

Generación de tecnología para la producción de maíz de riego en la frailesca, Chiapas, México. I. Análisis agronómico

Geração de tecnologia para a produção de milho irrigado em la frailesca, Chiapas, México. I. Análise agronômica

DOI: 10.34188/bjaerv4n3-109

Recebimento dos originais: 04/03/2021

Aceitação para publicação: 30/06/2021

Robertony Camas Gómez

Doutor em Ciências Pesquisador do programa de Agroprodutividade do Instituto Nacional de Pesquisa Florestal, Agropecuária de Chiapas, Centro Experimental de Chiapas, Km. 3 Rodovia Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla de Espinosa Chiapas. CP 29140

E-mail: camas.robertony@inifap.gob.mx

Pedro Cadena Íñiguez

Investigador en el programa de socio economía del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en Chiapas, Campo Experimental Centro de Chiapas, Km. 3 carretera Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla de Espinosa Chiapas. CP 29140

E-mail: cadena.pedro@inifap.gob.mx

Juan Pablo Torres Zambrano

Doutor em Ciências Professor-pesquisador. Instituto Superior Tecnológico de Ciudad Serdan, Puebla. Av. Instituto Tecnológico S / N Colonia la Gloria CP 75520, Ciudad Serdán Puebla.

E-mail: jp7812@hotmail.com

Francisco Guevara Hernández

Doutor em Ciência e Professor de Pesquisa na Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus V, Universidade Autônoma de Chiapas. Rodovia Ocozocoautla - Villaflores Km 84,5. Villaflores, Chiapas. CP 30470

E-mail: francisco.guevara@unach.mx

René pinto Ruíz

Doutor em Ciência e Professor de Pesquisa na Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus V, Universidade Autônoma de Chiapas. Rodovia Ocozocoautla - Villaflores Km 84,5. Villaflores, Chiapas. CP 30470

E-mail: pinto_ruiz@yahoo.com.mx

Juan Uriel Avelar Roblero

Doutor em Ciências Pesquisador do Programa de Hidrociências da Faculdade de Pós-Graduação Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km. 36,5, Montecillo, Texcoco, Estado do México. CP. 56230

E-mail: juan.uar@gmail.com

Rausel Camas Pereyra

Engenheiro Agrônomo Mestrando em edafologia pela Faculdade de Pós-Graduação. Carretera México-Texcoco Km. 36,5, Montecillo, Texcoco, Estado do México. CP. 56230

E-mail: camas.rausel@colpos.mx

Moisés Alonso Báez

Doutor em ciências Pesquisador do programa Solo e Uso da Água do Instituto Nacional de Pesquisa Florestal, Agropecuária de Chiapas, Campo Experimental Rosario Izapa, Km. 18 Rodovia Tapachula-Cacahoatan, Tuxtla Chico, Chiapas CP. 30870
E-mail: alonso.moises@inifap.gob.mx

RESUMEN

El estado de Chiapas ubicado en el sureste de la República Mexicana cuenta con 58,129 ha para la producción de maíz de riego, distribuidas entre cuatro distritos y unidades de riego. De estos, el Distrito de Riego Cuxtepeques en la región de La Frailesca Chiapas, principal zona productora de maíz, es el menos aprovechado. De una superficie de 8,354 ha únicamente se riega el 51% y lo mismo sucede con las unidades de riego, donde generalmente se riega sobre pastos nativos y una pequeña proporción para producción de maíz. Lo anterior es debido al bajo rendimiento y rentabilidad ocasionado por la falta de tecnología. Con el objetivo de generar tecnología conducente a incrementar el rendimiento de maíz de riego se estudió la respuesta de seis híbridos a la aplicación de cinco dosis de N-P-K, densidad de población (D), dos fechas de siembra y dos aportes de riego en dos experimentos de campo en el ciclo otoño invierno 2017-2018 en la región Frailesca, Chiapas. Se estableció un diseño de Parcelas Sub divididas con 2 repeticiones. Las parcelas grandes se asignaron a cuatro tratamientos producto de la combinación de dos fechas de siembra (FS) y dos aportes de riego (AR). Las parcelas divididas se asignaron a 26 tratamientos de un diseño (compuesto central rotatorio) hipercubo doble lotificado a la un tercio, para cinco niveles de cuatro factores; nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y densidad (D). Las parcelas subdivididas se asignaron a seis híbridos. El estudio presentó efecto de múltiples interacciones de los genotipos, asociadas principalmente a las FS x AR. El efecto de los tratamientos de N, P, K, D, FS y AR fue diferente entre los híbridos y entre las localidades, lo que indica una interacción genotipo x manejo x localidad influenciado de manera importante por las condiciones de fertilidad de los suelos de las localidades. La información sobre rendimientos de maíz con la tecnología generada, contribuirán a incrementar la producción sostenida y rentable de maíz de riego en La Frailesca, Chiapas.

Palabras clave: *Zea mays L., fecha de siembra, aporte de riego, densidad, NPK, interacción genotipo x manejo x localidad.*

RESUMO

O estado de Chiapas localizado no sudeste da República Mexicana possui 58.129 ha para a produção de milho irrigado, distribuídos em quatro distritos e unidades de irrigação. Destes, o Distrito de Irrigação de Cuxtepeques na região de La Frailesca Chiapas, principal área produtora de milho, é o menos explorado. De uma área de 8.354 ha, apenas 51% é irrigada e o mesmo acontece com as unidades de irrigação, onde geralmente é irrigado em pastagens nativas e uma pequena proporção para a produção de milho. Isso se deve ao baixo desempenho e rentabilidade causados pela falta de tecnologia. Com o objetivo de gerar tecnologia que favoreça o aumento da produtividade do milho irrigado, estudou-se a resposta de seis híbridos à aplicação de cinco doses de NPK, densidade populacional (D), duas épocas de semeadura e duas contribuições de irrigação em dois experimentos. o ciclo outono inverno 2017-2018 na região de Frailesca, Chiapas. Um desenho de parcelas subdivididas com 2 repetições foi estabelecido. As grandes parcelas foram atribuídas a quatro produtos de tratamentos da combinação de duas datas de semeadura (FS) e duas contribuições de irrigação (AR). As parcelas divididas foram atribuídas a 26 tratamentos de um desenho (composto central rotativo) hipercubo duplo lotificado a um terço, para cinco níveis de quatro fatores; nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e densidade (D). As parcelas subdivididas foram atribuídas a seis híbridos. O estudo apresentou o efeito de múltiplas interações dos genótipos, principalmente associadas a FS x AR. O efeito dos tratamentos N, P, K, D, FS e AR foi diferente

entre os híbridos e entre as localidades, o que indica uma interação genótipo x manejo x localidade significativamente influenciada pelas condições de fertilidade dos solos das localidades. As informações sobre a produtividade do milho com a tecnologia gerada contribuirão para aumentar a produção sustentada e lucrativa do milho irrigado em La Frailesca, Chiapas.

Palavras-chave: *Zea mays L., época de semeadura, contribuição da irrigação, densidade, NPK, interação genótipo x manejo x localidade.*

1 ANTECEDENTES

La producción nacional de maíz en México ha sido deficitaria lo que ha conducido a su importación. Esta aumentó de 1.86 millones de toneladas anuales en los años 1990-1994 a 4.37 millones de toneladas anuales en el período 1995-1999 y a 5.49 millones de toneladas en los años 2000-2002 (SIACON, 2003, citado por Turrent *et al.*, 2004^a). [1]

México cuenta con 31 millones de hectáreas de tierra de labor, de las que 6.3 millones se manejan bajo riego y casi 25 millones son de temporal. El recurso anual de agua dulce es 1530 km³ de los que 147 km³ son retenidos en las presas, 410 km³ escurren al mar. El 67 por ciento del escurrimiento ocurre en el sureste, con mínimo aprovechamiento en el riego, con un monto casi dos veces superior a lo que se retiene actualmente para riego en los distritos de riego del país. El uso de la tierra de labor (riego y temporal) es mayormente extractivo y el país acumula ya una gran inversión diferida para el uso racional del recurso (Cadena *et al.*, 2018) [2]

El estado de Chiapas ubicado en el sureste de la República Mexicana cuenta con grandes recursos de suelo, agua y clima benigno; sin embargo, es el primero de los diez estados con mayor porcentaje de población con pobreza con un 74.7% (CONEVAL, 2012) [3]. El estado cuenta con 58,129 ha susceptibles de ser utilizadas para la producción de maíz de riego, distribuidas entre cuatro distritos y unidades de riego. De estos, el Distrito de Riego Cuxtepeques en la región de La Frailesca Chiapas, principal zona productora de maíz, es el menos aprovechado. De una superficie de 8,354 ha únicamente se riega el 51% y generalmente esto se realiza sobre pastos nativos y una pequeña proporción para producción de maíz.

