



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSGRADO DE EDAFOLOGÍA
FERTILIDAD DE SUELOS

“RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL
ESTADO DE TLAXCALA”

MARIANA MARGARITA SÁNCHEZ ROLDÁN

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

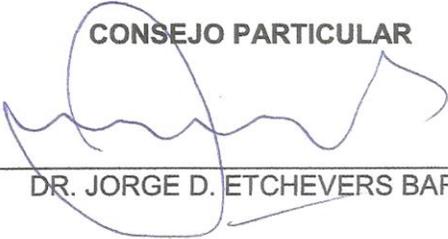
2015

La presente tesis, titulada: **RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ, EN EL ESTADO DE TLAXCALA**, realizada por la alumna: **MARIANA MARGARITA SÁNCHEZ ROLDÁN**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

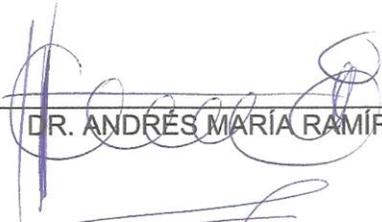
DOCTORA EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

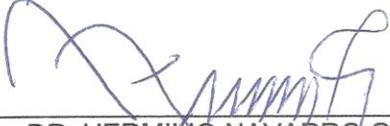
CONSEJO PARTICULAR

Consejero: 
DR. JORGE D. ETCHEVERS BARRA

Asesor: _____
DRA. CLAUDIA I. HIDALGO MORENO

Asesor: 
DR. ANDRÉS MARÍA RAMÍREZ

Asesor: 
DR. REMIGIO A. GUZMÁN PLAZOLA

Asesor: 
DR. HERMILIO NAVARRO GARZA

Montecillo, Texcoco, México, julio de 2015.

DEDICATORIAS

A Margarita Roldán Víquez, mi mujer divina, no existen palabras para agradecerte todo lo que has hecho por mí. Sólo ahora que soy madre te he podido entender a cabalidad, gracias infinitas mamá.

A Daniel García Palacios, mi mejor amigo, mi compañero de aventuras, de alegrías y de tristezas. Gracias por todo tu apoyo y amor, gracias por estar en mi vida y ser mi esposo.

A Julián García Sánchez por permitirme ser tu madre y compartir nuestras vidas. Tu existencia es la luz que ilumina mi alma.

A toda la Familia Roldán. Gracias por su compañía en todo momento, desde Lenis hasta Viri, todos y cada uno de ustedes me han dado momentos de mucha dicha. Particularmente las mujeres Roldán: Joaquina, Gisela y Carmela, mis tías.

A Roberto Carlos Murguía Roldán (1983-2007). Un día nos volveremos a ver primo.

A Adela Contreras Calzada (1956-2012). Con todo mi amor tía.

A Guillermo Roldán Ríos (1926-2014). Gracias por haberme educado, gracias por tu tiempo, por todas tus anécdotas, gracias por haber sido mi abuelo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para mi formación como Doctora en Ciencias.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT), por la beca otorgada para la realización de la presente tesis doctoral.

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) por el financiamiento de las parcelas experimentales en el estado de Tlaxcala, particularmente al Dr. Iván Ortiz-Monasterio y al M.C. Luis Guerra Zitlalapa.

Al Dr. Jorge D. Etchevers Barra, por haberme permitido ser su alumna y guiarme en el proceso de formación profesional.

A la Dra. Claudia Hidalgo Moreno, por sus acertadas observaciones en la elaboración de mi tesis.

Al Dr. Remigio Guzmán Plazola, por su tiempo y atención en la elaboración de mi tesis, por su guía en el proceso de aprendizaje.

Al Dr. Andrés María Ramírez, por permitirme ver la parte humana del campo, la del campesino, por decirme que la ciencia no lo es todo.

Al Dr. Hermilio Navarro Garza, por ser la parte crítica de ésta tesis.

A Lulú, por su apoyo en todo momento, gracias por hacer de la parte administrativa algo simple. A Enrique Suástegui, por sus asesorías en ArcGis. A Francisco Hernández, Joel y Leo, gracias por su amistad. A los Estadistas por excelencia Lauro Soto y Berestrain Cruz, gracias por su amistad y por sus asesorías.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. ENFOQUES PARA GENERAR TECNOLOGÍA DE FERTILIZACIÓN DE MAÍZ PARA PEQUEÑOS PREDIOS: ESTUDIO DE CASO DE TLAXCALA	 16
Resumen	16
Palabras clave	16
Abstract	17
Keywords	17
Introducción	17
Estudio de caso: Estado de Tlaxcala	22
Conclusión	34
Revisión bibliográfica	35
CAPÍTULO II. ZONIFICACION CLIMATICO- EDAFOLOGICA DE LAS ÁREAS CULTIVABLES DE MAÍZ DEL ESTADO DE TLAXCALA	 40
Resumen	40
Palabras clave	40
Abstract	40
Keywords	40
Introducción	41
Materiales y métodos	43
Resultados	51
Discusión	62
Referencias	64
CAPÍTULO III. EXPERIMENTOS EXPLORATORIOS DE LA FERTILIDAD DE SUELOS CON PARCELAS DE OMISIÓN DE MAÍZ EN TLAXCALA	 66
Resumen	66
Palabras clave	66
Abstract	67
Keywords	67
Introducción	68
Materiales y métodos	72

Resultados y discusión	77
Conclusiones	96
Revisión bibliográfica	98
CAPÍTULO IV. PARCELAS DE OMISIÓN. MASAGRO 2011-2013	102
Introducción	102
Materiales y métodos	104
Resultados y discusión	107
Conclusión	231
Revisión bibliográfica	233
CAPÍTULO V. USO DEL SENSOR REMOTO GREEN SEEKER PARA IDENTIFICAR DEFICIENCIAS DE NITRÓGENO EN MAÍZ EN PREDIOS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES.	235
Resumen	235
Palabras clave	235
Abstract	236
Keywords	237
Introducción	237
Materiales y métodos	242
Resultados y discusión	245
Conclusiones	253
Revisión bibliográfica	254

ÍNDICE DE CUADROS

Página

CAPÍTULO I. ENFOQUES PARA GENERAR TECNOLOGÍA DE FERTILIZACIÓN DE MAÍZ PARA PEQUEÑOS PREDIOS: ESTUDIO DE CASO DE TLAXCALA

Cuadro 1. Antecedentes de enfoques utilizados para generar prácticas de producción de cosecha	21
Cuadro 2. Rendimientos obtenidos en parcelas experimentales del proyecto Plan Tlaxcala. 1972.	26
Cuadro 3. Recomendación de manejo agronómico a partir del uso del enfoque de ecuación empírica generalizada (Villalpando, 1975).	27
Cuadro 4. Recomendación de manejo agronómico por agrosistema (Estrada, 1971 – 1972).	28
Cuadro 5. Selección de enfoque a partir del parámetro con menor DED ¹ (Aveldaño, 1979).	29
Cuadro 6. Resultados de tratamientos obtenidos por el enfoque de estratificación del ambiente (Iriarte, 1981).	30
Cuadro 7. Determinación de dosis óptima económica de capital ilimitado (Iriarte, 1981).	31

CAPÍTULO II. ZONIFICACION CLIMATICO-EDAFOLOGICA DE LAS ÁREAS CULTIVABLES DE MAÍZ DEL ESTADO DE TLAXCALA

Cuadro 1. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática del Estado de Tlaxcala y periodos de tiempo con datos climatológicos disponibles.	47
Cuadro 2. Variables climatológicas generadas para la zonificar climáticamente el estado de Tlaxcala.	49
Cuadro 3. Descripción de las variables edáficas de cada tipo ¹ de suelo en el estado de Tlaxcala	52
Cuadro 4. Componentes principales y proporción de varianza que representan de la matriz de variables climatológicas del estado de Tlaxcala	54

Cuadro 5. Valores de las variables climatológicas del estado de Tlaxcala correlacionadas con el Componente Principal 1, equivalentes a la media de este para cada grupo climático categorizado mediante el método de K-medias.	55
Cuadro 6. Valores de las variables climatológicas del estado de Tlaxcala correlacionadas con el Componente Principal 2, equivalentes a la media de este para cada grupo climático categorizado mediante el método de K-medias.	56
Cuadro 7. Valores de las variables climatológicas del estado de Tlaxcala correlacionadas con el Componente Principal 3, equivalentes a la media de este para cada grupo climático categorizado mediante el método de K-medias.	56
Cuadro 8. Identificación y ubicación de parcelas experimentales de omisión en el año 2012, localizadas en los municipios de Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala.	61

CAPÍTULO III. EXPERIMENTOS EXPLORATORIOS DE LA FERTILIDAD DE SUELOS CON PARCELAS DE OMISIÓN DE MAÍZ EN TLAXCALA

Cuadro 1. Identificación y ubicación de parcelas de omisión. Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.	72
Cuadro 2. Estimación de la demanda de NPK a partir del potencial productivo del cultivo de maíz en el estado de Tlaxcala (Etchevers, 2012).	74
Cuadro 3. Tratamientos y dosis de nutriente en los experimentos de omisión en los cuatro sitios de Huamantla y tres de Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.	75
Cuadro 4. Concentración de nutrimentos en muestras de suelo en parcelas de omisión. Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.	77
Cuadro 5. Evaluación de tratamientos de fertilización. Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.	79
Cuadro 6. Comparación de medias de la evaluación de tratamientos en dos agroecosistemas. Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.	80
Cuadro 7. Análisis de varianza de los experimentos de omisión en los sitios experimentales Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.	85
Cuadro 8. Análisis de regresión multivariada de rendimientos en sitios experimentales. Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.	85
Cuadro 9. Concentración (%) de N, P y K en hojas de maíz colectadas en etapa de jiloteo del cultivo de maíz, en las parcelas de omisión en Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.	86
Cuadro 10. Comparación de la concentración (%) de N, P y K en hojas de maíz en etapa de jiloteo. Análisis por agroecosistema. 2012.	87
Cuadro 11. Concentración (%) de N, en muestras de grano y biomasa. Análisis por agroecosistema. 2012.	89

Cuadro 12. Concentración (%) de P, en muestras de grano y biomasa. Análisis por agroecosistema. 2012.	92
Cuadro 13. Concentración (%) de K, en muestras de grano y biomasa. Análisis por agroecosistema. 2012	95

CAPÍTULO V. USO DEL SENSOR REMOTO GREEN SEEKER PARA IDENTIFICAR DEFICIENCIAS DE NITRÓGENO EN MAÍZ EN PREDIOS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES.

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización en parcelas de calibración, con rendimiento estimado en 3 ton ha ⁻¹ en Huamantla, 2013	243
Cuadro 2. Etapas fenológicas del cultivo de maíz.	244
Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en muestras de suelo en parcela de calibración. Huamantla, Tlaxcala, 2012.	246
Cuadro 4. Firmas espectrales obtenidas con el sensor remoto Green Seeker en cultivo de maíz. Huamantla, 2013.	247

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO II. ZONIFICACION CLIMATICO-EDAFOLOGICA DE LAS ÁREAS CULTIVABLES DE MAÍZ DEL ESTADO DE TLAXCALA

Figura 1. Ubicación de los pozos edafológicos en el estado de Tlaxcala utilizados para la categorización de los tipos de suelo y clasificación de los tipos de agricultura existentes en la entidad. Datos originales proporcionados por Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.	45
Figura 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas y puntos complementarios con datos climáticos utilizados para la categorización del clima en el estado de Tlaxcala. La capas coloreadas de fondo corresponden a los tipo de agricultura en a la entidad de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.	50
Figura 3. Distribución geográfica de los Tipos de suelos en el estado de Tlaxcala determinados mediante categorización a partir de las variables: Profundidad, presencia/ausencia de rocas, presencia/ausencia de capa cementante, espesor del horizonte A, textura y aptitud agrícola. TS = tipo de suelo.	53
Figura 4. Distribución geográfica de los tipos de clima en el estado de Tlaxcala, determinados mediante categorización a partir del análisis de componentes principales de 80 variables climáticas derivadas de los valores diarios de temperaturas mínimas, máximas y medias, precipitación pluvial y evaporación. PC = Tipo de clima	59

Figura 5. Zonificación edafoclimática del estado de Tlaxcala realizada con base en la combinación de los tipo de suelo y clima (ver Figuras 3 y 4) categorizados mediante el método de aglomeración de K-medias. TSPC = Tipo de suelo y Tipo de clima. Los puntos en el mapa indican la ubicación de los seis experimentos omisión realizados en la presente tesis. En punto de la parte sur del estado se realizaron dos experimentos.

60

CAPÍTULO V. USO DEL SENSOR REMOTO GREEN SEEKER PARA IDENTIFICAR DEFICIENCIAS DE NITRÓGENO EN MAÍZ EN PREDIOS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES.

Figura 1. Firmas espectrales obtenidas por el sensor remoto Green Seeker en cultivo de maíz. (a) etapa de crecimiento V7, (b) etapa de crecimiento V9, (c) etapa de crecimiento 11 y (d) etapa de crecimiento VT. Huamantla, 2013.

248

Figura 2. Rendimientos en grano al 14% de humedad en parcela de calibración del sensor remoto Green Seeker. Huamantla, 2013.

250

Figura 3. Relación lineal entre el rendimiento de maíz en grano en la etapa fenológica V7 y los tratamientos de fertilización T5, T6 y T7. Huamantla 2013.

251

Figura 4. Relación lineal entre el valor de NDVI en la etapa fenológica V7 y los rendimientos de los tratamientos de fertilización T5, T6 y T7. Huamantla 2013

252

RECOMENDACIONES DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL ESTADO DE TLAXCALA

MARIANA MARGARITA SÁNCHEZ ROLDÁN, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

La presente investigación se conforma por cinco capítulos que pretenden aportar un panorama global del sistema de producción de maíz en pequeños predios en el estado de Tlaxcala.

