cosecha, el requerimiento interno de Nitrógeno se encuentra alrededor de 1.2%.

Otros parámetros determinados para estimar la Demanda Nutricional del cultivo de maíz fue el Índice de humedad en planta, grano y raíz; índice de cosecha; índice de raíz, y rendimiento (Cuadro 8). La parte de la planta que presentó mayor humedad en tratamientos con y sin fertilizante, fue la raíz, seguido del grano y por último la biomasa total aérea. Con respecto a los índices de raíz y cosecha, el más alto fue el índice de cosecha.

CUADRO 8.

Índice de humedad, Cosecha, raíz y rendimiento en tres localidades del municipio de Jamapa, Veracruz.

Localidad	Modalidad	índice de humedad			Índice de Cosecha	índice de Raíz	Rendimiento t/ha
		Planta	Grano	Raíz			
Jamapa	Con Fert.	0.24	0.23	0.70	0.52	0.04	5.48
Jamapa	Sin Fert.	0.27	0.19	0.77	0.49	0.03	4.37
Rincón	Con Fert.	0.38	0.28	0.79	0.56	0.06	4.21
Rincón	Sin Fert.	0.48	0.25	0.77	0.49	0.05	2.92
Paso Real	Con Fert.	0.41	0.24	0.62	0.47	0.09	4.66
Paso Real	Sin Fert.	0.38	0.20	0.57	0.40	0.06	2.34

Fuente; Elaboración propia

Demanda de nitrógeno por el cultivo de maíz. En el Cuadro 9, se muestra la demanda nutricional del cultivo de maíz en tratamientos con y sin fertilizante en localidades del municipio de Jamapa, Veracruz, México. La localidad que presentó una mayor demanda en parcelas con fertilizante fue Jamapa con 86.2 Kg

de N ha^{-1} , seguido Rincón con $58.8 \text{ Kg de N ha}^{-1}$ y por último Paso Real con $66.7 \text{ Kg de N ha}^{-1}$. Lo anterior obedece a que en las localidades que presentaron mayor demanda, tienen suelos pobres en fósforo y aunque los análisis de suelo presentaron cantidades aprovechables de nitrógeno y materia orgánica posiblemente no está disponible para las plantas. Estos resultados se relacionan con lo encontrado por (Martínez-Aguilar et al., 2020) donde mencionan que, con la adición de fertilizantes al suelo, las plantas de maíz demandan una mayor cantidad de nutrimentos incluido el nitrógeno, los cuales, al ser absorbidos por éstas, favorecen el incremento de la biomasa total y del rendimiento.

CUADRO 9.

Demanda de nitrógeno del cultivo de maíz (Kg ha^{-1} de N), en localidades de Jamapa, Veracruz, en condiciones con fertilizante (CF) y sin fertilizante (SF).

Tratamiento	Descripción	Jamapa	Rincón	Paso real
1	VS-536 con fertilizante	80.8	64.6	68.6
2	VS-536 sin fertilizante	52.0	35.7	36.9
3	V-537 C con fertilizante	91.6	53.0	64.8
4	V-537 C sin fertilizante	71.9	32.8	35.8

Fuente: Elaboración propia

Suministro de nitrógeno por el suelo en localidades de Jamapa, Veracruz. En el Cuadro 10, se muestran los kilogramos de nitrógeno por hectárea, que suministró el suelo en parcelas con y sin fertilizante en localidades de Jamapa, Rincón y Paso Real. La localidad Jamapa en los tratamientos con fertilizante, fue el que suministró más nitrógeno al suelo con 107.7 kg/ha^{-1} , seguido de El Rincón con 80.3 kg/ha^{-1} y Paso Real con 99.2 kg/ha^{-1} . Los tratamientos que no se les suministró fertilizante, en las tres localidades en estudio presentaron una demanda similar. Lo anterior refleja el efecto que tiene el fertilizante nitrogenado en esos suelos, ya que de acuerdo con los datos obtenidos de los análisis de suelos practicados en cada sitio experimental y con López (2005), se encontró que éstos, son suelos pobres en su contenido de nutrimentos tales como N, P, K Ca, Mg y MO, y la cantidad de nitrógeno que suministran no es la requerida por el cultivo de maíz; por tal motivo fue necesario en cada uno de ellos hacer uso de los fertilizantes químicos nitrogenados. El suelo que más suministró nitrógeno hacia el cultivo en tratamientos sin fertilizante fue en la localidad de Jamapa, seguido de Paso Real y el Rincón; estos resultados se deben a las diferentes propiedades físicas y químicas que presentan cada uno de los suelos donde se llevó a cabo la investigación.