Adicionalmente existen en la región 12,000 hectáreas en unidades de riego. Estas son una gran cantidad de pequeñas superficies con diferentes formas y fuentes de aprovechamiento del agua, como tomas directas sobre ríos y arroyos por gravedad o bombeo, con obras derivadoras o de almacenamiento de los mismos y bombeo de norias, de las cuales únicamente se aprovechan para producir bajo riego un 50% (CONAGUA, 2007) [4].

El bajo uso de las zonas de riego es debido fundamentalmente a la baja rentabilidad de los cultivos tradicionales y a las precarias condiciones de la infraestructura por falta de mantenimiento.

El rendimiento promedio de maíz de riego es de 4 t ha^{-1} , considerado bajo comparado con el promedio nacional de 8 t ha^{-1} . Con base a un diagnóstico los productores manifiestan como principales causas que limitan un mayor rendimiento la falta de tecnología y asistencia técnica (Cadena *et al.*, 2018) [2].

Estudios realizados durante los ciclos OI 1997-1998 y 1998-1999, en el Sur-Sureste de la República Mexicana donde se evaluaron dosis de N-P-K, densidades de población y fechas de siembra, permitieron determinar la mejor recomendación de los cuatro factores de estudios. En promedio para cinco localidades y cinco híbridos del INIFAP se obtuvo un rendimiento de 9.7 t ha^{-1} e incluso en la localidad Villaflores, en el estado de Chiapas, se llegó a obtener 14.3 t ha^{-1} . Estos resultados demostraron que la siembra de maíz como segundo cultivo en el Sur-Sureste de México con tecnología del INIFAP, es una actividad potencialmente rentable. Así también permitió generar la primera aproximación tecnológica regional para seis híbridos de maíz bajo riego (Turrent *et al.*, 2004b).[5]

Durante el ciclo OI 2015-2016, se establecieron 25 ha en La Frailesca, Chiapas, con la tecnología generada en los años antes mencionados. Las condiciones climáticas de altas temperaturas y disminución del manto freático influyeron sobre los rendimientos diferenciados obtenidos de 9.4 t ha^{-1} con maíz amarillo H-380A y 8.7 t ha^{-1} con maíz blanco H-561, lo cual condujo a establecer el presente estudio con el objetivo de actualizar la tecnología propuesta por el INIFAP, acorde a las nuevas condiciones impuestas por el cambio climático mediante estudios de adaptabilidad de híbridos de maíz blanco y amarillo de alto rendimiento a altas temperaturas y tolerantes a enfermedades, para incrementar la producción sostenida y rentable de maíz de riego en La Frailesca, Chiapas. Los resultados de este estudio forman parte de dos artículos. Este primer artículo trata sobre el análisis experimental agronómico y el segundo sobre el análisis financiero.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

En el ciclo otoño-invierno (OI) 2017-2018 se condujeron dos experimentos de campo en condiciones de riego por gravedad, en la unidad de riego San Pedro Buenavista y la localidad Independencia correspondiente al Distrito de Riego Cuxtepeques, ambas en la región de La Frailesca, Chiapas. Se estudió la respuesta de cinco híbridos de maíz del INIFAP y uno de la empresa Monsanto como híbrido comercial de referencia (HCTR), a la fecha de siembra, limitación de riego, fertilización a base de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y a la densidad de población (D).

Se estableció un diseño de Parcelas Sub divididas con 2 repeticiones. Las parcelas grandes (PG) se asignaron a cuatro tratamientos producto de la combinación de dos fechas de siembra: Fecha de siembra 1 (FS1) 2^a quincena de diciembre y Fecha de siembra 2 (FS2) 2^a quincena de enero, y

dos aportes de riego: 1) Sin limitación, con el total de los riegos (SL) y 2) Con limitación (CL); consistió en aportar dos riegos menos, 10 días previos a la floración.

Las parcelas divididas (PD) se asignaron a 26 tratamientos de un diseño (compuesto central rotatorio) hipercubo doble lotificado a la un tercio, en 3 lotes incompletos y el centro repetido dos veces (Martínez y Martínez, 1996; [6] Volke *et al.*, 2005). [7]. El hiperespacio se exploró mediante cinco niveles igualmente espaciados de cuatro factores; ($80 < N < 240 \text{ kg ha}^{-1}$) x ($0 < P_2O_5 < 160 \text{ kg ha}^{-1}$) x ($0 < K_2O < 160 \text{ kg ha}^{-1}$) x ($50 \text{ mil} < D < 90 \text{ mil plantas ha}^{-1}$).

Las parcelas subdivididas (PS) se asignaron a seis híbridos: cinco del INIFAP; tres de grano amarillo; H-380, H-384, H-386, y dos de grano blanco; H-567 y H-568, y el híbrido de compañía transnacional de referencia (HCTR) de grano amarillo, las cuales tuvieron un área de 28.8 m^2 y constaron de seis surcos de 6 m de largo. Las parcelas subdivididas ubicadas en los bordes de cada parcela grande constaron de dos surcos de 6 m de largo, descartando un surco para protección contra efecto de bordo y para los cinco restantes fue de un surco. La distancia entre surcos fue de 0.8 m. El rendimiento medio global de cada híbrido se calculó a partir de 104 observaciones.

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

Clima. Se registró la temperatura mínima, máxima y promedio diaria por medio de casetas meteorológicas más cercanas.

Suelo. Para realizar una caracterización física y química del suelo del área experimental se realizó un muestreo de suelos a 0-30 y 30 cm de profundidad. La muestra estuvo compuesta de 50 sub muestreos, usando un muestreador de acero inoxidable de 2 cm. Se realizaron las siguientes determinaciones; densidad aparente, textura por Bouyoucos, materia orgánica por Walkley y Black, pH CaCl_2 , P Bray Kurtz, Ca, Mg, K y Na intercambiables extraídos con acetato de amonio 1N pH7, y aluminio intercambiable extraído con KCl 1 M., Zn extraído con DTPA. La interpretación de las propiedades de los suelos se realizó de acuerdo a lo señalado a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002 [8]; IPNI, 1990). [9]

Agua. Para la evaluación con fines de riego de la calidad del agua proveniente de la presa El Portillo del distrito de riego Cuxtepeques y de la presa de la unidad de riego San Pedro Buenavista, se tomó una muestra en cada sitio, en la zona de descarga del canal hacia las regaderas de la parcela. Para el muestreo se siguieron los criterios de la norma mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001. En laboratorio se determinaron los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica (CE), aniones y cationes (Ca, Mg, Na, K, CO_3 , HCO_3 , Cl, SO_4 , PO_4). Se evaluó la calidad del agua utilizando los criterios publicadas por la FAO mediante las siguientes directrices: CE, sólidos totales disueltos

(STD), relación de adsorción de sodio (RAS), carbonato de sodio residual (CSR), bicarbonatos y la toxicidad por sodio (Na) y cloruro (Cl) (Ayers & Westcot, 1994).[10]

DETERMINACIÓN DE LA LÁMINA DE RIEGO

Se determinó la lámina aprovechable de riego mediante la siguiente ecuación: $Lr = ((CC - PMP) * Da * Pr) / (100 * Dw)$, donde Lr es la lámina de riego en cm, CC es la capacidad de campo del suelo, PMP es el punto de marchitez permanente, Da es la densidad aparente, Pr es la profundidad radical del cultivo y Dw es la densidad del agua. Esta lámina obtenida se multiplicó por un factor de abatimiento permisible de la humedad (f) para obtener la lámina de riego de auxilio (Lra), a fin de mantener en condiciones óptimas de humedad al cultivo de maíz durante su ciclo de crecimiento y producción, se utilizó un valor de $f = 0.6$. Finalmente se obtuvo el cociente que resultó de la lámina de riego de auxilio (Lra) y la evapotranspiración crítica (ET del mes más demandante de agua entre el número de días del mes; ET crítica), para estimar el calendario o frecuencia de riego (FR). Se estimó la evapotranspiración (ET; mm) del cultivo mediante la base de datos de clima de la estación próxima a los sitios experimentales de acuerdo a la Ecuación de (Thorntwait, 1948). [11]