El primer capítulo presenta una revisión bibliográfica de los diversos enfoques que en el Estado de Tlaxcala se han usado con la finalidad de generar recomendaciones de fertilización. En el segundo capítulo se elaboraron un conjunto de mapas que describen las condiciones de suelo y clima presentes en Tlaxcala, con el objetivo de definir diferentes unidades de clima y suelo en las cuales se producen maíz en el Estado, así como la determinación de las características en las cuales se instalaron las parcelas de omisión de la presente investigación. El tercer capítulo describe el trabajo realizado en las parcelas de omisión en el estado de Tlaxcala, a fin de determinar qué elementos nutrimentales son deficitarios en los sitios evaluados que repercuten en el rendimiento del maíz. El cuarto capítulo evalúa el trabajo de tres años de parcelas de omisión instaladas en 15 estados de la República Mexicana. En total se consideraron 65 experimentos que forman parte del proyecto MasAgro coordinado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con el mismo fin de determinar cuáles son las deficiencias nutrimentales. Se consideró importante comparar los resultados obtenidos de las parcelas de omisión en Tlaxcala, respecto al resto del país, a fin de poner en contexto las principales deficiencias nutrimentales en las parcelas dedicadas al cultivo del maíz en el país. El capítulo cinco describe el uso del sensor remoto Greenseeker como una herramienta para definir el estatus nutrimental del nitrógeno en el cultivo del maíz en el estado de Tlaxcala. Se consideró este elemento debido a que el nitrógeno al ser uno de los macronutrientes esenciales para el cultivo de maíz requiere de un monitoreo permanente en los planes de fertilización. Adicionalmente, el sensor remoto Greenseeker ya ha sido calibrado en nitrógeno para el cultivo de maíz. Por otra parte, como parte de los objetivos del trabajo desarrollado se buscaba definir si el equipo, que se usa en lugares que emplean la agricultura de precisión (sistema de riego, maíces mejorados con fines comerciales) para producir maíz, podría ser usado en parcelas de pequeños productores bajo condiciones de temporal, en pequeños predios y donde el sistema de producción usado es la milpa.

FERTILIZER RECOMMENDATIONS FOR OPTIMIZING MAIZE PRODUCTION SYSTEM IN TLAXCALA

MARIANA MARGARITA SÁNCHEZ ROLDÁN, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

This research is made up of five chapters that aim to provide an overview of the production system of maize in small farms in the state of Tlaxcala.

The first chapter presents a literature review of the various approaches in the state of Tlaxcala have been used in order to generate fertilizer recommendations. In the second chapter a set of maps that describe the conditions of soil and climate present in Tlaxcala, in order to define different units of climate and soil in which corn produced in the state were developed, as well as the determination of the characteristics in which the plots of omission of this investigation were installed. The third chapter describes the work done in omission plots in the state of Tlaxcala, to determine what nutritional elements are deficient in the evaluated sites affecting maize yield. The fourth chapter assesses the work of three years of omission plots installed in 15 states of the Mexican Republic. In total 65 experiments that are part of MasAgro project coordinated by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) with the same order to identify the nutrient deficiencies are considered. It was considered important to compare the results of the parcels of omission in Tlaxcala, the rest of the country, in order to put in context the major nutritional deficiencies in cultivated plots of maize in the country. Chapter five describes the use of remote sensor Greenseeker as a tool to define the nutritional status of nitrogen in the cultivation of corn in the state of Tlaxcala. This item was considered because the nitrogen to be an essential macronutrient for growing corn requires a permanent monitoring fertilization plans. Additionally, the remote sensor has been calibrated Greenseeker nitrogen for growing corn. Moreover, as part of the objectives of the work done it is aimed to define whether the equipment, which is used in places that used precision agriculture (irrigation, improved commercial corn) to produce maize, could be used in plots small farmers under rainfed conditions in small farms and where the production system used is the cornfield.

INTRODUCCIÓN

La investigación destinada a generar tecnología agrícola tiene una historia de varias décadas en el mundo y en México. En nuestro país parte importante de las tecnologías generadas no han sido adoptadas en el grado deseable, principalmente por los pequeños agricultores y campesinos (Etchevers y Volke, 1991).

Un caso particular de estas tecnologías, son las recomendaciones de fertilización, en especial para el maíz, cultivo fundamental para la alimentación humana y animal en México. El desarrollo de esas tecnologías se ha basado en enfoques empíricos, que no son apropiados para resolver los problemas a nivel de finca. Hoy se trabaja más con modelos conceptuales basados en el funcionamiento del sistema de producción sustentado en las necesidades nutrimentales que genera el cultivo, dependientes de los rendimientos posibles o esperados.

Las aportaciones tecnológicas que han generado recomendaciones para uso de fertilizantes, en diversos agrosistemas mediante enfoques tradicionales, si bien han sido valiosas, generalmente no contemplan la estaticidad de dichas recomendaciones, mismas que son afectadas por razones de índole económica y por el deterioro que experimenta el recurso suelo.

La producción sostenible de alimentos de origen vegetal requiere sistemas agrícolas que tengan una mejor eficiencia en el uso de los recursos disponibles, que puedan evolucionar hacia un mayor aprovechamiento por lo seres humanos y, a la vez, que permitan el establecimiento de un equilibrio con el ambiente, favorable para la mayoría de las otras especies existentes en diversos ecosistemas (Turrent y Moreno, 1998).

Enfoques para la recomendación de dosis de fertilización en México

De acuerdo con Rodríguez (1987) las recomendaciones de fertilizantes generadas mediante enfoques tradicionales de ensayo y error son estáticas. En la práctica varían año con año como resultado de la dinámica de los nutrimentos en el suelo y la extracción de los mismos por parte de los cultivos, particularmente por el efecto

residual de alguno de ellos. El fósforo por ejemplo frecuentemente deficiente en los agrosistemas nacionales ha sido aplicado en exceso en algunas zonas.

Las recomendaciones de fertilización sustentadas en un enfoque empírico, producto de la realización de experimentos en campo en un contexto económico limitado, impiden la repetición de éstos para validar sus resultados en tiempo y espacio. Adicionalmente, a mediados del siglo pasado, las recomendaciones se generaban considerando el costo de los insumos (fertilizantes) y el precio del producto (maíz) en el mercado, los cuales eran relativamente constantes porque estaban controlados por el estado. Pero en una economía libre, como la actual, donde los precios de los productos (maíz) son fijados por la oferta y la demanda no permite seguir el mismo esquema. Un ejemplo de ello es el aumento del precio del maíz en el año 2011, causado por la demanda de los países emergentes y el incremento del precio de los fertilizantes en los dos años anteriores. Sin embargo, el precio del maíz ha venido a la baja en los años 2013 y 2014, modificando la relación precio/producto, lo que no hace atractivo para algunos productores la siembra de este grano. El precio de los fertilizantes influye fuertemente en el costo de producción.

Al respecto Damián *et al.* (2008) indicaron que, en el pequeño productor, existe una apropiación tecnológica reducida, diferenciada e inadecuada, producto de la pluriactividad del productor lo cual obstaculiza el empleo adecuado de tecnología. La tecnología recomendada y que se ha propuesto para su adopción no incluye prácticas agrícolas basadas en el conocimiento empírico campesino lo que aunado a la disposición de los productores de recursos económicos, ocasionan una apropiación tecnológica baja. En ese sentido Damián *et al.* (2008) en su trabajo titulado “Hombres y mujeres en la producción de maíz: un estudio comparativo en Tlaxcala”, indicaron que la apropiación de tecnologías generadas por el INIFAP en ese Estado asciende a un tercio de ellas. Ello se atribuye, además de las condiciones económicas restringidas, a que estiman que éstas no son apropiadas para sus circunstancias.

Una estrategia que daría mejores resultados en el caso de los pequeños productores, sería consultarlos a ellos, así como a los expertos regionales, lo cual podría generar información más acorde con las verdaderas necesidades zonales, ya que podría indicar, de manera más directa las limitaciones existentes (tecnológicas y económicas), lo que permitiría hacer los ajustes requeridos en las recomendaciones de gran visión. Alternativamente también se deberían realizar experimentos sencillos en sus predios. Como resultado de estas prácticas se podría obtener información sobre los rendimientos máximos posibles en función de las condiciones de disponibilidad de agua residual, instalación de las lluvias, manejo de los residuos y los recursos que el propio productor pudiese generar *in situ* (abonos orgánicos, compostas, ePC.).

La generación de recomendaciones de fertilización usando el análisis de suelo también ha sido una práctica que se ha usado en muchas regiones del mundo. El inconveniente de este procedimiento es que se requiere de presupuestos elevados para su ejecución, es por ello que en México existen muy pocas calibraciones que permitan inferir el estado nutrimental del suelo y la capacidad de abastecimiento de nutrientes al cultivo. Hay aún menos información para definir la dosis de fertilización a partir de los resultados del análisis de suelo. Estas calibraciones son específicas para los cultivos, en determinadas condiciones de suelo, manejo y rendimiento. En muchas ocasiones en México se usan extrapolaciones de resultados obtenidos en otras partes del mundo con condiciones de suelo, variedad, clima, manejos, ePC., que no son las mismas de las regiones en México donde se quieren implementar. El costo de esta aproximación resulta hoy día demasiado oneroso y las exigencias económicas y ecológicas demandan recomendaciones que sean sitio específicas e independientes del tamaño de la propiedad (Etchevers, 2011).

En resumen, son numerosos factores que deben considerarse para definir la dosis de fertilización que debe aplicarse a un cultivo. Estos y otros factores han determinado que en México esta metodología haya tenido poco éxito (Rebolledo *et al.*, 1986).

Ya en 1986, Rebolledo y colaboradores indicaban el poco uso del análisis químico de suelos por parte del productor, situación que en la actualidad sigue vigente. Las

causas del porque el análisis químico no ha sido ampliamente adoptado por el pequeño productor, probablemente se deba a dos factores, el primero económico y el segundo técnico, en donde se involucra desde el proceso de muestreo hasta la interpretación de los resultados, elementos que no han sido atendidos debidamente. Un aspecto clave para reenfocar el problema de las recomendaciones de fertilizantes de una manera más ajustada a la realidad del productor, es reconociendo los principales tipos de agricultores existentes en el país. Los agricultores empresariales tienen como objetivo fundamental el desarrollo de agronegocios para un beneficio propio, sin dejar de considerar que éste tipo de agricultura ha atendido las necesidades de ciertos sectores del país, pero que no considera al grueso de la población de México constituido por clases con escaso poder adquisitivo. Otro grupo cercano a los anteriores son los agricultores comerciales que pueden vivir de lo que producen. Ambos grupos practican una agricultura generalmente de riego o con escasas restricciones de humedad y sobre todo, no tiene restricciones de capital. Finalmente se tiene el grupo de los agricultores de subsistencia que se ubican generalmente en terrenos marginales, empobrecidos, en condiciones de temporal y con serias restricciones de capital.

México tiene una superficie territorial de 196.4 millones de hectáreas, de las cuales 112 millones se identifican como la superficie total de las unidades de producción. De acuerdo al Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, 2007, las unidades de producción en el país se distribuyen en 37 millones de tierras de carácter ejidal, 3 millones de tierras son comunales, 69 millones de tierras son de carácter privado, 1.3 millones considerados como de colonia y 492 mil tierras se identifican como públicas (INEGI, 2007).

Dosis de fertilización en Tlaxcala

Los trabajos realizados por Cruz (1990), Rodríguez (1993) y Galvis (1990) para la generación de dosis de fertilización emplearon información generada con los métodos tradicionales en Tlaxcala. Estos trabajos basan la formulación de los fertilizantes en lo que se conoce como modelo racional simplificado. En el modelo propuesto, se considera que el potencial productivo del cultivo, dado por su

condición genética, está sólo limitado por las características físicas del agroecosistema y por su manejo. En cada agroecosistema, se identifica una variada disponibilidad de nutrientes, sitio específico, producto de diversos manejos (residuos de cosechas, historial de fertilización, entre otros). La demanda de nutrientes de la biomasa de los cultivos, en especial nitrógeno y fósforo, no es satisfecha con el suministro natural del suelo y se produce un déficit nutricional, por tanto el uso de fertilizantes (orgánicos o inorgánicos) se emplean para satisfacer ese déficit, por tanto, se requiere saber la eficiencia del fertilizante, considerando las interacciones suelo-fertilizante así como la interacción cultivo-fertilizante (Rodríguez, 1987).

Para mejorar el actual enfoque de recomendaciones de fertilizantes se debe comenzar por estratificar a los agroecosistemas con mayor precisión. Para ello se dispone de metodologías modernas como la información satelital, sensores remotos de varias naturalezas, que combinadas con las metodologías tradicionales como los levantamientos fisiográficos (Cuanalo y Ponce, 1978) y otras basadas en aproximaciones agronómicas (manejo), pueden ayudar a definir unidades edafoclimáticas que permitirán precisar las características de suelo y clima de los agrosistemas. Posterior a la definición de la unidad edafoclimática, el siguiente paso sería a considerar el manejo tecnológico (Etchevers y Volke, 1991).

Estratificación edafoclimática

En México la estimación del rendimiento de maíz, normalmente se hace mediante métodos de campo que son costosos y requieren tiempo para su ejecución.

De acuerdo a Iriarte (1981) el uso de información cartográfica para la generación de tecnología de producción, resultó en su momento en una opción viable para predecir los rendimientos de maíz en Tlaxcala a partir de la estratificación de ambientes mediante el método de capacidad - fertilidad, con base en levantamientos agrológicos, ya sea usando la taxonomía de suelos de los Estados Unidos o bien cualquier otra clasificación.

Posteriormente Turrent (1986) hizo referencia a los factores que afectan a la producción y los clasificó en controlables e incontrolables, respecto a este último se

enfocó a la precipitación, energía radiante, viento, granizo y heladas. Las variables que evaluó fueron: cultivo, régimen de agua, ciclo de cultivo, estrato climático y estrato edáfico, los experimentos fueron promediados, ajustados por regresión para uniformizar su nivel de precisión y afectados por coeficientes arbitrarios para estimar los rendimientos. Finalmente elaboró recomendaciones de fertilización a partir de la combinación de información climática y edáfica aplicada a los distintos distritos de producción.

Rebolledo *et al.* (1986) se basó en la asociación de las dosis óptimas económicas de estos nutrimentos con los contenidos nutrimentales del suelo, estimados mediante análisis químico y la inclusión en el modelo de estimación de variables de suelo, clima y manejo.

Trabajos posteriores se enfocaron a delimitar zonas por rendimientos probables. Para Ruíz (1998) los rendimientos se pueden obtener a partir de la estimación de las funciones de producción, determinación del periodo de siembra óptimo, estimación de rendimientos probables y mapeo de las zonas con diferente potencial de rendimiento. Con respecto a este último punto, el autor realizó una extrapolación de los rendimientos estimados para cada condición de suelo en cada estación meteorológica, a zonas con suelos y régimen de lluvia similar, para lo cual se utilizaron mapas edáficos de isoyetas e isocuantos de evaporación.

En otro trabajo, Villalpando (1975) había buscado desarrollar un método para obtener una ecuación empírica generalizada que permitiera hacer recomendaciones de fertilización para maíz de temporal en la región centro del estado de Tlaxcala, definiendo cuatro agrosistemas por el método de sistemas de producción.