CUADRO 10.

Suministro de nitrógeno del suelo en localidades seleccionadas de Jamapa, Veracruz, en condiciones con fertilizante (CF) y sin fertilizante (SF).

Tratamiento	Descripción	Jamapa	Rincón	Paso real
1	VS-536 con fertilizante	98.8	79.7	96.9
2	VS-536 sin fertilizante	54.6	42.0	35.9
3	V-537 C con fertilizante	116.6	80.9	101.6
4	V-537 C sin fertilizante	57.2	31.9	37.9

Fuente: Elaboración propia

Eficiencia del fertilizante nitrogenado en localidades de Jamapa, Veracruz, México. En el Cuadro 11, se muestra la eficiencia del fertilizante nitrogenado en el cultivo de maíz en las tres localidades del municipio de Jamapa, Veracruz. En el mismo cuadro se observa que en Jamapa se tuvo una eficiencia del 35 %, en el Rincón, la eficiencia del fertilizante fue de 41.5 %, en y finalmente en Paso Real de 43 %. En general, las tres localidades tuvieron un promedio en la eficiencia del fertilizante del 39.8 %. Lo anterior está relacionado con lo reportado por Rodríguez (1990), que menciona que, en suelos y cultivos de maíz bien manejados, la eficiencia del fertilizante nitrogenado por lo general varía entre un 30% y 55%; y la diferencia de estas cifras, el nitrógeno se pierde principalmente por desnitrificación, lixiviación y volatilización.

Al respecto Palma, (1994) encontró para dos tipos de suelos de Tabasco, un Vertisol y un Fluvisol, coeficientes de utilización de fertilizantes nitrogenados de 55 y 70% respectivamente medido con N15 y de 87 y 72% respectivamente por el método de la diferencia, utilizando una variedad criolla de maíz.

CUADRO 11.
Eficiencia del fertilizante en localidades de Jamapa, Veracruz.

Tratamiento	Descripción	Jamapa (%)	Rincón (%)	Paso real (%)
1	VS-536 con fertilizante	0.30	0.37	0.48
2	VS-536 sin fertilizante	0.00	0.00	0.00
3	V-537 C con fertilizante	0.39	0.46	0.38
4	V-537 C sin fertilizante	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Dosis de fertilización en localidades de Jamapa, Veracruz, México. En el Cuadros 12 se observa que las dosis de fertilización obtenidas con el modelo conceptual de fertilización en las tres localidades mostraron una alta diferencia estadística contra la aplicada (150 kg de nitrógeno). Los resultados en cuestión se relacionan con los datos obtenidos por López (2005), que encontraron que, en trabajos de campo con maíz, este modelo tuvo una exactitud del 54%.

CUADRO 12.
Dosis de fertilización nitrogenada en kg ha⁻¹ calculada con el modelo conceptual de fertilización contra la dosis aplicada en localidades de Jamapa, Veracruz

Tratamiento	Descripción	Dosis aplicada (kg/ha)	Jamapa (%)	Rincón (%)	Paso real (%)
1	VS-536 con fertilizante	150	86.25	63.00	67.75
2	VS-536 sin fertilizante	0.00	0.00	0.00	0.00
3	V-537 C con fertilizante	150	83.50	47.00	76.75
4	V-537 C sin fertilizante	0.00	0.00	0.00	0.00

CONCLUSIONES

La mayor concentración interna de nitrógeno lo presento el grano, seguido de la raíz y biomasa aérea (tallos y hojas).

Los índices de raíz, cosecha y humedad fueron constantes en los tres ejidos, así como en parcelas con y sin fertilizantes; lo cual indica que este parámetro no tiene un efecto entre el manejo del cultivo ni el tipo de suelos.

La demanda de fertilizante para el cultivo de maíz, obtenida con el modelo conceptual de fertilización fue diferente en tratamientos con y sin fertilizante; Jamapa obtuvo en tratamientos con fertilizante una demanda de 86.2 Kg de N/ha, Rincón con 58.8 Kg de N/ha y Paso Real con 66.7 Kg de N/ha.

La estimación del suministro de nutrimentos por el suelo con el método de incubación aeróbica no presentó diferencias estadísticas entre cada uno de ellos ya que Jamapa suministró 107.7 kg N/ha, Rincón 80.3 kg N/ha y Paso Real 99.2 kg N/ha.