MANEJO AGRONÓMICO

El área experimental de cada localidad se preparó con un paso de arado y dos de rastra. Se surcó a 0.80 cm y se aplicó riego de presiembra, y dos días después se sembró. La semilla fue tratada previamente con Thiodicarb 0.75 l por 20 kg de semilla. Se aplicó el 20% del N y las dosis totales de P y K al momento de la siembra. El resto de la dosis de N (80%) se aplicó enterrado en banda en las fases de V5 (40% N) y V12 (40% N). Los fertilizantes aplicados fueron urea (NH_2CO) (46-0-0), superfosfato triple (0-46-0) y cloruro de potasio (0-0-60). Se sembró exceso de semilla y se aclaró a una planta por mata a los 8 días después de la emergencia. Para el control de malas hierbas se aplicó Atrazina+S metolaclor en dosis de 5 kg ha^{-1} . Se realizó control preventivo de las plagas del follaje con la aplicación de clorpirifos etil+permetrina 0.8 l ha^{-1} .

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron los análisis de varianza de rendimiento de grano expresado en toneladas por hectárea ($t \text{ ha}^{-1}$), ajustado al 14% de humedad. Este análisis fue por cada localidad en virtud de presentar variantes en las fechas de siembra precisa. Se ajustó por regresión un modelo cuadrático simultáneo para la respuesta a los niveles de N, P y K, densidad de población e híbridos. Se usaron variables auxiliares según Edwards (1984) [12] para realizar los análisis de regresión.

Los factores N, P, K y D se codificaron asumiendo los valores -2,-1, 0,+1,+2 dentro del hiperespacio explorado, además se integraron variables cualitativas para conocer el efecto de fecha de siembra x aporte de riego e híbridos de maíz, estas se consideran variables auxiliares o “dummy”, método que representa los diferentes niveles de una variable cualitativa (Myers *et al.*, 2009). [13]

De esta manera, para conocer el efecto de fecha de siembra y aporte de riego, en primera instancia, se usaron variables auxiliares que se consideraron en el modelo de regresión (Cuadro 1), y como referencia la fecha de siembra 2^a quincena de diciembre sin limitaciones de riego ($f_i=0$).

Cuadro 1. Matriz de variables auxiliares codificadas para el factor fecha de siembra y aporte de riego en el rendimiento de grano de maíz. INIFAP 2019.

Fecha de siembra y aporte de riego	Variables auxiliares		
	f1	f2	f3
2 ^a quincena de diciembre sin limitación de riego	0	0	0
2 ^a quincena de diciembre con limitación de riego	1	0	0
2 ^a quincena de enero sin limitación de riego	0	1	0
2 ^a quincena de enero con limitación de riego	0	0	1

El genotipo de maíz se definió como la segunda variable cualitativa, con 5 variables auxiliares (Cuadro 2), y de referencia el H-567 respecto a los otros 5 materiales.

Cuadro 2. Matriz de variables codificadas de híbridos de maíz sembrados de dos fechas de siembra. INIFAP 2019.

Híbrido	Variables auxiliares				
	h1	h2	h3	h4	h5
H-567	0	0	0	0	0
HCTR	1	0	0	0	0
H-384	0	1	0	0	0
H-568	0	0	1	0	0
H-386	0	0	0	1	0
H-380	0	0	0	0	1

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONDICIONES EXPERIMENTALES

En el Cuadro 3, se resumen algunas características físicas y químicas del suelo de los sitios experimentales.

Cuadro 3. Localidades experimentales y propiedades físicas y químicas del suelo a dos profundidades. Ciclo otoño-invierno (OI) 2017-2018.

Localidad	Prof	M O	C O	pH	P Bray	Ca	M g	K	Zn	Al int.	Sat Al	CE	DA	Textura
	(cm)	C O (%)		CaCl ₂ 1:2	(mg/Kg)	CH ₃ COONH ₄ pH 7 (cmol/Kg)	DTPA (cmol/Kg)		%	mS/cm	(g/cm ³)			
Independencia	0-30	2.3	1.4	5.6	15	6.3	1.9	0.06	2.7	0	0	0.40	1.5	Migajón-arcilloso
	30-45	2.2	1.3	5.1	16	5.7	1.6	0.06	1.9	0.03	0	0.37	1.6	Migajón-arcilloso
San Pedro Buenavista	0-30	1.4	0.8	4.1	52	2.1	0.9	0.01	1.7	0.09	3	0.03	1.5	Migajón arcillo-arenoso
	30-45	1.6	0.9	3.9	69	2.0	1.0	0.03	2.4	2.12	41	0.03	1.4	Migajón arcillo-arenoso

pH en CaCl₂ relación 1:2, MO=materia orgánica. CO=carbono orgánico, CIC=Capacidad de intercambio catiónico, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y Al son potasio, calcio, magnesio y aluminio intercambiables. Zn=zinc. CE= conductividad eléctrica, DA=densidad aparente.

La localidad Independencia tiene suelo del orden cambisol, con textura migajón arcilloso y presenta mejores condiciones de fertilidad que la localidad San Pedro Buenavista. Excepto por los niveles bajos de P y K el resto de las características se encuentran por arriba de adecuadas.

La localidad San Pedro Buenavista tiene suelo del orden luvisol, con textura migajón arcillo arenoso. Los valores de M.O., Ca, Mg y K son bajos. Especialmente a la profundidad de 30-40 cm presenta altos niveles de aluminio intercambiable y una saturación de aluminio del 40%.

Calidad del agua. Para que exista algún tipo de restricción en el agua para uso agrícola, deben cumplirse las siguientes condiciones en los criterios de evaluación: CE > 0.7 mS cm⁻¹, STD > 450 mg L⁻¹, RAS > 3.0 me L⁻¹, CSR > 1.25 me L⁻¹, Na > 3.0 me L⁻¹ y Cl > 3.0 me L⁻¹ (Ayers & Westcot, 1994) [10]. Los resultados indican que el agua de los dos sitios de muestreo no representa ningún peligro de salinización del suelo, ni de reducción de la conductividad hidráulica, tampoco existe riesgo de toxicidad por Na y Cl. Por otra parte, se calculó el aporte de los iones potasio y fósforo mediante el agua de riego y los resultados fueron 1 863.0 g ha⁻¹ de potasio en la muestra de agua de la presa El Portillo, 0.0 g ha⁻¹ de potasio en la muestra de la unidad de riego San Pedro Buenavista y 77.6 g ha⁻¹ de fósforo en ambas muestras. Estas cantidades no son significativas si se comparan con los requerimientos de estos elementos por los cultivos.

Lámina de riego por localidad. En San Pedro Buenavista se obtuvieron los siguientes resultados: lámina total de riego inicial o de pre-siembra (Lr) = 16.5 cm, número de días después del riego inicial a los que debe aplicarse la primera lámina de auxilio = 21, lámina del primer riego de auxilio = 7.8 cm. Los riegos posteriores deben aplicarse con una lámina de 4.7 cm cada 11 días

hasta que el maíz alcance su madurez fisiológica. En Independencia se obtuvieron los siguientes resultados: lámina total de riego inicial o de pre-siembra (L_r) = 19.5 cm, número de días después del riego inicial a los que debe aplicarse la primera lámina de auxilio = 22, lámina del primer riego de auxilio = 7.6 cm. Los riegos posteriores deben aplicarse con una lámina de 4.5 cm cada 11 días hasta que el maíz alcance su madurez fisiológica. La diferencia en las láminas de riego inicial entre los dos sitios experimentales se debe a que en San Pedro Buenavista los suelos tienen mayor cantidad de arcilla y, por lo tanto, un valor mayor de humedad aprovechable.

ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS

En el cuadro 4, se presenta un resumen de los análisis de varianza para las dos localidades. El nivel de significancia estadística de las pruebas de F sugiere que la precisión lograda en ambas localidades permite distinguir los efectos e interacciones de los factores de estudio TPG (tratamientos de parcela grande) PD (parcela dividida) e híbridos (parcela subdividida).