Posteriormente, Aveldaño (1979), siguiendo esa línea de trabajo realizó una investigación para definir una metodología que permitiese estratificar el ambiente en unidades de producción reduciendo la variación de los factores inmodificables de la producción y así lograr una mayor precisión en la generación de tecnología para maíz de temporal. Mediante el método de agrupación de agrosistemas, con criterio agronómico, determinó tres agrosistemas, con base en la profundidad y pendiente del suelo, posición fisiográfica, precipitación, temperatura y fecha de

siembra. Es de resaltar que, en ninguno de estos experimentos se consideró la fertilidad del suelo como una clase para la clasificación de los agrosistemas ni el manejo que el agricultor le deba a su terreno.

En un estudio para determinar la dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada mediante el uso de un modelo simplificado, Flores (1988) identificó 19 unidades edafoclimáticas en el estado de Tlaxcala con base a un mapa de isoyetas al 80% de probabilidad del déficit evapotranspirativo, auxiliado de un mapa de series de suelo que incluía la profundidad del suelo.

Posteriormente, Legorreta y María (1994) realizaron una estratificación del estado de Tlaxcala, mediante un modelo simplificado en áreas de potencial productivo para maíz, a partir de base de datos de clima (temperatura, precipitación) y suelo (profundidad) y la altitud. Este trabajo fue complementado por María y Volke (1999), para ello usaron una función de producción que consideró los factores, de suelo, clima y manejo que afectan el rendimiento del maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala. Es el primer trabajo de esta índole que considera el manejo como una variable para la definición de los potenciales.

Uso de Sistemas de Información Geográfica en la agricultura

A partir de la revolución tecnológica que se ha dado a lo largo de los últimos años, en la investigación agrícola actualmente se usa los sistemas de información geográfica (SIG) como una herramienta que permite definir con precisión los agroecosistemas. Los SIG son la representación gráfica a escala de la Tierra o parte de ella en una superficie plana. La posibilidad de emplear los SIG permite un manejo dinámico y eficiente de la información generada, para ser usada fácil y rápidamente.

El uso de dicha herramienta ha servido para el análisis de diversos temas de interés dentro del sistema de producción agrícola (Cuadro 1).

Cuadro 1. Uso del sistema de información geográfica y percepción remota en el análisis de los sistemas de producción agrícola en México

Proceso	Significado	Referencia
Fotointerpretación de tierras campesinas	Cartografía campesina Clasificación taxonómica	Martínez <i>et al.</i> (2003)
Evaluación multicriterio	Selección de áreas óptimas para cultivo de maíz	Ceballos <i>et al.</i> (2009)
Firmas espectrales	Identificación y delimitación de propiedades del suelo	Sotelo (2007)
Determinación de zonas edafoclimáticas	Análisis de variables dependientes e independientes	Zamarripa (2001)
Determinación de erosión hídrica	Levantamiento fisiográfico	González (2007)
Thematic mapper	Clasificación de suelos	Martínez (2002)

Estudios con metodologías diferentes han optado por el uso de imágenes Landsat - TM para generar estimaciones de rendimiento de maíz a partir de la cuantificación de sitios de maíz bajo riego, a partir del análisis temporal de índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Con apoyo del SIG, Soria *et al.* (2000) obtuvieron los valores de NDVI mediante el procesamiento de la información correspondiente a las etapas de floración y madurez fisiológica del cultivo. Los resultados de las imágenes clasificadas, al compararlos con la verificación de campo, indican que la predicción de cobertura de maíz tuvo una efectividad de 75%; con respecto al genotipo. La predicción fue efectiva en 41.6%, pero subestimó en 1.9% con respecto al valor real obtenido en campo. Referente al rendimiento de grano, la predicción registró una sobrestimación del de 9.4% por tanto el análisis discriminante indicó que es posible anticipar la predicción de sitios de ocurrencia de maíz y en consecuencia, su rendimiento, desde la floración, con una probabilidad de 61.1%.

La vinculación de SIG y modelos para determinar rendimientos de cultivos ha sido una práctica usada en México. Entre los modelos de simulación empleados para predecir rendimientos de maíz, destacan Crop Estimation through resources and environmental synthesis (CERES) (RiPChie and Otter, 1985) y Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC) (Williams *et al.* 1990). El modelo EPIC predice resultados

puntuales (Licona-Santana, 2006). Cuando la información no es precisa, pueden emplearse interfases del modelo con los sistemas de información geográfica. El modelo provee información de clima, suelo y variables del cultivo y el SIG se encarga de presentar esta información en mapas o cuadros, lo que es de gran importancia al realizar un análisis de variación espacial y temporal.

Respecto al uso de modelos, Licona-Santana (2006) empleó el modelo EPIC para estimar rendimientos de maíz, considerando variables fisiotécnicas del cultivo como la relación biomasa-energía, el índice de cosecha y el índice de área foliar, con la finalidad de calibrar y validar el modelo para simular tales rendimientos utilizando esas variables de cultivo.

Se puede concluir que, los trabajos de investigación en México usando SIG solos o combinados con otras técnicas han permitido realizar recomendaciones de fertilización para el cultivo del maíz, sin embargo, la precisión que representa cada enfoque se ve modificada a través del tiempo por diversos factores, que incluyen las condiciones climáticas, el manejo del productor y la fertilidad de cada parcela. Y que en términos generales no se dispone de una herramienta precisa para realizar recomendaciones de fertilización, para maíz ni para ningún otro cultivo.

Agricultura de precisión: Sensores remotos. Greenseeker

Las técnicas de percepción remota son ampliamente usadas en la agricultura. El uso de la teledetección es viable ya que la producción agrícola sigue fuertes patrones estacionales relacionados al ciclo biológico del cultivo y depende de factores físico-químico-biológicos del suelo y de prácticas de manejo. El conjunto de todas estas variables definen la variabilidad en el espacio y tiempo. Por otra parte, ya que la productividad puede cambiar en periodos cortos de tiempo debido a condiciones desfavorables (suelo, clima, manejo o el conjunto de ellas), los sistemas de monitoreo necesitan ser oportunas (Atzberger, 2013).

Dentro de la agricultura de precisión, los sensores remotos han permitido identificar el estatus nutrimental en cultivos como el maíz. Ejemplo de esto es el uso del sensor remoto Green Seeker, instrumento que provee un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), cuya interpretación puede contribuir al diagnóstico rápido y

dirigido de las condiciones nutricionales (especialmente de nitrógeno), el estado fisiológico, la incidencia de estrés y el rendimiento potencial de los cultivos (Inman *et al.*, 2005). Las aplicaciones del Greenseeker han sido mejor evaluadas en cultivos como el arroz, maíz, trigo y algodón y forman parte de las herramientas disponibles en la agricultura de precisión (Lawton, 2008).

Un caso especial en cuanto al diagnóstico eficiente y oportuno en la nutrición del maíz es el de la fertilización nitrogenada. Ésta se hace tradicionalmente mediante el ajuste de las tasas de aplicación con base a las necesidades del cultivo. Para mejorar el manejo sitio específico del nitrógeno, los modelos de crecimiento de maíz requieren información precisa sobre todo el estatus del nitrógeno en la planta así como el abastecimiento de dicho elemento por el suelo y las pérdidas (Kooistra *et al.*, 2012).

El principio del funcionamiento de estos sensores consiste en la emisión de haces de luz en las bandas roja e infrarroja del espectro electromagnético al follaje del cultivo, en este caso maíz. Se ha demostrado que la luz roja es absorbida y que la luz infrarroja es principalmente reflejada por la biomasa verde de las plantas, los datos de luz reflejada en estas dos longitudes de onda son utilizados para estimar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) (Govaerts and Verhulst, 2010). El NDVI de una franja ricamente fertilizada, la “franja rica”, sirve como referencia del maíz expresando el máximo potencial de rendimiento desde el inicio de encañe (Etapa V3, de la escala de RiPChie y Hanway, 1984). Así, los valores de NDVI de la franja rica y del área donde se seguirá la recomendación del sensor, el “área del sensor”, son introducidos en un algoritmo matemático desarrollado por Raun *et al.* (2002). El algoritmo que permite generar recomendaciones de dosis de fertilizante desde el inicio de encañe contiene varios componentes claramente identificados, tal como una ecuación específica por región para estimación del rendimiento, entre otros elementos (Raun *et al.*, 2005). De esta manera, la recomendación de fertilizante se estima por la diferencia entre la predicción del rendimiento en la franja rica y en el área del sensor. Una vez aplicada la recomendación derivada del sensor y algoritmo al área del sensor, se espera que

el área del sensor produzca rendimientos similares a la franja rica (Ortiz-Monasterio y Raun, 2007).

Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo. Uso de parcelas de omisión

En un contexto de producción agropecuaria cada vez más demandante, diagnosticar correctamente el estado nutricional de los cultivos es condición necesaria para mejorar la eficiencia de utilización de los recursos e insumos involucrados en el sistema productivo. El análisis de suelos continúa siendo probablemente el enfoque más utilizado a nivel mundial, pero metodologías o enfoques diferentes, tales como otros indicadores de suelo, muestreos geo-referenciados, análisis de planta, requerimientos de nutrientes, sensores remotos, modelos de simulación y parcelas de omisión aportan alternativas complementarias para mejorar los diagnósticos de fertilidad (Shanahan et al., 2008).

Como uso complementario al análisis de suelo o de plantas, se puede estimar la capacidad del suelo de suministrar nutrientes utilizando la técnica del elemento faltante, también conocido como parcelas de omisión. Esto se hace utilizando parcelas pequeñas en las cuales cada uno de los nutrientes evaluados se omite en una parcela pero todos los demás nutrientes se aplican en niveles adecuados. Por otra parte, una parcela recibe todos los nutrientes y otra parcela se deja sin aplicación alguna. Si no se observa disminución de rendimiento cuando se omite un nutriente comparado con la parcela con “todos los nutrientes”, se asume que el suelo está suministrando niveles adecuados del nutriente omitido (IPNI, 2012).

La presente investigación se conforma por cinco capítulos que pretenden aportar un panorama global del sistema de producción de maíz en pequeños predios en el estado de Tlaxcala. Se hace énfasis en las herramientas anteriormente descritas para proponer finalmente un plan para definir la aplicación de fertilización nitrogenada en los predios seleccionados en este estudio.

El primer capítulo presenta una revisión bibliográfica de los diversos enfoques que en el Estado de Tlaxcala se han usado con la finalidad de generar recomendaciones

de fertilización. En el segundo capítulo se elaboraron un conjunto de mapas que describen las condiciones de suelo y clima presentes en Tlaxcala, con el objetivo de definir diferentes unidades de clima y suelo en las cuales se producen maíz en el Estado, así como la determinación de las características en las cuales se instalaron las parcelas de omisión de la presente investigación. El tercer capítulo describe el trabajo realizado en las parcelas de omisión en el estado de Tlaxcala, a fin de determinar qué elementos nutrimentales son deficitarios en los sitios evaluados que repercuten en el rendimiento del maíz. El cuarto capítulo evalúa el trabajo de tres años de parcelas de omisión instaladas en 15 estados de la República Mexicana. En total se consideraron 65 experimentos que forman parte del proyecto MasAgro coordinado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con el mismo fin de determinar cuáles son las deficiencias nutrimentales. Se consideró importante comparar los resultados obtenidos de las parcelas de omisión en Tlaxcala, respecto al resto del país, a fin de poner en contexto las principales deficiencias nutrimentales en las parcelas dedicadas al cultivo del maíz en el país. El capítulo cinco describe el uso del sensor remoto Greenseeker como una herramienta para definir el estatus nutrimental del nitrógeno en el cultivo del maíz en el estado de Tlaxcala. Se consideró este elemento debido a que el nitrógeno al ser uno de los macronutrientes esenciales para el cultivo de maíz requiere de un monitoreo permanente en los planes de fertilización. Adicionalmente, el sensor remoto Greenseeker ya ha sido calibrado en nitrógeno para el cultivo de maíz. Por otra parte, como parte de los objetivos del trabajo desarrollado se buscaba definir si el equipo, que se usa en lugares que emplean la agricultura de precisión (sistema de riego, maíces mejorados con fines comerciales) para producir maíz, podría ser usado en parcelas de pequeños productores bajo condiciones de temporal, en pequeños predios y donde el sistema de producción usado es la milpa.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Aveldaño Salazar, Rodrigo. (1979). “El agrosistema, su definición y relación con la precisión en la generación de tecnologías en agricultura de temporal. Evaluación de cuatro métodos para definir agrosistemas en los llanos de Huamantla, Tlaxcala”. Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría en Ciencias
- Ceballos-Silva, A. y López-Blanco J. 2009. Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una evaluación multicriterio- SIG. Terra Latinoamérica. 28:109- 118
- Cruz Huerta, María de Lourdes. (1990). “Establecimiento de la dosis de fertilización fosfatada para maíz y cebada en suelos de Tlaxcala, mediante un modelo integral simplificado”. Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría
- Damián, H.M., López, O.J., Ramírez, V.B., Parra, I.F., Paredes, S.J., Gil. M.A. y Cruz, L.A. 2008. Hombres y mujeres en la producción de maíz: un estudio comparativo en Tlaxcala. Región y Sociedad. Vol. XX (42).
- Etchevers, Jorge y Volke Victor. (1991). *Generación de tecnologías mejoradas para pequeños productores*. Serie Cuadernos de Edafología 17. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 1p.
- Flores Márgez, Pedro. (1988). “Determinación de dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada en el estado de Tlaxcala mediante un modelo simplificado”. Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- Galvis Spindola, Arturo. (1990). “Validación de las normas de fertilización de N y P estimado con un modelo simplificado para maíz, con las dosis obtenidas en la experimentación de campo”. Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- González, M.R., Volke H.V., González, R.J., Ocampo, P.M., Ortiz, S.C. y Manzo R.F. 2007. Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal. Terra Latinoamérica. 25: 399- 408.