Las eficiencias del fertilizante en las localidades en estudio fueron estadísticamente similares: Jamapa 35%, Rincón 42% y Paso Real 43%

La dosis de nitrógeno obtenida con el modelo conceptual de fertilización, fueron diferentes en las tres localidades donde se llevó a cabo la investigación (Jamapa 85 kg N/ha; Rincón 55 kg N/ha; y Paso Real 72 kg N/ha) en comparación con la dosis aplicada (150 kg N/ha), lo que representa una sobre fertilización del 44%, 64% y 52% para Jamapa, Rincón y Paso Real respectivamente. Se concluyó que este modelo conceptual permitió generar dosis adecuadas de N, en menor tiempo y con una menor inversión.

LITERATURA CITADA

- Aguirre Valdivia, J. K., & Vargas Gutiérrez, C. S. (2018). Evaluación de la eficiencia agronómica y económica de uso de nitrógeno de maíz (*Zea mays* L.) variedad SEMSA "TEPEYAC", Yalaguina, Madriz, Nicaragua, 2017 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).
- Angoma, A. P., & Farfán, H. (2021). Efecto de la fertilización orgánica mineral sobre la producción de maíz morado (*Zea mays* L.). *Revista Científica Siglo XXI*, 1(1), 97-106.
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 9-16. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>
- Bray, R. H. y Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Cagua Meza, R. B. (2021). Dosis de nitrógeno en el comportamiento agronómico y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).
- Calvo, C. S., García, A. M., Venegas, J. P. G., Díaz, H. R., & Valverde, D. C. (2020). Comparación de dos métodos de muestreo para el análisis de fertilidad de suelos. *Alcances Tecnológicos*, 13(1), 31-39. <https://doi.org/10.35486/at.v13i1.168>
- Cepeda D., J. M. (2016). Química de suelos. Trillas. México, D. F. ISBN-13: 978-968-24-4032-8.
- Cruz, M. S. (2017). Efecto de cuatro densidades de siembra y cuatro dosis de fertilizante NPK en el desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.).
- Daza Torrez, M. C. (2018). Estrategias para la optimización de la fertilización nitrogenada y reducción de la lixiviación de nitratos en sistemas productivos de plantas aromáticas.
- De Leo, G., Torres Carbonell, C. A., & Lauric, M. A. (2020). Evaluación de la fertilización nitrogenada en tres cultivares de trigo pan. EEA Bordenave, INTA.

- Della Santa Pernas, F., Uhlig Cuk, J. A., & Vivo Vecino, I. (2018). Respuesta de Brassica carinata a la fertilización nitrogenada y azufrada: desarrollo de un modelo de respuesta.
- Figuerola, M. Á. G., Cuéllar, S. E. M., Hernández, A. N., & Vázquez, M. P. (2021). Determinación del punto de máxima producción de maíz híbrido ASGROW A-7573 con la aplicación de diferentes dosis de fertilización nitrogenada. Producción y comercialización, 30, 70.
- Franzluebbers, A. J.; R. L. Haney; C. W. Honeycutt; H. H. Schomberg and F. M. Hons. (2000). Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:613-623.
- García, E. (1987). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen (para adecuarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 130 p.
- González, M. R., Ramírez, G. D., Valle, E. M., Prieto, A. J. S., González, A. R., Palestina, M. S., y Ávalos, J. E. (2017). Estimación de la variación espacial y temporal de la concentración de nitrógeno en maíz forrajero mediante sensoria remota. Agrofaz: publicación semestral de investigación científica, 17(2), 53-59.
- Gudelj, V. J., Vallone, P. S., Galarza, C. M., Anselmi, H. J., Donadio, H. R., Salafia, A. G. y Conde, M. B. (2018). Evaluación de la fertilización en maíz con nitrógeno, fósforo, azufre y zinc. Ediciones INTA; Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez.
- Jaramillo Albuja, J. G., Peña Olvera, B. V., Hernández Salgado, J. H., Díaz Ruiz, R., y Espinosa Calderón, A. (2018). Caracterización de productores de maíz de temporal en Tierra Blanca, Veracruz. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(5), 911-923. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1501>
- Leal, M. B. (2021). Estrategias para aplicação de fertilizante nitrogenado em capim mombaça.
- López, C. C. J. (2005). A conceptual model to estimate the nitrogen requirement of corn (Zea mays L.). Thesis of sciences doctor. Texas A&M University. 202 p.
- López_Molina, J. (2018). Efectos del biochar, bokashi y compost en las dinámicas del carbono y nitrógeno en suelos con pH contrastados. Universidad de Jaen. Biología animal, Biología vegetal y Ecología. <http://hdl.handle.net/10953.1/8716>
- Martínez B., F., F. Guevara, C. E. Aguilar, R. Pinto, M. A. La O, L. A. Rodríguez, and D. R. Aryal. (2020). Energy and economic efficiency of maize agroecosystem under three management strategies in the Frailesca, Chiapas (Mexico). 10: 81. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture10030081>
- Martínez-Aguilar, F. B., Guevara-Hernández, F., Aguilar-Jiménez, C. E., Rodríguez-Larramendi, L. A., & Reyes-Sosa, M. B. (2020). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. Terra Latinoamericana, 38(4), 871-881.
- Medina M. J., Alejo S. G., Soto R. J. M., y Hernández P. M. (2018). Rendimiento de maíz grano con y sin fertilización en el estado de Campeche. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(spe21), 4306-4316. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1532>
- Reyes C., P. 1990a. Diseño de experimentos aplicados. Editorial Trillas. México. 334 p. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1532>
- Neira Torres, J. M. (2020). Efecto de la densidad de plantas y de la fertilización NPK, en el rendimiento del maíz amarillo duro (Zea mays L.) En el distrito de Sondor-Huancabamba.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT. (2000). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreos y análisis.
- Palafox-Caballero, A.; M. Sierra-Macías; A. Turrent-Fernández; O. H. Tosquy-Valle; S. Barrón-Freyre y O. Cano-Reyes. (2001). Respuesta de híbridos normales y de alta calidad de proteína a niveles de fertilización y densidad. En Memoria de la XIV Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria 2001. Veracruz, Ver. México.
- Palma, L. D. J. (1994). Contribution a l'etude des potentialités agricoles et des flux azotés dans divers sols cultivés en maïs. Tesis de Doctorado en Ciencias. Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires. Nancy, France. 228 p.
- Quiroz M. J., Pérez L. D. D. J., González H. A., Rubí A. M., Gutiérrez R. F., Franco M. J. R. P., y Ramírez D. J. F. (2017). Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexicano. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(7), 1521-1535. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.508>
- Reyes C., P. (1990) b. El maíz y su cultivo. AGT Editor, México, D. F. p. 25-29.