La respuesta del rendimiento de grano de maíz a los factores de estudio N, P_2O_5 , K_2O y D; dos fechas de siembra con y sin limitación de riego en seis híbridos de maíz, fue analizada a través del análisis de regresión y se generaron para cada localidad una ecuación general del rendimiento de grano estimado (\hat{Y}_g). Donde: N, P, K y D son variables cuantitativas que codifican a N, P_2O_5 , K_2O y densidad de población, respectivamente; f_i y h_i codificaron a las variables auxiliares fecha de siembra y limitación de riego e híbrido, respectivamente.

De acuerdo a la ecuación principal de rendimiento de grano de cada localidad, se suman los efectos principales de las variables auxiliares con la ordenada al origen según fecha de siembra x limitación de riego (f_i) e híbrido (h_i). De esta manera, se generaron cuatro sub-ecuaciones por híbrido, por economía de espacio se menciona únicamente las sub ecuaciones más importantes (Cuadros 6 y 7). Se mantiene para cada sub-ecuación los coeficientes y variables cuantitativas de los efectos principales N, P, K y D; y del efecto cuadrático de N (N^2).

Finalmente, con base a las sub-ecuaciones obtenidas para cada híbrido y fechas de siembra y aporte de riego, la estimación del rendimiento de grano se hace con la sustitución del valor codificado del nivel, que va desde -2 hasta 2, (Cuadro 5). Y para el caso de las variables cualitativas $f_i=1$ y $h_i=1$.

Es importante mencionar que las sub-ecuaciones con el híbrido 1 (H 567) y la fecha de siembra 1 sin limitación de riego son las de referencia respecto al resto, es decir cuando $h_i=0$ y $f_i=0$. Por economía de espacio se mencionan únicamente las sub ecuaciones por híbrido, que representan mayor efecto acorde a lo observado en cada localidad. Por la misma razón únicamente

se grafican para su descripción y análisis las interacciones con respuesta altamente significativa que presentó el maíz, asociado a las condiciones de disponibilidad de los elementos en el suelo.

Cuadro 4. Significancia de cuadrados medios del análisis de varianza para el rendimiento de grano de maíz en el ciclo otoño-invierno 2017-2018, localidades Independencia y San Pedro Buenavista, Chiapas.

Fuente de Variación	gl	Independencia	San Pedro Buenavista
		Cuadrados medios	
Fecha siembra y aporte de riego (PG)	3	334789459 ***	219289506 ***
N P K D (PD)	25	321188226 ***	339443758 ***
PG x PD	75	11254594 ***	13259869 ***
Híbridos (PS)	5	75523656 ***	72446370 ***
PG x PS	15	1790887	4684643 **
PD x PS	125	1496567	2028650
PG x PD x PS	375	1285818	1675874
Error	624	1615592	1971912
Total	1247		

*, **, *** Significativo a $P > 0.05, 0.01$ o 0.001 , respectivamente.

Cuadro 5. Matriz de factores y niveles de estudio de las variables cuantitativas

FACTOR	NIVELES				
	1 -2	2 -1	3 0	4 1	5 2
Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	80	120	160	200	240
P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	0	40	80	120	160
K ₂ O (kg ha ⁻¹)	0	40	80	120	160
Densidad (miles ha ⁻¹)	50	60	70	80	90

LOCALIDAD SAN PEDRO BUENAVISTA

El rendimiento de grano de maíz (t ha⁻¹), dependió de los efectos principales de N, P, K y D; y solo del efecto cuadrático de N (N²) e interacciones dobles P x K y P x D; de los efectos principales de las variables auxiliares *f* y *h*, de las interacciones de estas variables auxiliares con los efectos de N y D, de la interacción N x P, y los efectos cuadráticos de N y P (N², y P²), de acuerdo a la siguiente ecuación con una R²= 0.75:

$$\hat{Y}_g = 10039 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD + 1595.33f^2 - 1111.83f^3 + 1047.36h_1 - 536.16h_2 + 665.50h_3 + 731h_4 - 363.27f_1N - 266.91f_1D - 366.79f_1N^2 + 170.65f_1P^2 - 108.5f_1NP - 477.36f_2D - 303f_2N^2 - 193.9f_2NP.$$

Cuadro 6. Sub-ecuaciones de regresión del rendimiento de grano de maíz (en t ha⁻¹) por fecha de siembra y aporte de riego a N, P, K, D en la localidad San Pedro Buenavista. Ciclo OI. 2018.

Híbrido	Sub ecuación	Descripción	
		Fecha siembra	Aportación riego
H-567	$Fs1SLr = 10039 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD$	1	Sin Limitación
	$Fs2CLr = 8927.17 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD$	2	Con Limitación
HCTR	$Fs1SLr = 11086.36 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD$	1	Sin Limitación
	$Fs2CLr = 9974.53 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD$	2	Con Limitación
H-384A	$Fs1SLr = 9502.84 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD$	1	Sin Limitación
	$Fs2CLr = 8391.01 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD$	2	Con Limitación
H-568	$Fs1SLr = 10704.5 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD$	1	Sin Limitación
	$Fs2SLr = 12299.83 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD - 477.36f2D - 303f2N^2 - 193.9f2NP$	2	Sin Limitación
H-386A	$Fs2SLr = 12365.33 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD - 477.36f2D - 303f2N^2 - 193.9f2NP$	2	Sin Limitación
	$Fs2CLr = 9658.17 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD$	2	Con Limitación
H-380A	$Fs2SLr = 11634.33 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD - 477.36f2D - 303f2N^2 - 193.9f2NP$	2	Sin Limitación
	$Fs2CLr = 8927.17 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD$	2	Con Limitación

La interacción entre los factores fósforo y potasio en la localidad San Pedro Buenavista se ilustran en las Figura 1 y 2, para el híbrido de referencia H-567 y para el HCTR con menor y mayor rendimiento en el origen, respectivamente. Una sola grafica (1a, 2a) para la fecha de siembra 1 con y sin limitación de riego ya que resultaron similares. En las figuras 1b, 2b para la fecha de siembra 2 sin limitación de riego y 1c, 2c para fecha de siembra 2 con limitación de riego. En el conjunto de las seis gráficas, los factores no involucrados en cada interacción se mantuvieron constantes en su valor del centro del espacio explorado (160-80-80-70 de N-P₂O₅-K₂O-D), mientras que los factores estudiados se hicieron variar entre sus valores mínimo y máximo en cada uno de los híbridos. Las funciones fueron calculadas a partir de la ecuación 1 que aparece en su versión codificada en la base de las figuras 1 y 2.

Se muestra que los dos híbridos presentaron una respuesta similar ante las aplicaciones de los diferentes niveles de P y K. El menor rendimiento se obtiene cuando no se aplica P y K, incluso existe una tendencia a la baja a medida que se incrementan las cantidades de ambos elementos, lo cual se explica por el desbalance que se ocasiona en ambos elementos sobre todo en esta localidad