- Instituto Nacional de Información, Geografía e Informática (INEGI). 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal.
- Iriarte Ardaya, Ramiro. (1981). "Uso de información cartográfica como marco de referencia para la generación de tecnología de producción para maíz de temporal en la región de Huamantla, Tlaxcala". Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- Licona-Santana, J., Martínez-Menes, M. y Mendoza-Onofre, L. 2006. Uso del modelo EPIC para estimar rendimientos de maíz con base en variables fisiotécnicas en el oriente del estado de México. *Terra Latinoamericana*. 24: 283- 291.
- María, Andrés y Volke Víctor. (1999). "Estratificación del potencial productivo del maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala", en *Terra Latinoamérica*, 17, pp. 131-138.
- Martínez- Montoya, J., Ortiz-Solorio, J., Pájaro-Huertas, D., Ojeda-Trejo, E y Vargas-Pérez, E. 2003. Clave de fotointerpretación para la cartografía de tierras campesinas a escala regional. *Terra Latinoamérica*. 21:301- 309.
- Martínez, R.J. y Curtis, M. H. 2002. Soil classification in arid lands with thematic mapper data. *Terra Latinoamérica*. 20: 89- 100.
- RiPChie, J. T. and Otter, S. 1975. Description and performance of CERES-wheat: a user oriented wheat yield model. *USDA-ARS, ARS 38*: 159-175.
- Rodríguez, Jesús. (1987). Desarrollo de normas de fertilización para el cultivo del maíz y de la cebada en el estado de Tlaxcala. Colegio de Postgraduados, México.
- Soria, R.J., Ortiz, S.C., Islas, G.F. y Volke H.V. 2000. Sitios de ocurrencia y predicción de rendimientos de maíz a través de índices de vegetación de imágenes de satélite. *Terra Latinoamérica*. 18: 27- 34.
- Sotelo R.E., Gutiérrez, C.M., Ortiz, S.C., Cruz, B.G. y Segura, C.M. 2007. Delimitación de vertisoles a través de la identificación de sus firmas espectrales con el uso de imágenes Landsat TM. *Terra Latinoamérica*. 25:223-230

- Turrent, Antonio y Moreno Rodolfo. (1998). "Producción sostenible de alimentos de origen vegetal en el mundo", en Terra Latinoamericana, 16. 93 p.
- Villalpando Ibarra, José. (1975). "Desarrollo de un método para obtener ecuaciones empíricas generalizadas del rendimiento en una región agrícola, para uso de diagnóstico. Evaluación de la capacidad de diagnóstico de varios métodos en una región del estado de Tlaxcala en el que cultiva maíz bajo temporal". Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- Williams, J. R., Dyke, P. T., Fuchs, W. W., Benson, V. W., Rice, O. W. and Taylor, E. D. 190. EPIC/Erosion/Productivity Impact Calculator 2. User manual. A. N. Sharpley, and J. R. Williams, eds. USDA Tech. Bull. No. 1768. Temple, AZ. 127 pp.
- Zamarripa, R.J., Arrieta, R.A. y Aceves, N.L. 2001. Determinación de áreas de aptitud edafoclimática para el cultivo del hule (*Hevea brasiliensis*) en el estado de Tabasco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

ENFOQUES PARA GENERAR TECNOLOGÍA DE FERTILIZACIÓN DE MAÍZ PARA PEQUEÑOS PREDIOS: ESTUDIO DE CASO DE TLAXCALA APPROACHES TO GENERATE FERTILIZER RECOMMENDATIONS FOR MAIZE ON SMALL FARM UNITS: TLAXCALA STATE STUDY CASE

¹Estudiante de doctorado en Edafología, Colegio de Postgraduados. Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental. Temas de interés: fertilidad de suelos, cambio climático y conservación del recurso suelo. Número telefónico: 5528981105. Correo electrónico: marianaroldan@colpos.mx

[2 Doctor en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Colegio de Postgraduados, Fertilidad de Suelos. Temas de interés: Fertilidad de Suelos, Estadística Aplicada la Agricultura.](#) Número telefónico: 595) 9520200 Ext. 1220. Correo electrónico: vvolke@colpos.mx

³Doctor of Philosophy. North Dakota State University. Colegio de Postgraduados, Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental. Temas de interés: Fertilización, cambio climático, recuperación del recurso suelo. Número telefónico:(595) 9520200 Ext. 1237 y 1234. Correo electrónico: jePChev@colpos.mx (autor de correspondencia)

RESUMEN

El tema del pequeño productor agrícola y sus unidades de producción en México presenta una realidad marcada por dos aspectos fundamentalmente de orden económico: el desmantelamiento de la intervención estatal en la agricultura a finales del siglo pasado y la escasa transferencia de tecnología apropiada para ese sector. Ambos han repercutido en una baja o nula sustentabilidad de las pequeñas unidades agrícolas, provocando degradación del suelo y uso de tecnologías no apropiadas. A pesar de las metas periódicamente establecidas en los programas de desarrollo nacional, no se ha podido revertir la precaria situación de este sector. El presente trabajo tiene como objetivo analizar cómo ha sido la historia de la generación de las recomendaciones de fertilización para la producción de maíz de temporal en el estado de Tlaxcala, un cultivo que ocupa la mayor parte de la superficie agrícola de ese Estado y porqué la transferencia de esa y otras tecnologías no parecen haber influido en las condiciones de vida del productor ni en la sustentabilidad de los recursos naturales.

PALABRAS CLAVE

Pequeño productor, rendimiento de maíz, transferencia de tecnología, sustentabilidad, recomendaciones de fertilización.

ABSTRACT

The issue of the small farmer and production units in Mexico presents a reality marked by two aspects mainly of economic order: the dismantling of state intervention in agriculture at the end of the last century and the limited transfer of appropriate technology for that sector. Both have resulted in a low or zero sustainability of small farm units, causing land degradation and inappropriate use of technology. Although the goals of national development programs have been set periodically, the precarious situation of this sector has not improved so far. This paper aims to analyze the history of generating fertilizer recommendations for rainfed corn production in the state of Tlaxcala, a crop that occupies most of the agricultural area of that State, and also why the transfer of this technology and others appear to have not influenced the living conditions of farmers or the sustainability of natural resources.

KEYWORDS

Smallholder, maize yield, technology transfer, sustainability, fertilizer recommendations

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos de manera sostenible requiere de sistemas agrícolas con mayor eficiencia en el uso de los recursos que emplea, especialmente suelo y agua (Turrent y Moreno, 1998:93). Lo ideal es que dichos sistemas logren establecer un equilibrio con el ambiente; especialmente, que se mantenga la calidad del suelo para que éste no se erosione ni pierda materia orgánica y se mantenga su fertilidad química, que haya menor emisión de gases de efecto invernadero (GEI), en especial CO₂, y N₂O, generados por la oxidación de la compuestos orgánicos y el uso excesivo o inadecuado de los fertilizantes nitrogenados, respectivamente.

En México, la investigación destinada a generar tecnología agrícola tiene una historia de varias décadas. Sin embargo, la investigación que considera los aspectos de degradación arriba mencionados, es relativamente reciente. El interés es producto de una mayor conciencia ambiental de la sociedad, así como de desarrollos tecnológicos recientes que permiten monitorear más estrechamente los cambios en la calidad del suelo y las consecuencias del sistema actual de producción. Tecnologías de este tipo generadas en el país no han sido adoptadas

en el grado deseado. Lo anterior es particularmente válido para el sector de los pequeños agricultores (Etchevers y Volke, 1991:1)

Un caso específico que ha tenido poco éxito, es la generación de recomendaciones de fertilización. El caso de la producción de maíz requiere especial atención, dado que aproximadamente un tercio de la superficie cultivable del país se siembra con esta especie y, en particular, en pequeñas unidades de producción. Actualmente existe un déficit de oferta nacional de maíz para abastecer la demanda que impone el actual estado de desarrollo de la industria y la producción ganadera nacional; esta situación exige una rápida optimización de todos los factores que intervienen en el sistema de producción de este cereal, sin que ello signifique provocar mayores daños al medio ambiente.

Las tecnologías tradicionales empleadas para decidir el uso de fertilizantes aplicables a diversos agrosistemas, si bien han sido valiosas, por lo general no contemplan que las dosis recomendadas son estáticas y que sus óptimos económicos dependen de la relación entre el precio del producto y de los insumos en el mercado. Raramente consideran los rendimientos máximos alcanzables de los agroecosistemas y tampoco el manejo previo del componente suelo del sistema, como lo demandan las tecnologías modernas.

Un ejemplo de una tecnología que no se emplea apropiadamente para generar recomendaciones de fertilización es el análisis químico de suelos, a pesar de la falta de calibraciones nacionales. El hecho de que un cultivo responda en forma diferente a la aplicación de un nutriente en suelos que tienen el mismo valor de análisis químico, ha sido una de las causas fundamentales del poco éxito de la técnica. La razón fundamental para este fracaso es que como ya se indicó más arriba no se considera el manejo, hay pocas o no hay calibraciones locales y existe escaso entendimiento de la teoría detrás de esta técnica química (Etchevers *et al.*, 2013:1).

Las recomendaciones de fertilizantes generadas mediante enfoques tradicionales de ensayo y error poseen la característica de no cambiar en el tiempo; generalmente son el resultado de ensayos de respuestas medias regionales, a la aplicación de fertilizantes (Rodríguez, 1987:20). En teoría la demanda nutrimental del cultivo no

tendrían por qué ser la misma todos los años, en razón de que la biomasa producida responde a variaciones de los componentes climáticos, la dinámica de los nutrientes en el suelo, el efecto residual de alguno de ellos, como por ejemplo, el fósforo, que se adiciona regularmente a los agrosistemas y se acumula aumentando su reserva y que, normalmente no son consideradas al formular las recomendaciones de fertilización.

La mayoría de recomendaciones de fertilizantes que se emplean actualmente se han sustentado en un enfoque empírico, es decir, la realización de experimentos en campo en un contexto económico limitado, que restringe la posibilidad de repetición de los experimentos para validar los resultados en tiempo y espacio. En el pasado, la relación entre el costo de los insumos y el precio del producto en el mercado, se mantenía relativamente constante por estar ambos controlados por el Estado, pero por las condiciones impuestas por el libre mercado, tal constancia no se puede asegurar. Un ejemplo concreto de ello es el aumento del precio del maíz en el año 2011 y los incrementos de precios experimentados por los fertilizantes en los dos años anteriores, sin embargo en el 2014 el precio del maíz experimentó una disminución sin una baja comparable en el precio de los insumos empleados para su producción.

En consecuencia, la adopción por parte de los agricultores de recomendaciones generadas con los sistemas tradicionales ha sido parcial y entre los pequeños productores, la práctica de la fertilización está determinada en este sector principalmente por su situación económica. Para el pequeño productor, una estrategia de rápida implementación y que daría mejores resultados que la introducción de modernas tecnologías que no pueden afrontar por su costo, sería establecer un panel constituido por los mejores productores de la zona, técnicos calificados y preparados que se consideren expertos regionales, así como representantes del sector privado y del oficial, esto daría más información acerca de las verdaderas necesidades y limitaciones al momento de elaborar las recomendaciones. Los participantes tendrían información de primera mano acerca de los máximos rendimientos alcanzable para cada región o unidad edafoclimática particular, además implementarían la generación de abonos orgánicos *in situ*,

abonos verdes y compostas, productos que pudiesen contribuir a disminuir los costos de fertilización. Los conocimientos teóricos fundamentales para guiar adecuadamente el proceso sería responsabilidad de los técnicos calificados; la presencia de representantes oficiales permitirían establecer las guías o políticas públicas adecuadas; y, el sector privado contribuiría a mejorar la comercialización de los insumos y productos derivados del sistema. El costo de este primer paso es ínfimo y probablemente sus resultados podrían beneficiar a una gran mayoría de los pequeños productores, sin incurrir en costosos experimentos de campo que exige la tecnología tradicional.

A lo largo de las últimas décadas se ha empleado en el país, y en Tlaxcala especialmente, diferentes enfoques que han sido usados para generar recomendaciones de fertilización para los productores de pequeños predios y productores de subsistencia (Cuadro 1).

Cuadro 1. Antecedentes de enfoques utilizados para generar prácticas de producción de cosecha.

Enfoque	Variables econsideradas	Referencia
Productividad Agrosistemas	de Adaptación de prácticas de producción a cultivos bajo gradientes climáticos y tipologías agrícolas diversas.	Turrent-Fernández, Laird, Cortés y Volke (2005)
Extrapolación de recomendaciones	Zonas de riego y buen temporal Conocimiento de regímenes hídricos. Temperatura del suelo. Información cartográfica.	Silva (1985)
Análisis químico de suelos	Correlación de métodos analíticos. Calibración del método.	Etchevers (1999)
Recomendación media regional	Valor promedio de los experimentos. Contempla factores: clima/suelo a nivel regional, pero no contempla el manejo previo.	Iriarte (1981)
Recomendación: agrosistema	Reconocimiento de variaciones de clima y suelo y tipo de cultivo, en un ámbito espacial más reducido que la clase anterior.	Etchevers y Volke (1991)
Funciones de producción	Respuestas medidas en parcelas individuales y modeladas en función de la respuesta a la aplicación de fertilizantes y sus interacciones.	Iriarte (1981)
Modelos simplificados	La dosis de fertilizante es igual a la demanda del nutriente por el cultivo, menos el suministro del nutriente por suelo entre la eficiencia del aprovechamiento del nutriente aplicado al suelo.	Etchevers (1999)

ESTUDIO DE CASO: ESTADO DE TLAXCALA

El estado de Tlaxcala tiene una superficie total de 402,450 ha de las cuales de acuerdo a las cifras del INIFAP (2010), más del 59% (238 381 ha) se dedican a la agricultura, de éstas 212 289 ha son de temporal y 26,092 ha corresponden a agricultura de riego. Los principales cultivos que se siembran en el Estado son: maíz trigo, cebada, frijol y avena, el principal cultivo es el maíz, que ocupa 50.5% (INIFAP, 2010:1).

Tlaxcala se ubica en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y en la subprovincia de los Lagos y volcanes del Anahuac. La altitud en el territorio tlaxcalteca varía desde los 2150 hasta 4461 msnm. El 93% del territorio estatal se ubica en la región de Valles Altos, dentro de la cual se reconocen a nivel estatal siete zonas de diversa importancia entre las que destacan: Sierras con 23%, Lomeríos con 8%, Llanuras con lomeríos 43%, Mesetas con cañadas con 17% y Mesetas con lomeríos con 9% (INIFAP, 2010:1).

De acuerdo a la carta de climas del INEGI (2003:25), en la entidad predomina el clima templado subhúmedo con lluvias en verano C (w) en el 93% del territorio estatal.

De acuerdo a estudios de Potenciales Productivos realizados por INIFAP, 45.7% de la superficie estatal, se consideran como suelos profundos de más de 1 m de horizonte superficial y 54.3% son poco profundos (INIFAP, 2010:1).

El Estado cuenta con 60 municipios, y tres Distritos de Desarrollo Rural (DDR): DDR 163 Calpulalpan el cual abarca 177,650 ha (44.1% del total estatal) y atiende 11 municipios. DDR 164 Tlaxcala, abarca 109, 917 ha (27.3% del total estatal) y atiende a 37 municipios, finalmente, el DDR 165 Huamantla, el cual abarca 114, 908 ha (28.6% del total estatal) y atiende a 12 municipios (INIFAP, 2010:1).