- Rodríguez, S. J. (1990). La fertilización de los cultivos: Un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. p. 45-50.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y pesquera). (2018). SADER. LIGA: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do
- Sotelo R. E. D., Cruz B. G. M., González H. A., y Moreno S. F. (2016). Determining the suitability of the land for maize by multi-spatial analysis in the State of Mexico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(2), 401-412. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i2.353>
- Soto, M., L. Gama y M. Gómez. (2001). Los climas cálidos subhúmedos del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 3:31-40.
- Stanford, G. (1966). Nitrogen requirements of crops for maximum yield. P. 237-272. In: M. H. McVicker, W. P. Martin, I.E. Miles, and H. H. Tucker. (eds). *Agricultural anhydrous ammonia technology and use*. Soil Science Society of America, Madisón, Wisconsin. <https://doi.org/10.2134/1966.nh3agricultural.c13>
- Sumner M.E., y W. P. Miller. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. Chapter 40. Pp1201-1229 In: JM Bartels (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA and ASA. Madison, WI.
- Tinoco-Alfaro, C. A.; F. A. Rodríguez-Montalvo; R. J-Sandoval; S. Barron-Freire; A. Palafox-Caballero; M. Sierra-Macías; V. A. Esqueda-Esquivel y J. Romero-Mora. (2002). Manual de producción de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco. Folleto Técnico número 9, INIFAP. Veracruz, México.159 p.
- Toledo, G., Gargaglione, V., Peri, P. L., & Toledo, S. (2020). Biomasa y respiración microbiana: Respuesta ante cambios en la humedad del suelo en la Estepa Magallánica Seca de Santa Cruz, Argentina. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 12(3), 151-165. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n3.746>
- Turrent, F. A. (1978). El agrosistema un concepto útil dentro de la disciplina de productividad. *Asuntos sobre la metodología de la investigación en productividad* 3. Rama de Suelos, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Turrent, F. A. (1981). El método CP para el diseño de agrosistemas. *Agrociencia* 44:17-16.
- Turrent-Fernández, A.; L. J. A. Aguilar; L. J. G. Zuñiga; V. A. Esqueda-Esquivel; y J. V. Barradas. (1991). Manual de diagnóstico-recomendación para el cultivo de maíz en el estado de Veracruz. SARH. Publicación especial No. 5. Veracruz, Ver.
- Vargas Salgado, M. (2020). Óptimos económicos de fertilización en maíz para elevar las ganancias de los productores.
- Vásquez Aguilar, A. (2019). Efecto de tres dosis de fertilización en el rendimiento de tres variedades de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) en tres localidades del distrito de Cutervo, 2016-2017.
- Walkley, A. and I.A. Black. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.