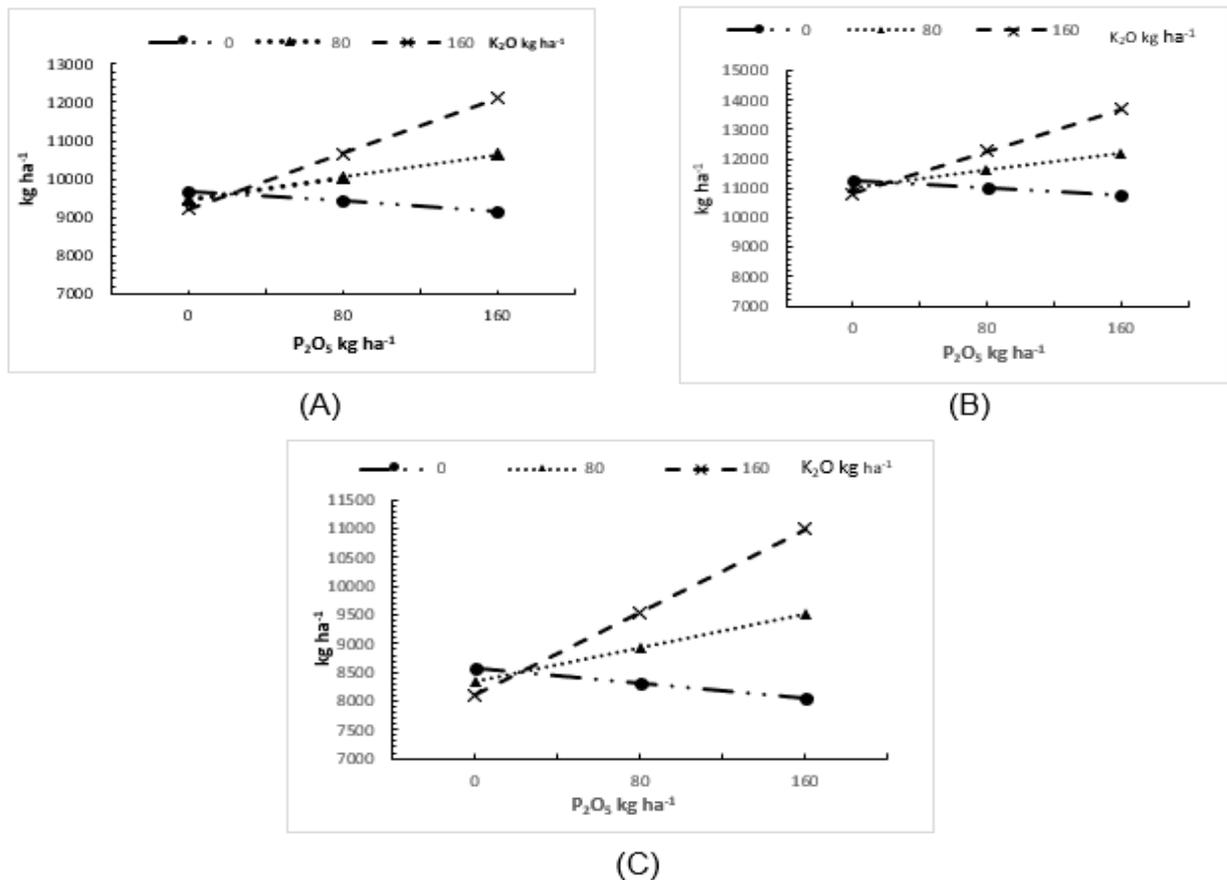
donde el nivel de K en el suelo se encuentra limitante. Limitaciones en la disponibilidad de P y K reducen la acumulación de materia seca de los cultivos y la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del momento de floración, implicando una disminución del número de granos y del rendimiento (Andrade *et al.*, 1996; [14], Fontanetto, 1993. [15]). Otro factor que puede influir sobre la respuesta en rendimiento antes mencionada es el alto contenido de Al intercambiable y de la saturación de Al por arriba del nivel crítico del 20% para el maíz, así como contenidos bajos de cationes básicos (especialmente Ca) (Sumner and Yamada, 2002) [16], que se presenta a 30 cm de profundidad en el suelo y que pueden afectar la absorción del P y K, cuando las raíces en su crecimiento alcanzan esa profundidad.

Tasistro y Camas (2015), [17] en suelos ácidos de la región Frailesca, Chiapas determinaron que la aplicación de cal aumentó significativamente el pH, el contenido de Ca y el rendimiento de maíz, siendo mayor el efecto al incrementar el nivel de K_2O . Recíprocamente, las aplicaciones de K_2O no incrementaron significativamente el rendimiento cuando no se aplicó cal. En la misma región resultados similares fueron obtenidos por Camas *et al.*, 2019 [18] donde se detectó incrementos en rendimiento de 18 al 50% al corregir el alto Al intercambiable y adicionar 120 kg ha^{-1} de K_2O . La respuesta a solo la aplicación de cal o potasio presentó menor respuesta. Los resultados anteriores, sugieren la importancia de corregir la acidez intercambiable en capas profundas a las que pueden llegar las raíces.

Con respecto al P, la respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible, pero también de factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante. Se determinaron niveles altos de P a 0-40 cm de profundidad en el suelo; sin embargo, el alto Al intercambiable alto (2.12 Cmol/kg) que se presentó a 30 cm de profundidad pudo estar limitando su disponibilidad, ya que los fosfatos solubles quedan fijados como compuestos complejos e insolubles de hierro y aluminio (Black, 1968; [19] Brady, 1976 [20]).

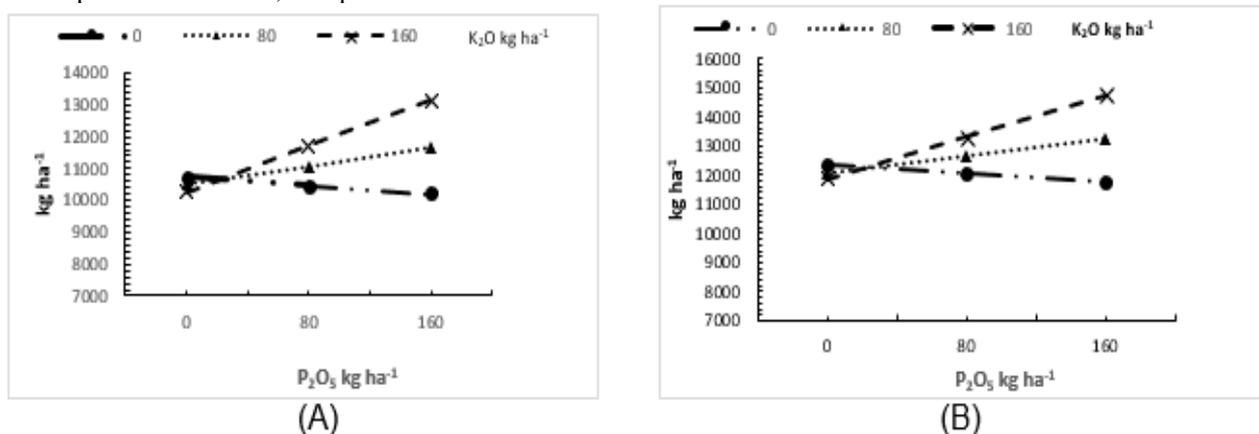
Las figuras 1c y 2c muestran que al incrementarse los niveles de fertilización a base de P y K (80 a 160 kg ha^{-1}) existe una mayor respuesta en el rendimiento. Esta tendencia creciente, se explica por la baja disponibilidad de K y P, alcanzando el máximo rendimiento en la segunda fecha de siembra sin limitación de riego con 160 unidades de P y K, siendo para el H-567 de $13,698 \text{ kg ha}^{-1}$ y para el HCTR de $14,746 \text{ kg ha}^{-1}$.

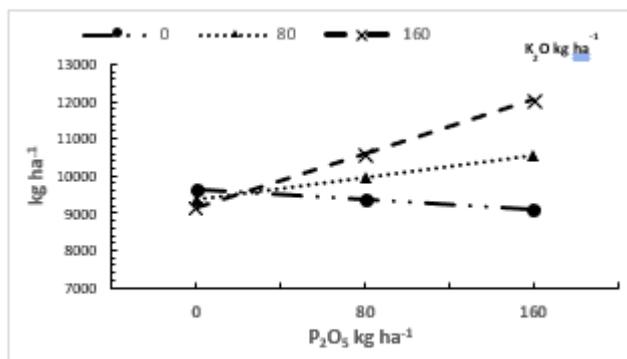
Figura 1. Efecto de la interacción P x K en el rendimiento de grano de maíz del híbrido de referencia H-567, en función de la fecha de siembra y aporte de riego, con tres niveles de nitrógeno y fósforo. A) Fecha de siembra 1 con y sin limitación de riego, B) fecha de siembra 2 sin limitación de riego y C) fecha de siembra 2 con limitación de riego. Localidad San Pedro Buenavista, municipio de Villa Corzo, Chiapas.



$$\hat{Y}_g = 10039 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD + 1595.33f2 - 1111.83f3 + 1047.36h1 - 536.16h2 + 665.50h3 + 731h4 - 363.27f1N - 266.91f1D - 366.79f1N^2 + 170.65f1P^2 - 108.5f1NP - 477.36f2D - 303f2N^2 - 193.9f2NP \quad R^2 = 0.753,$$

Figura 2. Efecto de la interacción P x K en el rendimiento de grano de maíz del HCTR, en función de la fecha de siembra y aporte de riego, con tres niveles de nitrógeno y fósforo. A) Fecha de siembra 1 con y sin limitación de riego, B) fecha de siembra 2 sin limitación de riego y C) fecha de siembra 2 con limitación de riego. Localidad San Pedro Buenavista, municipio de Villa Corzo, Chiapas.