Una característica de los suelos del Estado, es la presencia de tepetates, refiriéndose de manera coloquial a casi todo tipo de tierras que presentan capas endurecidas por procesos geológicos y pedológicos, derivados principalmente de tobas, aunque científicamente se debe denominar tepetates sólo al material derivado de tobas volcánicas (Etchevers *et al.*, 2006:1745). En el caso del estado de Tlaxcala, la presencia de tepetates representa el 54% de la superficie total misma

que se le considera improductiva (Werner, 2012:30). Estos tepetates se han originado por degradación física, ocasionada por el desarrollo de monocultivos y corresponden en su mayoría al conocido como tepetate tipo fragipán (Navarro-Garza *et al.*, 2004:71). Este tipo de tepetate presenta silicificación incipiente de las cineritas alteradas, lo que hizo pensar a Hidalgo *et al.* (1991:192) que la mayoría de los tepetates de Tlaxcala, podían considerarse como fragipanes.

Gran parte del tepetate ha aflorado debido a la pérdida de suelo superficial que lo cubría. La causa fundamental de dichas pérdidas ha sido ocasionada por los procesos de cambio de vegetación, pastoreo y deforestación extensiva, procesos que han generado erosión en grandes áreas del Estado.

Sistema de producción de maíz

A mediados de la década de los años 70, del siglo pasado, la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos (ahora SAGARPA) afirmaba que en Tlaxcala la agricultura de temporal correspondía al 98% de la superficie cultivada. Los cultivos principales eran el maíz y cebada. De maíz se cultivaban 33,681 hectáreas, con rendimientos aproximados a 800 kilogramos por hectárea.

A principios de este siglo, el sistema de producción de maíz en el Estado, ha ocupado el primer lugar entre los principales granos básicos que se producen. En 2010 se sembraron más de 120,000 ha, de las cuales 104,000 ha, fueron de temporal y 16,000 de riego, con un rendimiento medio de 2.35 y 3.84 t ha⁻¹, y una producción anual de 243,000 y 62,000 ton, respectivamente (SIAP, 2012:1).

El maíz se cultiva principalmente en áreas de mediana, buena y muy buena productividad, ubicadas en los distritos de Calpulalpan, Tlaxcala y Huamantla (María y Volke, 1999:131). De acuerdo con los autores, la baja producción de maíz se debe a factores como: errática e irregular distribución de la lluvia, heladas tempranas, granizadas, escasa profundidad del suelo, textura de la capa arable, pendiente y baja fertilidad de los suelos, alto grado de erosión, además del uso de variedades criollas de bajo rendimiento, tardías y susceptibles al acame.

Otro aspecto del sistema de producción a considerar, es el éxito o fracaso que ha tenido la transferencia de tecnología en el Estado, siendo la apropiación tecnológica

el índice para evaluarla. De acuerdo a Damián *et al.* (2007:163), el 73% de los productores se clasificaron como de baja apropiación y sólo 1.5% de alta. Se observó una relación directa entre índice de apropiación y rendimiento, lo cual aboga por un urgente cambio de estrategia para que los productores se apropien más rápidamente de las tecnología sugeridas. Los principales factores que limitan el uso y la aplicación correcta de la tecnología han sido: acceso limitado a factores de la producción, preminencia de prácticas tradicionales, desempeño de actividades complementarias por los productores (trabajo extra-finca), bajos ingresos, migración y escasa asesoría técnica.

Si se toma como base el conocimiento previo, y lo que se juzga como un fracaso de las estrategias para aumentar los rendimientos, se considera de utilidad hacer una revisión histórica de los trabajos de investigación, realizados que en el estado de Tlaxcala para elaborar recomendaciones de fertilización a pequeños productores, todos ellos con un enfoque diferente, pero un mismo objetivo, generar herramientas que permitan a técnicos y productores tomar una decisión que repercuta positivamente en su sistema de producción.

Historia: Guanos y Fertilizantes de México

El proceso de cambio tecnológico de la agricultura, en México inició en la década de los años 40 del siglo pasado, englobando principalmente dos aspectos. El primero de éstos relacionado con el programa nacional de investigación agrícola creado por el Gobierno Federal y la Fundación Rockefeller, que se centró en los cultivos de alimentos básicos de México. Este programa, que se inició en 1943, desarrolló variedades de semillas que respondían a los fertilizantes de la época, pero fue hasta 1950, que comenzó a dar resultados en términos de rendimientos y producción de los principales cultivos (Grabowski y Sánchez, 1987:187). El segundo aspecto se vinculó a un programa para la adopción masiva de abonos minerales por parte de los agricultores, para lo que se había creado Guanos y Fertilizantes de México en 1943. Hertford (1967:1171) señaló que buena parte del cambio en la producción de los cultivos (77%) que se dio a partir de 1953 se debe atribuir a

cambios en sus rendimientos. Del total de cambios de rendimientos en el cultivo, 75% se asoció a la mayor aplicación de fertilizantes químicos. El uso de fertilizantes creció en esos años: el consumo pasó de 12 mil toneladas en 1950 a 169 mil toneladas en 1960 (Puente, 1971:515) incrementándose en un promedio anual de 15% hasta 1979 (Grabowski y Sánchez, 1987:187). Repitiendo el patrón observado en los beneficios derivados del programa nacional de investigación agrícola, para 1960 el 90% de fertilizantes eran consumidos por los predios superiores a 5 hectáreas más tecnificados y mecanizados, que generaban el 54% de la producción agrícola nacional, dejando de lado a los productores de subsistencia (Puente, 1971:515).

Como consecuencia, el programa fue exitoso en una parte minoritario del sector agrícola mexicano compuesto por productores agrícolas y expertos mexicanos, cuyo sistema de producción era más intensivo en capital que en trabajo, orientado al mercado y no a la subsistencia; siendo otra de sus características el estar vinculado a una red de instituciones comerciales y públicas diseñadas para el logro de unidades más productivas y eficientes. En cambio, el programa fracasó ante la mayoría del sistema agrícola nacional caracterizado por productores orientados a la subsistencia, intensivo en trabajo y desconectado de cualquier sistema de asistencia de expertos agrícolas (Vargas y Stezano, 2013:1).

El enfoque de la recomendación general

El Instituto Nacional de Investigación Agrícola (INIA, hoy INIFAP) presentó en el año 1967 una recomendación general, de carácter nacional, para maíz de temporal. Esta fue de 80 kg de N ha⁻¹ y 40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ con una densidad de población de 40,000 plantas ha⁻¹ (CIMMYT, 1974:127), sin considerar los rendimientos máximos posibles para las diferentes unidades edafoclimáticas y técnicas de producción.

En la década de los años 60 del siglo pasado, el maíz era el principal cultivo en el estado de Tlaxcala. Alrededor del 70% de la superficie se sembraba con este cultivo y su producción representaba alrededor del 72% de los ingresos del agricultor, con bajos rendimientos del cultivo, apenas unos 500 a 600 kg/ha de grano en

condiciones de temporal y unos 1500 kg/ha en áreas con riego; finalmente sólo existía información general (primera aproximación) acerca de las dosis de fertilización para la producción de maíz en diferentes condiciones de producción (Mejía *et al.*, 1973:34).

Enfoque de dominio de recomendación

El enfoque fundamentó la segunda aproximación regional para el cultivo del maíz del Plan Tlaxcala, el cual inició en 1971. Realizado por personal del CIMMYT (Mejía *et al.*, 1973:34). Con el fin de adquirir mayores conocimientos acerca de este cultivo y así contar con mejores bases agronómicas para lograr aumentar su productividad (Mejía *et al.*, 1973:34). Las metas de este plan fueron: generar fórmulas de producción de maíz en tres condiciones de producción: siembras de humedad con y sin riego, de temporal con humedad residual y de temporal; y como segunda meta fue evaluar materiales genéticos locales e introducidos bajo las condiciones de producción antes mencionadas.

Bajo todas las condiciones de producción mencionadas se observó una gran respuesta a la fertilización, al comparar el rendimiento del tratamiento testigo sin fertilización incluso con aquel tratamiento con la dosis más baja de nitrógeno (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimientos obtenidos en parcelas experimentales del proyecto Plan Tlaxcala. 1972.

Zona	Tratamiento			Rendimiento (ton ha ⁻¹)
	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	DP (plantas/ha)	
Temporal	110	60	50 000	7 698
	---	---	---	4 073
Humedad. Sur	140	60	60 000	4 555
	---	---	---	1 179
Humedad Norte	140	60	60 000	7 951
	---	---	---	5 009

Enfoque de la ecuación empírica generalizada

Posterior al trabajo realizado por Volke *et al.* (1973), Villalpando (1975) realizó un estudio en 18 municipios del Estado. Su objetivo fue desarrollar un método para obtener una ecuación empírica generalizada para hacer recomendaciones de dosis de fertilización para la producción de maíz de temporal. El enfoque incluía recomendaciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y, además, densidad de plantas (DP), ya que se consideraba a estos factores como limitativos para obtener mayores rendimientos (Cuadro3).

Cuadro 3. Recomendación de manejo agronómico a partir del uso del enfoque de ecuación empírica generalizada (Villalpando, 1975).

Tratamiento		
N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	DP (plantas/ha)
20 - 140	0 - 90	30 – 75 000

Como se puede apreciar el rango resultante del enfoque anterior muestra un intervalo de amplitud muy amplio, que dista de la meta ideal que las recomendaciones sean sitio específicas. Las recomendaciones realizadas no permiten hacer diferenciar aquellos predios que requieren altas dosis de aquellos que sólo requieren cantidades bajas, por lo que se juzga que es una herramienta interesante, pero poco apropiada para resolver los problemas reales de recomendación de fertilizantes. Este autor también concluyó, que las prácticas del productor eran adecuadas siempre y cuando se modificaran las dosis de fertilización que en ese tiempo empleaban. En cuanto al material genético señaló que se encontraba bien adaptado a la zona. Finalmente, agregó que la fuente, oportunidad y forma de fertilizar y combate a las malezas, interactuaba poco con las dosis de N, P₂O₅ y la densidad de población.

Enfoque de agrosistemas

A finales de la década de los años 70 del pasado siglo, Estrada (1977) empleó el método de división por agrosistemas, definiendo al estado de Tlaxcala tres tipos de agrosistemas: el primero conocido como de siembras de marzo y abril en suelos con humedad permanente; el segundo, como siembras de fines de marzo y abril en aquellos con humedad residual; y el tercero de siembras de mayo y junio en régimen hídrico de temporal. En estos agrosistemas el productor acostumbraba fertilizar con 80 kg N/ha y 40 kg P₂O₅/ha sin K en la fórmula, aplicándolos inmediatamente antes de la primera o de la segunda labor de cultivo en forma mateada. Esta forma de aplicación de fertilizante, es poco apropiada para las condiciones en que se siembra, porque existen lugares donde en cada golpe se colocan 4 o 5 semillas a la siembra y prosperan sólo 2 o 3, lo cual determina una competencia desigual por nutrientes y agua. Además, porque la medida empleada en términos de los propios campesinos para la aplicación de los fertilizantes es poco reproducible: dos dedos, tres dedos, un puño, lo que impide calcular la cantidad exacta de fertilizante aplicado en cada caso.

Cuadro 4. Recomendación de manejo agronómico por agrosistema (Estrada, 1971 – 1972).

Agrosistema	Recomendación			Año
	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	DP (plantas/ha)	
I	70 – 160	0 – 60	45 – 60	1971
	80 - 170	0 - 90	30 - 60	1972
II Norte	60 – 150	0 - 60	20 - 60	1971 y 1972
II Sur	90 - 120	0 - 90	30 - 75	1971 y 1972
III	20 – 110	0 – 60	40 – 55	1971
	30 - 120	20 - 60	30 - 60	1972

Nuevamente con esta tecnología, más precisa que las anteriores, se ignoraba la posibilidad de hacer recomendaciones sitio-específicas para las condiciones de los pequeños productores.

Comparación de métodos de estratificación: agrupación indiscriminada, criterio agronómico, método CP y levantamiento fisiográfico

Aveldaño (1979) elaboró una comparación de cuatro métodos de estratificación (agrupación indiscriminada, criterio agronómico, método CP y levantamiento fisiográfico) con el objetivo de generar tecnología de producción de cosechas para condiciones de temporal limitativo en Tlaxcala, considerando un vasto número de relaciones entre el cultivo y su ambiente. La precisión de los métodos de diagnóstico fue diferente en los tres parámetros utilizados como criterios de diferenciación: dosis óptima económica de nitrógeno, dosis óptima económica de fósforo (DOE-N, DOE-P, respectivamente) y densidad de población, la selección de la mejor recomendación se basó en la menor desviación estándar de las discrepancias (DED) de cada parámetro.

Cuadro 5. Selección de enfoque a partir del parámetro con menor DED¹ (Aveldaño, 1979).

Enfoque	Parámetro	DED
Levantamiento fisiográfico	Fertilización nitrogenada	23.4 (kg ha ⁻¹)
CP	Fertilización fosfatada	19.8 (kg ha ⁻¹)
CP	Densidad de Población	129 mil plantas/ha

¹ DED= Desviación estándar de las discrepancias.

Estratificación de ambientes

Con el objetivo de identificar una metodología que permitiera la estratificación del ambiente en unidades de producción más homogéneas y así tener una mayor precisión, Iriarte (1981) propuso comparar las anteriores metodologías con la Estratificación de Ambientes realizada mediante material cartográfico (mapa geológico realizado por la UNAM, mapa geológico de la Fundación Alemana para la

Investigación Científica (FAIC), carta climática elaborada por la UNAM- CETENAL, carta hidrotérmica de la FAIC y mapa de suelos con base en el sistema de la FAO/UNESCO). Se dispuso de la información generada durante 4 años de investigación, en los que se realizaron 62 experimentos de campo, donde se estudió la respuesta del maíz de temporal a dosis de N, P, densidad de población y aplicación de gallinaza. En cada sitio experimental se tomaron en cuenta los factores edáficos del suelo, como: textura, pH, materia orgánica, profundidad del suelo, pendiente del terreno, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio, calcio y magnesio intercambiables. Las dosis óptimas económicas previamente generadas para cada uno de los experimentos se emplearon como parámetros agronómicos para probar los distintos métodos de estratificación.

El tratamiento potencial (incluía fertilizante nitrogenado, fosfatado y 10 toneladas de gallinaza por hectárea) se comparó a un testigo absoluto. Los resultados se observan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Resultados de tratamientos obtenidos por el enfoque de estratificación del ambiente (Iriarte, 1981).