(C)

$$\hat{Y}_g = 10039 + 1549.78N + 293.70P + 310.02K + 702.4D - 457.57N^2 + 214.12PK - 126.97PD + 1595.33f_2 - 1111.83f_3 + 1047.36h_1 - 536.16h_2 + 665.50h_3 + 731h_4 - 363.27f_1N - 266.91f_1D - 366.79f_1N^2 + 170.65f_1P^2 - 108.5f_1NP - 477.36f_2D - 303f_2N^2 - 193.9f_2NP \quad R^2 = 0.753,$$

Resulta interesante el hecho que en ambos híbridos no se presentó diferencia por efecto de limitar el riego aportado en la primera fecha de siembra; sin embargo, la segunda fecha con limitación del aporte de riego presentó el menor rendimiento incluso a los altos niveles de P y K. Lo anterior se presupone está relacionado a las condiciones de temperatura presentes en la etapa previa a floración y en floración de la planta que pueda afectar en mayor grado problemas de polinización y posteriormente disminuir la eficiencia en la translocación de fotosintatos al grano (Lawlor, 2005) [21].

Para la primera fecha de siembra (16 al 30 de diciembre), la etapa de floración de la planta se presentó a mediados del mes de febrero cuando las temperaturas promedio fueron de 29 °C y una restricción del riego ante esta moderada temperatura pudo no tener efectos negativos sobre el rendimiento. Mientras que en la segunda fecha de siembra (16 al 31 de enero) la floración sucede cuando la temperatura máxima promedio fue de 36 °C, presentando días con un máximo de 40 °C. Para maíz una temperatura mayor de 35 °C acompañada con una baja humedad relativa provoca desecación de los estigmas y reducen la viabilidad del polen Cheikh y Jones, (2001) citado por Rincón (2006). [23] Por tanto, el efecto conjunto de limitación de agua y las altas temperaturas propiciaron una condición de alto estrés en la planta siendo el factor determinante que causó una disminución promedio de 2,707 kg ha⁻¹.

Resultados similares han sido reportados por Cadena *et al.*, 2018 [2] y Camas, 2017 [24] en estudios de producción de maíz de riego en la región Frailesca, con disminución promedio en el rendimiento de grano de maíz de 1.1 t ha⁻¹ por efecto de limitación en la disponibilidad del agua de riego y por temperaturas máximas promedio de 36 °C y días con un máximo de 38.8 °C, en las fases de floración masculina y femenina.

En un estudio sobre producción de maíz de riego en La Frailesca desarrollado hace 21 años se determinó que siembras del 25 de enero que corresponden a la segunda fecha de siembra de este

estudio, presentaron los mayores rendimientos; sin embargo, las temperaturas promedio en ese entonces eran de 30 °C (Turrent *et al*, 2004a)[1]. Los resultados obtenidos indican que si bien el mayor rendimiento se obtiene con siembras a partir del 25 de enero es de vital importancia proveer al cultivo de la suficiente cantidad de agua en las etapas críticas de su desarrollo. Lo anterior también indica que ante las cada vez más altas temperaturas propiciadas por el cambio climático y la escasez de agua para riego que se acrecentará a futuro, es necesario desarrollar estrategias de manejo del agua para hacer un uso más eficiente de esta y desarrollar materiales genéticos de maíz tolerantes a temperaturas extremas.

4 LOCALIDAD INDEPENDENCIA

El rendimiento de grano de maíz (t ha⁻¹), dependió de los efectos principales de N, P, K y D; de las interacciones dobles N x D y K x D; de los efectos principales de las variables auxiliares *f* y *h*, de las interacciones de estas variables auxiliares con los efectos de P, N, D, de las interacciones N x P, P x K, N x D, N x P y los efectos cuadráticos de N (N²), de acuerdo a la siguiente ecuación con una R²= 0.72:

$$\hat{Y} g = 9660.5 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD + 1141.55f^2 - 867.74f^3 + 978.37h^1 - 454.07h^2 + 573.25h^3 + 740.51h^4 - 269.18f^1D + 415.65f^1NP - 143.65f^1PK + 482.66f^2N + 290.61f^2P + 222.06f^2NP - 487.32f^2ND + 583.71f^2PK - 238.22f^3NP$$

Además, se graficó la interacción N x D, para su descripción y análisis debido a la respuesta altamente significativa que presentó el maíz, asociado a las condiciones de disponibilidad de ambos elementos en el suelo. La interacción entre los factores nitrógeno y densidad en la localidad Independencia se ilustran en la Figura X para el híbrido de referencia H-567 y para el HCR con menor y mayor rendimiento en el origen, respectivamente, con una gráfica para la PG 1 (fecha de siembra 1 sin limitación de riego), PG 2 (fecha de siembra 1 con limitación de riego), PG 3 (fecha de siembra 2 sin limitación de riego) y PG 4 (fecha de siembra 2 con limitación de riego).

Cuadro 7. Sub-ecuaciones de regresión del rendimiento de grano de maíz (Yg en t ha⁻¹) por fecha de siembra y aporte de riego a N, P, K, D en la localidad Independencia. Ciclo OI. 2018. INIFAP 2019.

Híbrido	Sub ecuación	Descripción	
		Fecha siembra	Aportación riego
H-567	$Yg Fs1SLr = 9660.5 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD$	1	Sin Limitación
	$Yg Fs2CLr = 8792.76 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD - 238.22f^3NP$	2	Con Limitación
	$Yg Fs2SLr = 11780.42 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD + 482.66f^2N + 290.61f^2P + 222.06f^2NP - 487.32f^2ND + 583.71f^2PK$	2	Sin Limitación

DK	$Y_g Fs2CLr = 9771.13 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD - 238.22f3NP$	2	Con Limitación
H-384A	$Y_g Fs1SLr = 9206.43 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD$	1	Sin Limitación
	$Y_g Fs2SLr = 10347.98 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD + 482.66f2N + 290.61f2P + 222.06f2NP - 487.32f2ND + 583.71f2PK - 217.84KD + 482.66f2N + 290.61f2P + 222.06f2NP - 487.32f2ND + 583.71f2PK$	2	Sin Limitación
H-568	$Y_g Fs2SLr = 11375.3 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD + 482.66f2N + 290.61f2P + 222.06f2NP - 487.32f2ND + 583.71f2PK$	2	Sin Limitación
	$Y_g Fs2CLr = 9366.01 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD - 238.22f3NP$	2	Con Limitación
H-386A	$Y_g Fs2SLr = 11542.56 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD + 482.66f2N + 290.61f2P + 222.06f2NP - 487.32f2ND + 583.71f2PK - 217.84KD + 482.66f2N + 290.61f2P + 222.06f2NP - 487.32f2ND + 583.71f2PK$	2	Sin Limitación
	$Y_g Fs2CLr = 9533.27 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD - 238.22f3NP$	2	Con Limitación
H-380A	$Y_g Fs2SLr = 10802.05 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD + 482.66f2N + 290.61f2P + 222.06f2NP - 487.32f2ND + 583.71f2PK$	2	Sin Limitación
	$Y_g Fs2CLr = 8792.76 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD - 238.22f3NP$	2	Con Limitación

En el conjunto de las ocho gráficas, los factores no involucrados en cada interacción se mantuvieron constantes en su valor del centro del espacio explorado (160-80-80-70 de N-P₂O₅-K₂O-D), mientras que los factores estudiados se hicieron variar entre sus valores mínimo y máximo en cada uno de los híbridos. Las funciones fueron calculadas a partir de la ecuación 1 que aparece en su versión codificada en la base de las figuras 3 y 4.

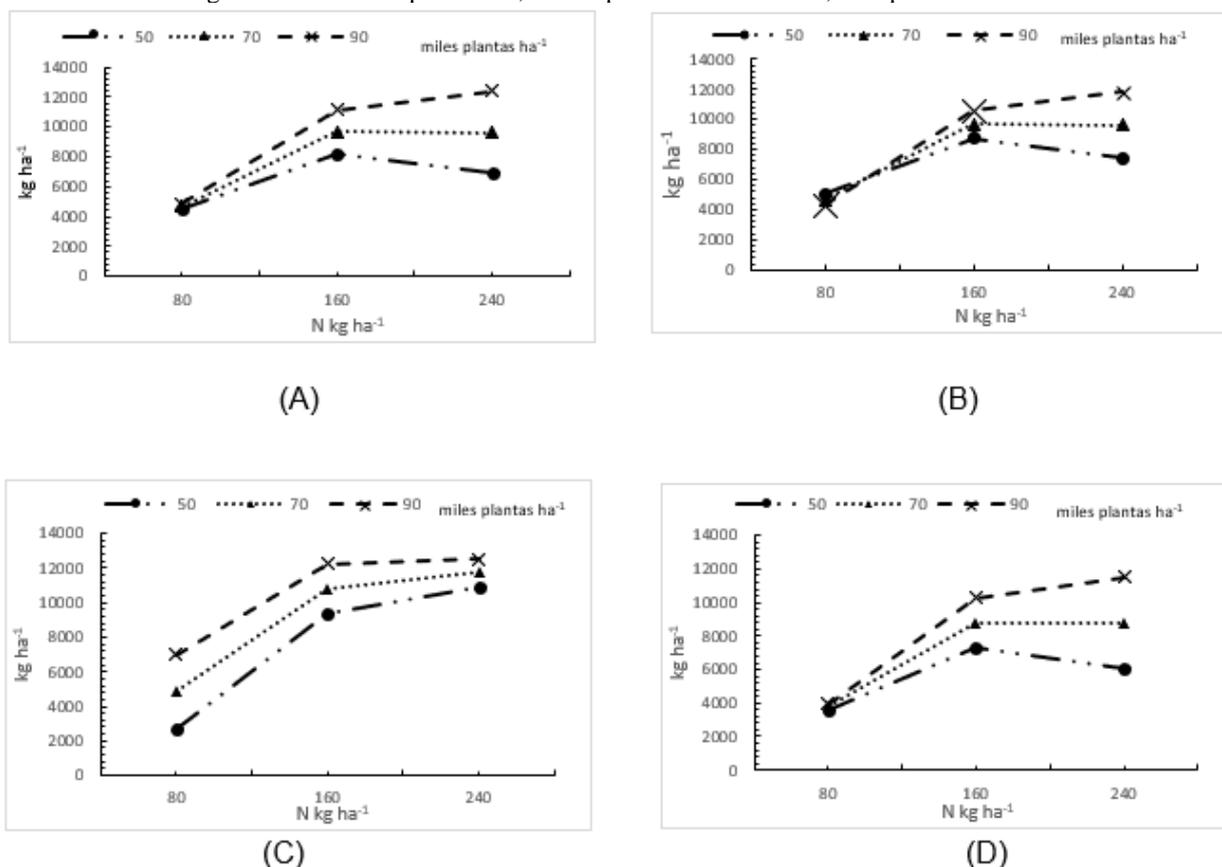
Se muestra que los dos híbridos presentaron una respuesta similar ante las aplicaciones de los diferentes niveles de N y D. En la primera fecha de siembra con y sin limitación de riego (Figuras 3a, 3 b y 4a, 4b) y en la segunda fecha con limitación de riego (3 d y 4 d), la máxima respuesta se obtiene con 90 mil plantas y 240 unidades de N. Las densidades de 50,000 y 70,000 mil plantas alcanzan su máximo rendimiento con 160 unidades de N. Ante nuevos incrementos de N el rendimiento decrece para 50,000 plantas y se mantiene con 70 mil plantas. Para para la condición de segunda fecha de siembra, sin limitación de riego (Figuras 3c y 4c), en ambos híbridos se presenta un comportamiento similar a incrementar el rendimiento a medida que se incrementa la densidad y las unidades de N. Reta *et al.*, 2007 con maíz forrajero determinaron una mayor producción de materia seca por kilogramo de nitrógeno al incrementar la densidad poblacional.

El máximo rendimiento en ambos híbridos se obtuvo para la condición de segunda fecha de siembra, sin limitación de riego, con una densidad poblacional de 90 mil plantas y la aplicación de

240 unidades de N, siendo el HCTR el de mayor rendimiento (13,500 kg ha⁻¹) superando por 979 kg ha⁻¹ al H 567.

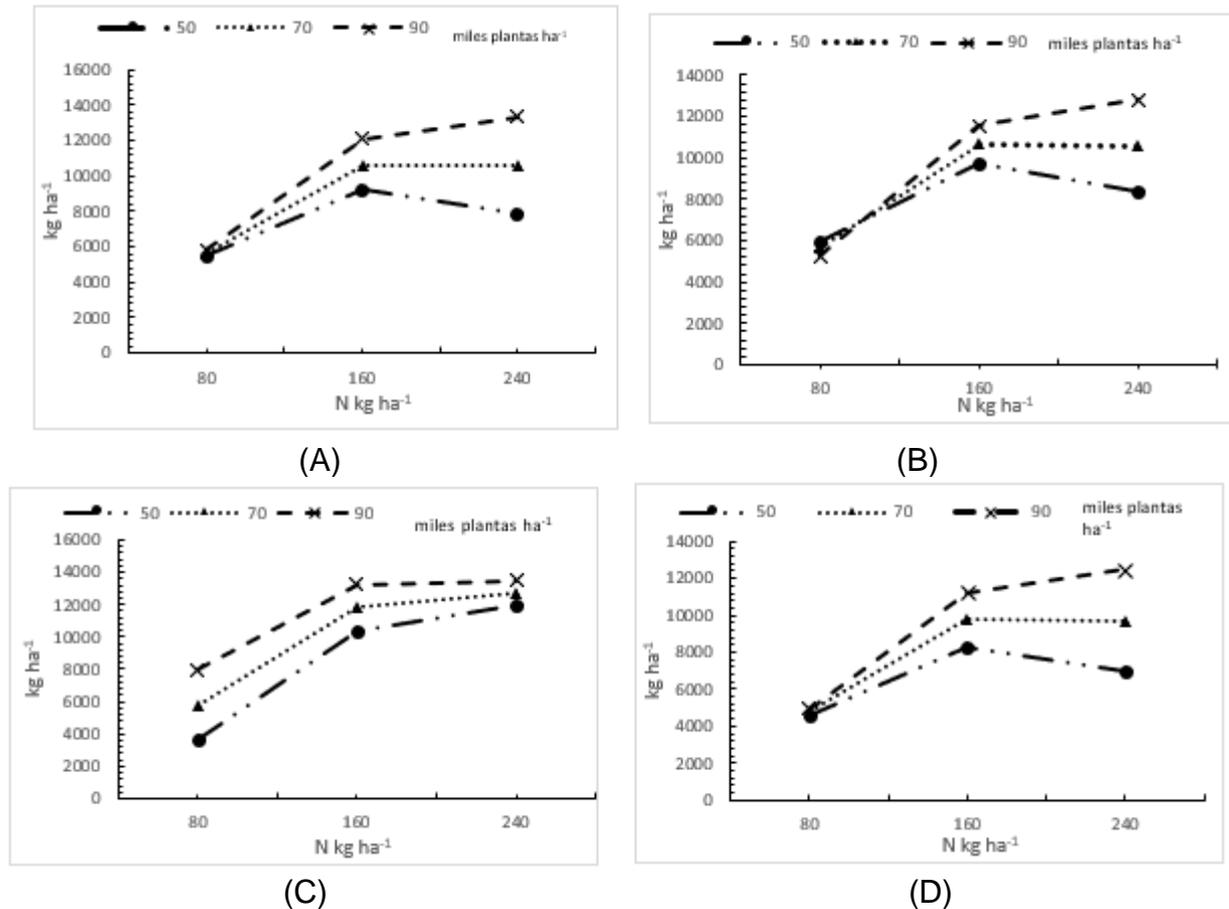
Con respecto al efecto de la limitación de riego para el tratamiento antes mencionado en promedio para los dos híbridos, se presentó una disminución del rendimiento de 539 kg ha⁻¹ en la primera fecha de siembra y de 1,026 kg ha⁻¹ para la segunda. Se observa que en ambas fechas existe una disminución del rendimiento, pero esta es más mayor en la segunda, lo cual se debe a que la limitación del riego ocurrió cuando la temperatura alcanzó máximos de 40 °C, contribuyendo por una parte a disminuir drásticamente la humedad del suelo y la asimilación del nitrógeno y por otra a afectar el proceso fotosintético (Lawlor, 2005). [20]