Tratamiento	Rendimiento grano (Kg ha ⁻¹)	Media general (kg ha ⁻¹)
Testigo	0 - 5 051	1 800
Potencial	2 094 - 9 483	5 097
Promedio general		3 284

La respuesta a la adición de gallinaza sugiere un probable déficit de elementos menores, que no ha sido estudiado en detalle, un efecto positivo de la lenta liberación de nitrógeno por este producto o un impacto efectivo en la modificación de alguna propiedad física, situaciones que no han sido debidamente estudiadas en Tlaxcala. La respuesta a este abono orgánico sugiere que los suelos estudiados tienen serios problemas nutrimentales, probablemente micronutrimentales. Llama poderosamente la atención que hoy día no se obtiene rendimientos experimentales cercanos a los señalados.

La dosis de fertilizante nitrogenado, para el tratamiento potencial que mostró mayor rendimiento fue 110 kg/ha de N, 60 kg/ha P y una DP de 60 mil plantas/ha. La densidad de plantas para el tratamiento testigo que presentó mayor rendimiento fue de 30 mil plantas/ha. A continuación se muestra la dosis óptima económica de capital ilimitado elaborado en la investigación.

Cuadro 7. Determinación de dosis óptima económica de capital ilimitado (Iriarte, 1981).

Variable Independiente	DOECI (kg ha⁻¹)
Nitrógeno	30 – 140
Fósforo	0 – 80
Potasio	18
Densidad de plantas	30 – 75 mil

Unidades edafoclimáticas

En la década de los años 80, Flores (1988) estableció 19 unidades edafoclimáticas que enmarcaban las variaciones pluviométricas y de suelo (fase y serie) representativas del Estado; estas unidades sirvieron de apoyo en la estimación de los potenciales productivos cuya variación fue explicada aproximadamente en 80% por la precipitación durante el periodo crítico.

Los potenciales productivos del cultivo del maíz se ubicaron en el rango 1,577 y 6,833 kg ha⁻¹; la demanda de nitrógeno estimada para el cultivo estaba relacionada con el potencial productivo de éste, ya que el valor del índice de cosecha y el del requerimiento interno de N fueron relativamente constantes en distintas condiciones edafoclimáticas, como lo asegura la teoría (Flores, 1988). Con base en la información seleccionada de 33 experimentos se estimó que la demanda de N por el cultivo del maíz varió entre 29 y 145 kg de N ha⁻¹, teniendo como base una eficiencia promedio teórica de la fertilización nitrogenada de 50%. El suministro de N del suelo se relacionó estrechamente con los potenciales de mineralización y éstos, a su vez, dependieron del contenido de N total y de materia orgánica del suelo. Siendo estas últimas una función del aporte de residuos de cosecha y del

manejo de éstos, es evidente que la capacidad de suministro de N del suelo es función del cultivo y del manejo reciente e histórico de los suelos.

La demanda de N del cultivo del maíz varió entre 29 y 145 kg de N ha⁻¹ resultó similar a la de los ensayos (35 a 178 kg de N ha⁻¹).

A pesar de haberse logrado con estos estudios una mayor y mejor información sobre como dividir el espacio productivo del Estado, así como estimar los rendimientos probables en diferentes condiciones, el impacto que ha tenido esta información en el sector de los pequeños productores se juzga hoy como irrelevante, ya que no ha contribuido a que ellos reciban información clara y precisa de los organismos responsables de hacer llegar ésta a los destinatarios finales..

Levantamiento nutrimental

Cruz (1990) realizó un levantamiento nutrimental del Estado de Tlaxcala y observó que en muchos predios existían cantidades abundantes de P disponible en el suelo, como consecuencia de aplicaciones de dosis mayores que las requeridas para los rendimientos esperados, generalmente inferiores a éstos. Esto explicaría por qué en aproximadamente 40% de los sitios no se habría observado respuesta a la aplicación de fertilizante fosfatado en los estudios arriba descrito y la amplia variabilidad en cuanto a las respuestas observadas.

Enfoque racional simplificado

Un enfoque totalmente diferente a los anteriores fue el realizado por Rodríguez (1987), quien basó su trabajo en las ideas plasmada en su publicación “La fertilidad de suelo: un enfoque racional simplificado”. Su enfoque se basa en explicar las necesidades de nutrientes de las plantas en función de los postulados de la fisiología vegetal, la química de suelo y la experiencia agronómica.

En el estado de Tlaxcala, Rodríguez (1987) observó que la característica agroclimática más importante en zonas de temporal era el régimen hídrico, y lo tomó como criterio para el establecimiento de unidades edafoclimáticas y de potenciales productivos. Las características del clima y de suelo consideradas fueron:

precipitación pluvial, evapotranspiración y capacidad de almacenamiento de agua. Cruz (1990) empleó el modelo racional simplificado para estimar la dosis de fertilización fosfatada para maíz y cebada en Tlaxcala, pero no realizó la validación de los cálculos teóricos. Dicho modelo estuvo constituido por sub modelos que estiman: la cantidad teórica de nutriente requerido (demanda) para alcanzar un rendimiento cercano al potencial (obtenido de la experiencia del productor en su terreno); la cantidad de P que es abastecido por el suelo (o suministro, medido por un análisis químico previamente seleccionado) y la proporción del P agregado y que es absorbido por las plantas (eficiencia de uso del fertilizante, obtenido de experiencias previas). La dosis de fertilización fosfatada generada con el modelo fue de 0 a 80 Kg P_2O_5 ha⁻¹, diferente a la elaborada por el INIA (1980 y 1981) la cual era de 0 a 50 Kg ha⁻¹ de P_2O_5 para maíz. Cruz (1990) recomendó que sus cálculos deberían ser corroborados mediante experimentos de campo.

Galvis (1990) realizó un trabajo con normas de fertilización nitrogenada y fosfatada para el cultivo del maíz en el Estado, generadas con un modelo simplificado teniendo como referencia las dosis obtenidas por medio de procedimientos de campo y estadísticos. Primero, realizó la caracterización de los componentes y parámetros del modelo para las condiciones del cultivo del maíz en Tlaxcala y para ello utilizó la información obtenida por Rodríguez (1987), Flores (1989) y Cruz (1990).

Para establecer la demanda, estimó el rendimiento máximo alcanzable mediante una función entre el déficit evapotranspirativo con los rendimientos máximos alcanzables en un grupo de experimentos realizados en campo realizados por Volke (1973). Posteriormente, trabajó con los datos capturados en 36 estaciones meteorológicas a fin de establecer las isolíneas del déficit evapotranspirativo, posteriormente los unió a las características edáficas de las zonas productoras de maíz, generando la distinción de 10 agroecosistemas, que presentaban un rango de rendimiento máximo alcanzable de 1.0 a 6.5 ton/ha de maíz.

De este último enfoque se puede inferir que las condiciones de suelo, clima y manejo determinan los rendimientos máximos alcanzables. Por tanto, el sistema de generación de recomendaciones es perfectible y es posible nutrir a las plantas y

evitar el uso excesivo de los fertilizantes empleando criterios modernos para mejorar la exactitud de tales recomendaciones. Sin embargo, se requiere entrenar recursos humanos que entiendan cómo funciona el sistema para que puedan aplicarlo exitosamente.

CONCLUSIÓN

Como se mostró, la recomendación de dosis de fertilización se elabora a partir de diferentes enfoques. Las recomendaciones de fertilización, deberían responder a tres vertientes: ecológica, productiva y económica. En el aspecto ecológico, las dosis de fertilización tendrían que disminuir su impacto negativo en los recursos naturales, los cuales no son renovables y que fácilmente son erosionables. A partir de la vertiente productiva, las recomendaciones de fertilización, deberían permitir al productor la autosuficiencia en su trabajo, y finalmente, la vertiente económica, en donde, el conocimiento de dosis óptimas en su parcela, le den certeza del consumo de fertilizantes que se verán reflejados en la venta de sus productos o bien en la satisfacción de su autoconsumo, generando un sistema sustentable.

A medida que la práctica agrícola pasó de ser una forma de vida a un sistema donde se debe considerar el aspecto técnico y económico en las decisiones de producción, con la incorporación de insumos que permitan tener rendimientos altos por unidad de superficie, se ha hecho necesaria la dosificación adecuada de los fertilizantes, generando enfoques que permitan calcular las dosis de fertilización de acuerdo a las necesidades del cultivo y del suelo, pasando por la utilización de recomendaciones generales para una región determinada según el cultivo, incluso llegando a modelos más afinados de cálculo de dosis como podría ser el desarrollado por Rodríguez y su modelo Racional Simplificado y varios otros similares.

El trabajo en campo y los resultados que genera, visto a partir de diferentes enfoques, se ha enfrentado con problemas en común como lo son: heladas, granizos y sequía; aunado a factores propios del uso de razas nativas, como puede ser: un potencial limitado de producción o bien el uso de material vegetal no

adaptado a las condiciones del agrosistema; en la región de Tlaxcala, como en otras partes de México, el factor económico ha tenido un fuerte impacto en la adquisición por parte de los productores, de las recomendaciones hechas por los expertos, limitando el potencial de cada enfoque.

Se concluye que, el proceso de producción de maíz de temporal en el estado de Tlaxcala, implica el conocimiento de un sistema complejo, en donde factores, sociales, económicos, biológicos y medioambientales convergen en la toma de decisión del pequeño productor, limitando el impacto de los diversos enfoques en el sistema de producción. Los autores están convencidos que las recomendaciones generalizadas no es el camino adecuado para resolver el problema de ¿cuánto fertilizante debe aplicar un pequeño productor?, sino buscar en la ciencias fundamentales los mecanismos que permitan predecir con mayor exactitud las necesidades reales para cada condición específica y que ello debe hacerse de manera progresiva, colocando más énfasis en los aspectos científicos cuantificables que en los enfoques probabilísticos, porque sólo ellos permiten llegar a recomendaciones sitio específicas.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Aveldaño Salazar, Rodrigo. (1979). “El agrosistema, su definición y relación con la precisión en la generación de tecnologías en agricultura de temporal. Evaluación de cuatro métodos para definir agrosistemas en los llanos de Huamantla, Tlaxcala”. Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría en Ciencias.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (1974). “El Plan Puebla: siete años de experiencia 1967-1973”. México. 127 p
- Cruz Huerta, María de Lourdes. (1990). “Establecimiento de la dosis de fertilización fosfatada para maíz y cebada en suelos de Tlaxcala, mediante un modelo integral simplificado”. Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría.

- Cruz, Ricardo, Volke Víctor, Turrent Antonio. y Pájaro David. (1998). “Clasificación de tierras campesinas para la generación y transferencia de tecnología agrícola entre pequeños productores: caso del maíz en la región central de Veracruz”, en: Terra Latinoamérica 16, pp 1-10.
- Damián, Miguel, Ramírez Benito, Parra Filemón, Paredes Juan, Gil Abel, Cruz Artemio y López Jesús. (2007). Apropiación de Tecnología por productores de maíz en el estado de Tlaxcala, México, Ee: Agricultura Técnica en México,33. pp 163-173.
- Estrada Ligorria, Luis. (1977). “El agrosistema un método práctico y preciso para diseñar tecnología de producción para el cultivo de maíz bajo condiciones de temporal en la parte sur del estado de Tlaxcala”, Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- Etchevers, Jorge y Volke Victor. (1991). *Generación de tecnologías mejoradas para pequeños productores*. Serie Cuadernos de Edafología 17. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 1p.
- Etchevers, Jorge, Padilla Juliana, Hidalgo Claudia. y Tasistro Armando. (2013). “¿Por qué hay confusión en la interpretación de los análisis químicos de suelo en México?”. Congreso XXXVIII Mexicano de la Ciencia del Suelo. La Paz, B.C.S., México.
- Etchevers Barra, Jorge. Hidalgo Claudia. Prat Christian y Quantin Paul. (2006). “Tepetates of Mexico”, en Rattan Lal (coord) *Enciclopedia of Soil Science*. Vol: 2, pp 1745-1748.
- Etchevers, Jorge. (1999). “Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos”, en Terra Latinoamericana, 17, pp
- Flores Márgez, Pedro. (1988). “Determinación de dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada en el estado de Tlaxcala mediante un modelo simplificado”. Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- Galvis Spindola, Arturo. (1990). “Validación de las normas de fertilización de N y P estimado con un modelo simplificado para maíz, con las dosis

obtenidas en la experimentación de campo”. Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.

- Grabowski, Richard y Sánchez Onesimo. (1987). “Technological Change in Mexican Agriculture: 1950–1979”, en *Social and Economic Studies*, 36, pp 187-205.
- Hertford, Reed. (1967). “The Development of Mexican Agriculture: A Skeleton Specification”, en *Journal of Farm Economics*, 49, pp 1171-1181.
- Hidalgo, Claudia, Quantin Paul y Zebrowski, Claude. (1991). “La cementación de los tepetates: estudio de la silicificación”, en *Terra*, 10. Número especial: Suelos volcánicos endurecidos. pp 192-201.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2003). “Información Nacional sobre perfiles de suelo”. Versión 1.2. México, D.F. 25 p.
- Iriarte Ardaya, Ramiro. (1981). “Uso de información cartográfica como marco de referencia para la generación de tecnología de producción para maíz de temporal en la región de Huamantla, Tlaxcala”. Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- María, Andrés y Volke Víctor. (1999). “Estratificación del potencial productivo del maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala”, en *Terra Latinoamérica*, 17, pp. 131-138.
- Mejía, Hugo, Morales Alfredo, Turrent Antonio, Laird Reggie y Volke Víctor. (1973). Resultados de la investigación agronómica desarrollada durante 1971 en el área del Plan Tlaxcala. México: Colegio de Postgraduados. pp 34-63.
- Navarro-Garza, Hermilio, Pérez-Olvera Antonia y Flores-Sánchez Diego. (2004). “Productividad del tepetate con sistemas rotacionales”, en *Terra Latinoamericana*, 22. pp. 71-79.
- Instituto Nacional de Investigación Forestal Agropecuaria y Forestal (INIFAP). (2010). “Pronóstico Agroclimático Tlaxcala” .México pp1-10
- Puente, Jesús. (1971). “Recursos y crecimiento del sector agropecuario en México, 1930-1967”, en *El Trimestre Económico*, 38. pp 515-552.