Figura 3. Efecto de la interacción P x K en el rendimiento de grano de maíz del híbrido de referencia H-567, en función de la fecha de siembra y aporte de riego, con tres niveles de nitrógeno y fósforo. A) Fecha de siembra 1 sin limitación B) Fecha de siembra 1 con limitación de riego, C) fecha de siembra 2 sin limitación de riego y C) fecha de siembra 2 con limitación de riego. Localidad Independencia, municipio de La Concordia, Chiapas. INIFAP 2019.



$$\hat{Y}_g = 9660.5 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD + 1141.55f_2 - 867.74f_3 + 978.37h_1 - 454.07h_2 + 573.25h_3 + 740.51h_4 - 269.18f_1D + 415.65f_1NP - 143.65f_1PK + 482.66f_2N + 290.61f_2P + 222.06f_2NP - 487.32f_2ND + 583.71f_2PK - 238.22f_3NP$$

Figura 4. Efecto de la interacción P x K en el rendimiento de grano de maíz del híbrido de casa comercial, en función de la fecha de siembra y aporte de riego, con tres niveles de nitrógeno y fósforo. A) Fecha de siembra 1 sin limitación B) Fecha de siembra 1 con limitación de riego, C) fecha de siembra 2 sin limitación de riego y C) fecha de siembra 2 con limitación de riego. Localidad Independencia municipio de La Concordia, Chiapas.



$$\hat{Y}_g = 9660.5 + 1242.5N + 322.57P + 312.7K + 729.31D - 629.7N^2 + 319.82ND - 217.84KD + 1141.55f2 - 867.74f3 + 978.37h1 - 454.07h2 + 573.25h3 + 740.51h4 - 269.18f1D + 415.65f1NP - 143.65f1PK + 482.66f2N + 290.61f2P + 222.06f2NP - 487.32f2ND + 583.71f2PK - 238.22f3NP$$

El efecto de la segunda fecha de siembra y limitación de riego sobre el rendimiento fue mayor en la localidad San Pedro Buenavista con una disminución promedio de 2,707 kg ha⁻¹ con respecto a 1020 kg ha⁻¹ de la localidad Independencia. Lo anterior se atribuye a que en esta última las condiciones de mayor materia orgánica y la textura migajón arcilloso propician una mayor eficiencia de la disponibilidad del agua bajo condiciones de estrés hídrico.

5 CONCLUSIONES

El estudio presentó efecto de múltiples interacciones de los genotipos, asociadas principalmente a las fechas de siembra x aporte de riego. El efecto de los tratamientos de nitrógeno, fósforo, potasio, densidad, fecha de siembra y aporte de riego fue diferente entre los híbridos y entre las localidades, lo que indica una interacción genotipo x manejo x localidad influenciado de manera importante por las condiciones de fertilidad de los suelos de las localidades.

Los rendimientos de grano de maíz indicaron una respuesta positiva a la interacción PxK en San Pedro Buenavista y NxD en Independencia. En San Pedro Buenavista fue con las dosis de 80 a 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O. En Independencia, la dosis fue de 160 a 240 kg de N ha⁻¹ y a la densidad de población de 70 a 90 mil plantas ha⁻¹ en las cuatro parcelas grandes compuesta por dos fechas de siembra x 2 aportes de riego, y con los seis materiales mejorados.

La información sobre rendimientos de maíz con la tecnología generada, acorde a las nuevas condiciones por el cambio climático, salvo su posterior análisis económico contribuirán a incrementar la producción sostenida y rentable de maíz en La Frailesca, Chiapas.

REFERENCIAS

- Turrent, F.A.; Camas, G.R.; López, L.A.; Cantú, A.M.; Ramírez, S.J.; Medina, M.J. y
- Palafox, C.A. 2004 a. Producción de maíz bajo riego en el Sur-Sureste de México: I. Análisis agronómico. *Agric.Tec. Mex.* 30 (2) 153-167.
- Cadena, I.P.; Camas, G.R. Coutiño, E.B.; Turrent, F.A. y Camas, P.R. 2018. La producción de grano mediante el modelo granos del sur y su contribución a la soberanía alimentaria. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9 (3): 639-649.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2012. Informe sobre la pobreza en México. www.coneval.gob.mx/medicion/.../pobreza%202012/Pobreza-2012.aspx
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2007. Estadísticas agrícolas de las unidades de riego, año agrícola 2006-2007. México. 793 p.
- Turrent, F.A.; Camas, G.R.; López, L.A.; Cantú, A.M.; Raíres, S.J.; Medina, M.J. y
- Palafox, C.A. 2004 b. Producción de maíz bajo riego en el Sur-Sureste de México: II. Desempeño financiero y primera aproximación tecnológica. *Agric.Tec.Mex.* 30 (2) 205-221.
- Martínez, G. A. y Martínez, D. M. A. 1996. Diseños de experimentos con fertilizantes. Publicación especial 5. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C y Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 155 págs.
- Volke, H. V.; Turrent, F. A. y Castillo, M. A. 2005. Diseños de tratamientos y estimación de funciones de respuesta en la investigación agrícola. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. 68 págs.
- DOF. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&.
- IPNI. 1990. Manual de fertilidad de suelo: porcentaje de saturación de bases intercambiables. The postash and phosphate institute. 12 p
- NMX-AA-034-SCFI-2001 (2001). Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas (18 pp.). México, DF: Secretaría de Economía.
- Ayers, R. and Westcot, D. 1994. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. Food and Agricultural Organization, Rome
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38: 55-94.
- Myers, R. H.; Montgomery, D. C. and Anderson-Cook, C. M. 2009. Response Surface methodology: Process and product optimization using designed experiments. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Edwards, A.L.1984. An introduction to linear regression and correlation. 2nd Ed. University of Washington. W.h. freeman, New York.

- Andrade, F.H.; Echeverría, H.E.; González, N.S.; Uhart, S.A. y Darwich, N.A. 1995. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico 134. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA). Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Fontanetto, H. y Darwich, N.A. 1995. Efecto del método de aplicación del fósforo a maíz, a dos niveles de disponibilidad hídrica. Ciencia del Suelo 13:1-6.
- Sumner, M. E. and Yamada, T. 2002. Farming With Acidity. Communications in Soil Science and Plant Analysis 33, 2467–2496.
- Tasistro, A. y Camas, G.R. 2015. Enmiendas para controlar la acidez del suelo y el subsuelo y su interacción con potasio. Simposio Avances sobre fertilidad de suelos en México. Memorias del XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Aguascalientes, México. 1049-1053.
- Camas, G.R.; Ortiz, M.R.J.I.; López, B.W.; Cadena, I.P. y Camas, P.R. 2019. Efecto de enmiendas para corregir la acidez del suelo y su interacción con potasio en maíz, en Villacorzo, Chiapas. In memorias de la Reunión Nacional de Investigación e Innovación Pecuaria, Agrícola, Forestal y Acuícola Pesquera. Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México.
- Black, C.A. 1968. Soil Plant Relationships. 2ª. Ed. John Wiley and Sons.
- Brady, N. 1976. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Hispano América. México
- Lawlor, D. W. 2005. Plant responses to climate change: impacts and adaptation. In: Omasa, I. Nouchi, and L. J. De Kok. (eds). Plant Responses to Air Pollution and Global Change. K. Springer-Verlag. Tokio. pp: 81-88.
- Rincón, T.J.A.; Castro, N.S.; López, S.J.A.; Huerta, J.A.; Trejo, L.C. y Briones E.F. 2006. High temperature and water stress during flowering in tropical corn populations. International Journal of experimental Botany. 75: 31-40.
- Camas, P.R. 2017. Modelo de producción granos del sur; una opción para el aprovechamiento de los recursos hídricos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas. México. 76 p.
- Reta, D.D.G.; Cueto, W. J.A.; Gaytán M.A. y Santamaría C.J. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. Agric. Téc. Méx. 33 (2):145-151. Agric. Téc. Méx. 33(2):145-151