- Rodríguez, Jesús. (1987). Desarrollo de normas de fertilización para el cultivo del maíz y de la cebada en el estado de Tlaxcala. Colegio de Postgraduados, México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2012). "Cierre de la Producción Agrícola por Estado". Texto consultado: <http://www.siap.gob.mx/>. Última consulta 10 Marzo 2014.
- Silva, James. (1985). Soil based agrotechnology transfer. College of Tropical and Human Resources, University of Honolulu, Hawaii.
- Turrent, Antonio y Moreno Rodolfo. (1998). "Producción sostenible de alimentos de origen vegetal en el mundo", en Terra Latinoamericana, 16. 93 p.
- Turrent, Antonio, Laird Reggie, Cortés-Flores Isabel y Volke-Helller Victor. (2005). "Revisiting agrosystem productivity: I .Fundamentals and tools.
- Vargas, Natalia. y Stezano Federico. (2013). "El Modelo de Financiamiento al Desarrollo como Determinante de las Relaciones Agricultura - Estado. 1943-1974: Inflexión, Establecimiento y Trayectoria de la Industria Agroquímica en México. El Caso de Guanos y Fertilizantes, S.A." XIV Congreso de Historia Agraria .Sociedad Española de Historia Agraria. España.
- Villalpando Ibarra, José. (1975). "Desarrollo de un método para obtener ecuaciones empíricas generalizadas del rendimiento en una región agrícola, para uso de diagnóstico. Evaluación de la capacidad de diagnóstico de varios métodos en una región del estado de Tlaxcala en el que cultiva maíz bajo temporal". Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- Volke, Víctor, Etchevers Jorge, San Juan Adán y Silva Tomás. (1998). "Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos", en Terra Latinoamericana, 16. pp. 79-91.
- Volke, Víctor, Mejía Hugo, Morales Alfredo y Turrent Antonio. (1973). "Resultados de la Investigación agronómica en maíz desarrollada en la parte sur del Estado de Tlaxcala (Plan Tlaxcala) durante 1971 y 1972". Memorias del VI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tomo III. México.

- Werner, Gerd. (2012). Los suelos en el estado de Tlaxcala. Segunda edición. Gobierno del estado de Tlaxcala y la Universidad Autónoma de Tlaxcala.

PATRONES EDÁFICOS Y CLIMÁTICOS ASOCIADOS AL CULTIVO DEL MAÍZ EN EL ESTADO DE TLAXCALA

MARIANA M. SÁNCHEZ ROLDÁN¹, REMIGIO GUZMÁN PLAZOLA², ANDRÉS MARIA RAMÍREZ³
CLAUDIA I. HIDALGO MORENO⁴, HERMILIO NAVARRO GARZA⁵ y JORGE D. ETCHEVERS
BARRA⁴

¹Estudiante de doctorado en Edafología, Colegio de Postgraduados

²Colegio Postgraduados, Agroecología

³El Colegio de Tlaxcala, Tlaxcala

⁴Colegio de Postgraduados, Desarrollo Rural

⁴Colegio de Posgraduados, Edafología

RESUMEN

Se propone una zonificación edafoclimática del estado de Tlaxcala, enfocada al cultivo del maíz, basada en el análisis multivariado de variables edáficas y climáticas. Se generaron mapas de patrones de suelo, clima y sus combinaciones, como una propuesta para zonificar regiones en el estado que podrían ser tomadas como base para facilitar la extrapolación de los resultados de investigación enfocada a la generación de recomendaciones de manejo, particularmente ensayos de fertilización y productividad de suelos.

Palabras clave: Zonas edafoclimáticas, k-medias, componentes principales.

ABSTRACT

A maize focused edaphic and climatic zoning for Tlaxcala State is proposed based on multivariate analysis of climatic and edaphic variables. Maps for soil and climate types and their combinations are proposed to facilitate the extrapolations of results from experiments on maize management, particularly those focused on soil fertilization and productivity.

Keywords: edaphic zones, climatic zones, k-means, principle components.

INTRODUCCIÓN

El manejo de las unidades de producción agrícola debe considerar las características del suelo y clima donde se encuentran ubicados. La identificación de zonas homogéneas con características similares es una base importante para la generación de recomendaciones de fertilización, manejo y control de plagas y enfermedades. La identificación de los patrones de variación de estos factores puede contribuir a mejorar el rendimiento y la rentabilidad de la producción de un cultivo y a su vez proteger los recursos naturales de su entorno. Esto permitirá definir dosis de fertilización y variedades específicas, acordes con los potenciales productivos de cada zona (Morari *et al.*, 2009).

En México, el principal cultivo es el maíz, participa con el 18% del valor de producción del sector agrícola (88 mil mdp en 2012 y 78 mil mdp en 2013) y concentra el 33% de la superficie sembrada en el territorio nacional, con alrededor de 8 millones de hectáreas cada año, (FND, 2014). De éstas, 1.5 millones de hectáreas cuenta con riego, el resto (6.5 millones de hectáreas) son de temporal (Turrent, *et al.*, 2012).

El estado de Tlaxcala cuenta con una superficie total de 402,450 ha de las cuales más del 59% (238,381 ha) se dedican a la agricultura; de éstas 212,289 ha son de temporal y 26,092 ha corresponden a la agricultura de riego (SIAP, 2012). Los principales cultivos que se siembran en el estado son: maíz trigo, cebada, frijol y avena, entre otros; no obstante, el principal cultivo es el maíz debido a que se siembra en el 50.5% de la superficie agrícola del estado (PAT, 2010). La clasificación de las áreas agrícolas en el Estado son: agricultura de riego anual y semipermanente 8,956 ha, agricultura de riego permanente 53 ha, agricultura de riego semipermanente 765 ha, agricultura de temporal anual 200,794 ha, agricultura de temporal anual y permanente 65,397 ha, agricultura de temporal anual y semipermanente 98 ha y agricultura de temporal permanente 105 ha (INEGI, 1993) (Figura 1).

La zonificación del suelo y clima en Tlaxcala ha sido abordada por diversos investigadores. Villalpando (1975) buscó desarrollar un método para obtener una ecuación empírica generalizada que permitiera hacer recomendaciones de fertilización para maíz de temporal en la región centro del estado de Tlaxcala. Este investigador definió cuatro agrosistemas con base en el método de sistemas de producción, pero no proporcionó información respecto a su ubicación geográfica en el estado. Aveldaño (1979) propuso una metodología que permitiese estratificar el ambiente en unidades de producción reduciendo la variación de los factores inmodificables de la producción y así lograr una mayor precisión en la generación de tecnología para maíz de temporal. Mediante el método de agrupación de agrosistemas, con criterio agronómico, determinó tres agrosistemas en el Estado, con base en la profundidad y pendiente del suelo, posición fisiográfica, precipitación, temperatura y fecha de siembra. En su trabajo no consideró la fertilidad del suelo como un criterio para la clasificación de los agrosistemas, ni el manejo que el agricultor le da a su terreno.

En un estudio para determinar la dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada mediante el uso de un modelo simplificado, Flores (1988) identificó 19 unidades edafoclimáticas en el estado de Tlaxcala con base a un mapa de isoyetas al 80% de probabilidad del déficit evapotranspirativo, auxiliado de un mapa de series de suelo que incluía la profundidad del suelo. Posteriormente, Legorreta y María (1994) realizaron una estratificación del estado de Tlaxcala, mediante un modelo simplificado en áreas de potencial productivo para maíz, a partir de bases de datos de clima (temperatura, precipitación) y suelo (profundidad) y la altitud. Este trabajo fue complementado por María y Volke (1999). Para ello usaron una función de producción que consideró los factores, de suelo, clima y manejo que afectan el rendimiento del maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala.

Para poder generar recomendaciones de fertilización en sitios específicos y extrapolarlas para otras regiones es necesario poder identificar patrones geográficos de suelo y clima. Desafortunadamente, la cartografía del estado de Tlaxcala es limitada y sólo existe información a escala de 1: 250, 000. La información edafológica con mayor precisión, está conformada por ocho cartas a

escala 1:50 000 generadas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y proviene de pozos edafológicos. Desafortunadamente la información es antigua (datan de la década de los 70 del siglo pasado) y en algunos casos, como la escasa información química del suelo, difícilmente se puede considerar vigente. La información sobre variables físicas del suelo aún podría ser factible de analizar, debido a la mayor vigencia de variables como textura, que se modifica poco a corto plazo. A pesar de no ser actual la información, es necesario indicar que, es la única fuente de información que está disponible para el estado.

Respecto a la información climática en el Estado, existen 45 estaciones meteorológicas en Tlaxcala, así como otras 23 en los alrededores del estado, con una antigüedad de alrededor de 30 años, que podrían ser utilizadas para caracterizar el clima de esa entidad. En conjunto con la información edafológica disponible podrían ser tomadas como base para caracterizar las condiciones climático edafológicas en el estado.

En el presente trabajo se realizó una zonificación edafoclimática, enfocada al cultivo del maíz, basada en el análisis multivariado de variables edáficas y climáticas. Se generaron mapas de tipo de suelo, clima y sus combinaciones, como una propuesta para zonificar regiones en el estado que podrían ser tomadas como base para facilitar la extrapolación de los resultados de investigación enfocada a la generación de recomendaciones de manejo, particularmente ensayos de fertilización y productividad de suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la zonificación edáfica del estado de Tlaxcala se utilizó información digital de suelos proveniente de pozos edafológicos que fue proporcionada por personal de INEGI. La única información factible de procesar fue: profundidad del suelo, presencia o ausencia de rocas, o de una capa cementante y espesor del horizonte A.

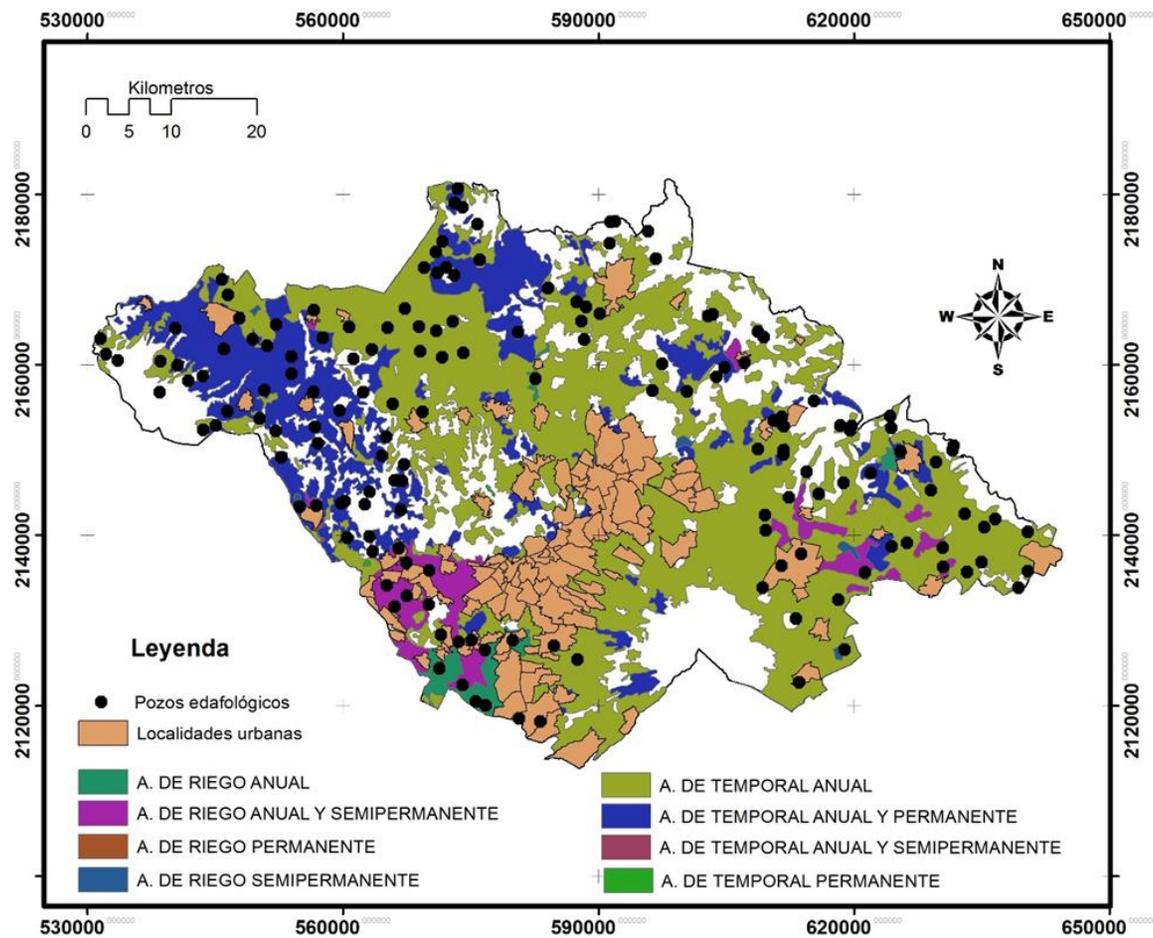


Figura 1. Ubicación de los pozos edafológicos en el estado de Tlaxcala utilizados para la categorización de los tipos de suelo y clasificación de los tipos de agricultura existentes en la entidad. Datos originales proporcionados por Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

La información fue procesada con el software para estadístico SAS v. 9.3 (SAS, 1994). Se aplicó la metodología de aglomeración de K-medias (Pollard, 1981), a fin de establecer categorías a partir de la similitud de las variables evaluadas. Se preparó una base de datos con las coordenadas originales y el tipo de suelo en cada sitio (claves 1, 2 y 3). Con estos valores se generó un mapa de puntos. A partir de este mapa se realizó una interpolación espacial mediante el método de distancia inversa ponderada. Los resultados de la interpolación espacial para todo el estado fueron recategorizados a los valores originales con el fin de definir áreas con tipos de suelo similares. La generación de capas geográficas, la interpolación y la recategorización espacial fueron realizadas mediante el software ArcGis v. 10.2 (ESRI, 2011).

La caracterización del clima se realizó a partir de información proveniente de las estaciones meteorológicas del estado de Tlaxcala, así como de estaciones cercanas de los estados aledaños (estado de México, Puebla e Hidalgo). Se utilizaron datos de 45 estaciones meteorológicas del estado de Tlaxcala y 3, 16 y 4 de los estados de México, Puebla e Hidalgo, respectivamente. En el Cuadro 1 se indican los períodos de tiempo con datos utilizados en el presente análisis. A partir de la temperatura mínima, media y máxima diaria, así como de los valores diarios de precipitación y evaporación se generaron variables nuevas sobre una base mensual y se calcularon los promedios para cada estación para todos los meses del período para el cual hubo datos disponibles (Cuadro 2). Con las coordenadas de las 45 estaciones meteorológicas se realizó una interpolación para todo el estado y para cada una de las 80 variables estimadas. Para tal efecto se utilizó el método de distancia inversa ponderada. Posteriormente, a los 45 puntos con coordenadas conocidas se agregaron 955 puntos ubicados al azar en todo el Estado para tener un total de 1000 (Figura 2).

Cuadro 1. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática del Estado de Tlaxcala, México, Puebla e Hidalgo y periodos de tiempo con datos climatológicos disponibles.

Clave	Nombre de la estación	Estado	Longitud (grados decimales)	Latitud (grados decimales)	Altitud msnm	Año de Inicio	Año Final	Período disponible (años)
29001	Achichapa	Tlaxcala	-98.65	19.55	2800	1966	1977	12
29002	Apizaco	Tlaxcala	-98.13	19.42	2410	1928	2005	70
29003	Atlanga San José	Tlaxcala	-98.20	19.55	2489	1961	2004	44
29005	Cuapiaxtla	Tlaxcala	-97.77	19.29	2440	1962	2004	38
29007	El Carmen	Tlaxcala	-97.64	19.31	2170	1966	2004	36
29008	Estoyito	Tlaxcala	-98.63	19.56	2700	1966	1977	12
29010	Hueyotlipan	Tlaxcala	-98.34	19.47	2545	1900	2005	40
29011	Huamantla	Tlaxcala	-97.91	19.31	2485	1942	2004	62
29012	La Gloria (CFE)	Tlaxcala	-97.98	19.62	2750	1961	1996	36
29014	Limites	Tlaxcala	-98.55	19.53	2680	1967	1977	11
29015	Mazapa	Tlaxcala	-98.56	19.55	2714	1936	1983	48
29016	Nanacamilpa (DGE)	Tlaxcala	-98.53	19.48	2734	1969	2005	7
29019	San Antonio Calpulalapan	Tlaxcala	-98.56	19.55	2615	1969	2005	29
29022	San Buenaventura	Tlaxcala	-98.31	19.60	2532	1964	1987	24
29023	San Cristobal	Tlaxcala	-98.66	19.56	2690	1961	1989	29
29024	Sanctorum	Tlaxcala	-98.45	19.49	2740	1966	2005	33
29025	San Marcos	Tlaxcala	-98.63	19.59	2540	1966	2005	36
29026	Zitlaltepec	Tlaxcala	-97.90	19.20	2370	1966	2002	34
29027	Tocatlán	Tlaxcala	-98.02	19.38	2390	1966	2005	37
29028	Sombbrero	Tlaxcala	-98.65	19.53	2860	1966	1977	12
29029	Temontitla	Tlaxcala	-98.46	19.58	3100	1967	1977	11
29030	Tlaxcala De Xicontecatl	Tlaxcala	-98.24	19.32	2247	1961	2005	45
29032	Tlaxco	Tlaxcala	-98.12	19.59	2530	1943	2005	62
29034	Zoquiapan	Tlaxcala	-98.47	19.58	2496	1966	2005	35
29035	Calpulalpan	Tlaxcala	-98.56	19.58	2520	1943	2005	56
29038	E.T.A. 072 Nativitas	Tlaxcala	-98.15	19.33	2240	1973	1983	11
29039	Escuela Agropecuaria Nan	Tlaxcala	-98.52	19.49	2690	1974	1999	21
29040	Ixtacuixtla	Tlaxcala	-98.36	19.32	2270	1974	2004	31
29041	Tepetitla	Tlaxcala	-98.37	19.26	2245	1974	2005	32
29042	Amamax De Guerrero	Tlaxcala	-98.16	19.34	2320	1975	2004	24
29043	E.T.A. 161 Xocoyucán	Tlaxcala	-98.37	19.30	2220	1975	2005	15
29047	Españita	Tlaxcala	-98.42	19.45	2570	1977	2002	26
29050	Teolocholco	Tlaxcala	-98.18	19.23	2285	1980	2002	18
29051	Toluca De Gpe.	Tlaxcala	-97.95	19.46	2480	1979	2004	26
29052	El Rosario	Tlaxcala	-98.22	19.65	2635	1981	2002	22
29053	Terrenate	Tlaxcala	-97.91	19.47	2600	1981	2005	22
29056	Tenancingo	Tlaxcala	-98.20	19.14	2220	1992	2002	11

Cuadro 1. continuación

Clave	Nombre de la estación	Estado	Longitud (grados decimales)	Latitud (grados decimales)	Altitud msnm	Año de Inicio	Año Final	Período disponible (años)
29151	Altzayanca	Tlaxcala	-97.79	19.42	2410	1985	2001	17
29161	Acxotla Del Monte	Tlaxcala	-98.15	19.23	2382	1990	2004	15
29162	Benito Juárez	Tlaxcala	-98.49	19.58	2500	1988	2002	13
29165	El Epazote	Tlaxcala	-97.95	19.58	2430	1984	2002	19
29166	San Simón	Tlaxcala	-98.22	19.39	2490	1992	2002	11
29169	Zacatelco	Tlaxcala	-98.24	19.21	2208	1994	2002	9
21008	Aquixtla (CFE)	Puebla	-97.93	19.79	2310	1961	2006	46
21037	El Paredón	Puebla	-98.25	19.86	2580	1966	1988	23
21046	Hejotzingo	Puebla	-98.47	19.14	2270	1925	1998	56
21047	Ixtacamaxtitlan (CFE)	Puebla	-97.81	19.62	2175	1954	2006	52
21069	San Antonio Arroyo Priet	Puebla	-97.83	19.54	3140	1952	2005	50
21077	San Luis Atexcac	Puebla	-97.45	19.34	2420	1961	2001	34
21080	San Salvador El Seco	Puebla	-97.66	19.13	2355	1966	2001	36
21119	Libres (SMN)	Puebla	-97.75	19.50	2430	1961	2002	29
21122	Oriental	Puebla	-97.61	19.37	2350	1944	1974	25
21126	Loma Alta (Cfe)	Puebla	-97.99	19.83	2150	1961	2006	43
21130	Los Reyes (CLFC)	Puebla	-98.24	19.80	2650	1969	2002	19
21136	Acajete	Puebla	-97.95	19.11	2430	1942	2001	40
21140	Chignahuapan	Puebla	-98.03	19.83	2260	1974	2005	30
21148	San Miguel Canoa	Puebla	-98.07	19.13	2665	1977	2003	26
21191	Tlahuapan	Puebla	-98.58	19.34	2650	1981	1987	5
21200	Libres (CRP)	Puebla	-97.68	19.46	2380	1982	1988	6
21242	Capulac	Puebla	-97.89	19.75	2730	1997	2001	5
15065	Otumba	México	-98.75	19.70	2349	1961	2005	34
15101	San Miguel Tlaixpan	México	-98.81	19.51	2405	1961	2005	35
15210	San Juan Totolapan	México	-98.72	19.53	2750	1976	2005	22
13002	Apan (DGE)	Hidalgo	-98.44	19.70	2496	1954	2005	48
13046	Laguna De Apan	Hidalgo	-98.48	19.70	2467	1968	1988	20
13085	Presa Tezoyo	Hidalgo	-98.43	19.68	2590	1973	2003	31
13138	Emiliano Zapata	Hidalgo	-98.55	19.65	2490	1982	2005	17

Cuadro 2. Variables climatológicas generadas para la zonificar climáticamente el estado de Tlaxcala.

Variable	Acrónimo
Promedio mensual de la temperatura media diaria.	TMM
Promedio mensual de la temperatura mínima diaria.	TMnM
Promedio mensual de la temperatura máxima diaria.	TMxM
Promedio mensual del rango diario de la temperatura.	RTM
Promedio mensual del número de días con temperatura < 0°C.	DH
Promedio mensual de la precipitación acumulada en cada mes.	PAM
Promedio mensual del número de días con lluvia mayor a la mitad de la evapotranspiración.	MDLET
Promedio mensual del número de días con lluvia mayor a la evapotranspiración.	MDLLUV
Promedio mensual de la evaporación media diaria.	Ev
Promedio mensual de la relación precipitación- evaporación	RPEv

Cada variable fue calculada para cada mes de todos los años disponibles en cada estación meteorológica.
 Se calcularon promedios para los meses de marzo a octubre.
 Se excluyeron en el cálculo valores para meses con datos incompletos.

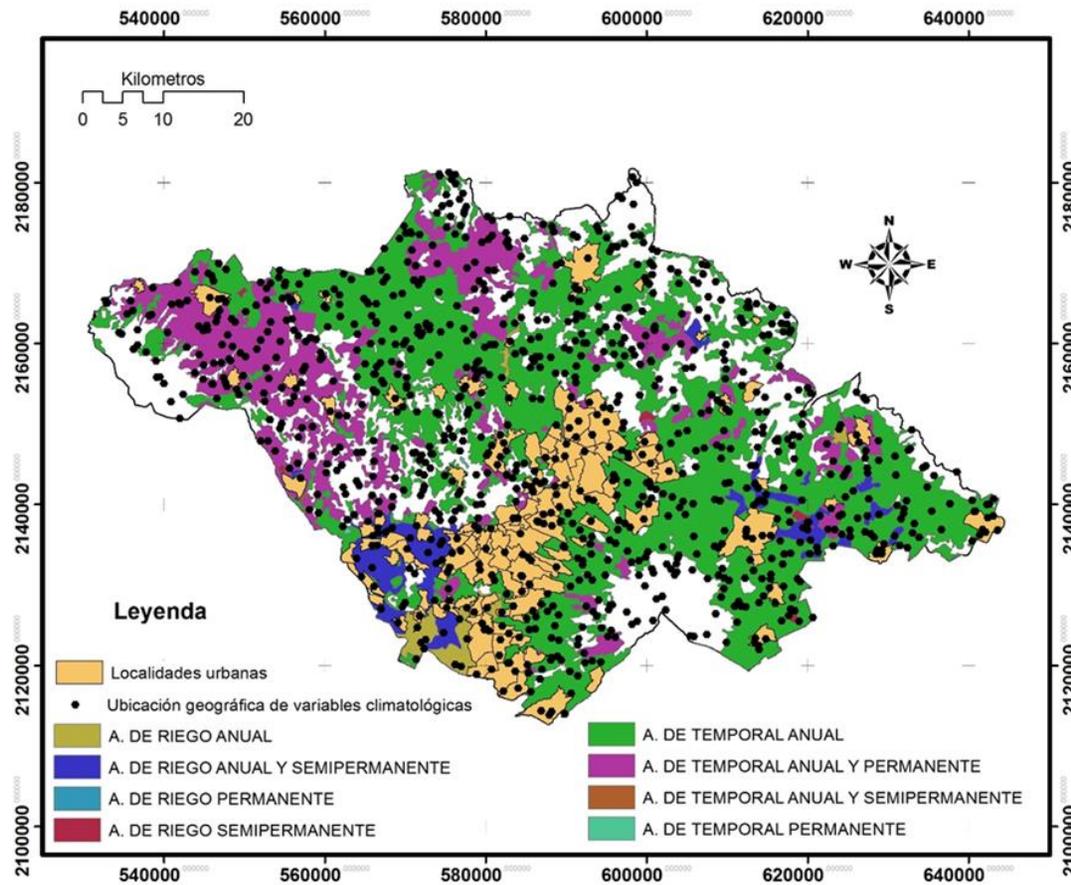


Figura 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas y puntos complementarios con datos climáticos utilizados para la categorización del clima en el estado de Tlaxcala. La capas coloreadas de fondo corresponden a los tipo de agricultura en a la entidad de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

Mediante el comando Extract de ArcGis v. 10.2, se extrajeron para cada variable los valores en cada punto para construir una matriz de datos de 80 columnas con 1000 valores cada una. Con esta base de datos se categorizaron los cuatro patrones principales de clima imperantes en el Estado. En una primera fase se realizó un análisis de componentes principales (Benzécri *et al.*, 1980), a partir del cual se seleccionaron aquellos componentes que abarcaron aproximadamente el 80% de la varianza total. A estos componentes se les aplicó el método de aglomeración de K-medias con cuatro grupos y 50 iteraciones. Para interpretar las diferencias más importantes entre los patrones de clima que representa cada grupo obtenido, se utilizó como criterio el grado de correlación de los componentes con las variables climáticas originales. Se seleccionaron sólo aquellas variables con una correlación lineal ≥ 0.4 y con $P > R \geq 0.01$. De cada variable climática seleccionada (VCS) para cada componente se estimó el valor equivalente al promedio del componente respectivo. Para tal efecto se asumió que el rango del componente es equivalente al rango de la VCS. El valor equivalente a la media del componente principal para cada VCS se estimó mediante interpolación simple.

Una vez definidos los tipos de clima se generó una capa geográfica interpolada para todo el estado de Tlaxcala mediante el mismo procedimiento descrito para la zonificación de suelos. Posteriormente se generó un mapa edafoclimático con la ubicación espacial de todas las combinaciones posibles de suelo y clima existentes en la entidad. Para tal efecto se utilizó el comando Crosstab del programa IDRISI v. Selva.

RESULTADOS

En el Cuadro 3 se indican las características de los tres patrones principales de suelos existentes en el estado de Tlaxcala. Los suelos Tipo 1 se caracterizan por ser los más profundos en la entidad, sin presencia de rocas ni capa de cementación en el horizonte superficial, con el mayor espesor de horizonte A y una textura predominantemente media y aptitud agrícola media. Los suelos Tipo 2 son muy someros, con presencia de rocas, sin capa de cementación, con el horizonte A más delgado (15.4 cm), textura media, y aptitud agrícola media-baja. Los suelos Tipo 3

se caracterizan por ser de profundidad media, con baja posibilidad de presencia de rocas en el horizonte, con una capa de cementación y un horizonte A con espesor promedio de 32.6 cm, con textura predominantemente media y aptitud agrícola

Cuadro 3. Descripción de las variables edáficas de cada tipo¹ de suelo en el estado de Tlaxcala

¹ Tipo de suelo	Profundidad (cm)	² Presencia de rocas	³ Cementación	Espesor del horizonte A (cm)	⁴ Textura
1	98.1	0	0	36.2	57.1
2	27.5	1	0	15.4	56.5
3	52.9	0	1	32.6	62.0

¹ Clasificación realizada con base en las variables indicadas, mediante el método de K-medias.

²Ausente = 0· Presente =1.

³Ausente = 0· Presente =1.

⁴33 = gruesa, 66 = media, 100 = fina.

En la Figura 3 se indica la distribución de los tres tipos de suelo en el estado de Tlaxcala. El Tipo de suelo 1 (TS1), tiene una superficie estimada de 195,505 ha, con presencia predominante en la región sureste del estado y una menor distribución en las regiones suroeste y noroeste. El Tipo de suelo 2 (TS2) tiene una superficie estimada de 134,150 ha, con presencia predominante en la región centro del estado. El Tipo de suelo 3 presentó la menor superficie respecto a TS1 y TS2, con 69,825 ha y se distribuye principalmente en la región noroeste de la entidad.

En el Cuadro 4 se reportan los diez primeros componentes principales generados a partir de las 80 variables climatológicas empleadas para la zonificación climática del estado de Tlaxcala. Estos componentes abarcan el 82% de la varianza total.

En los Cuadros 5, 6 y 7 se indican las variables climáticas que resultaron correlacionadas linealmente con los tres primeros componentes principales y los valores equivalentes a la media de cada componente.

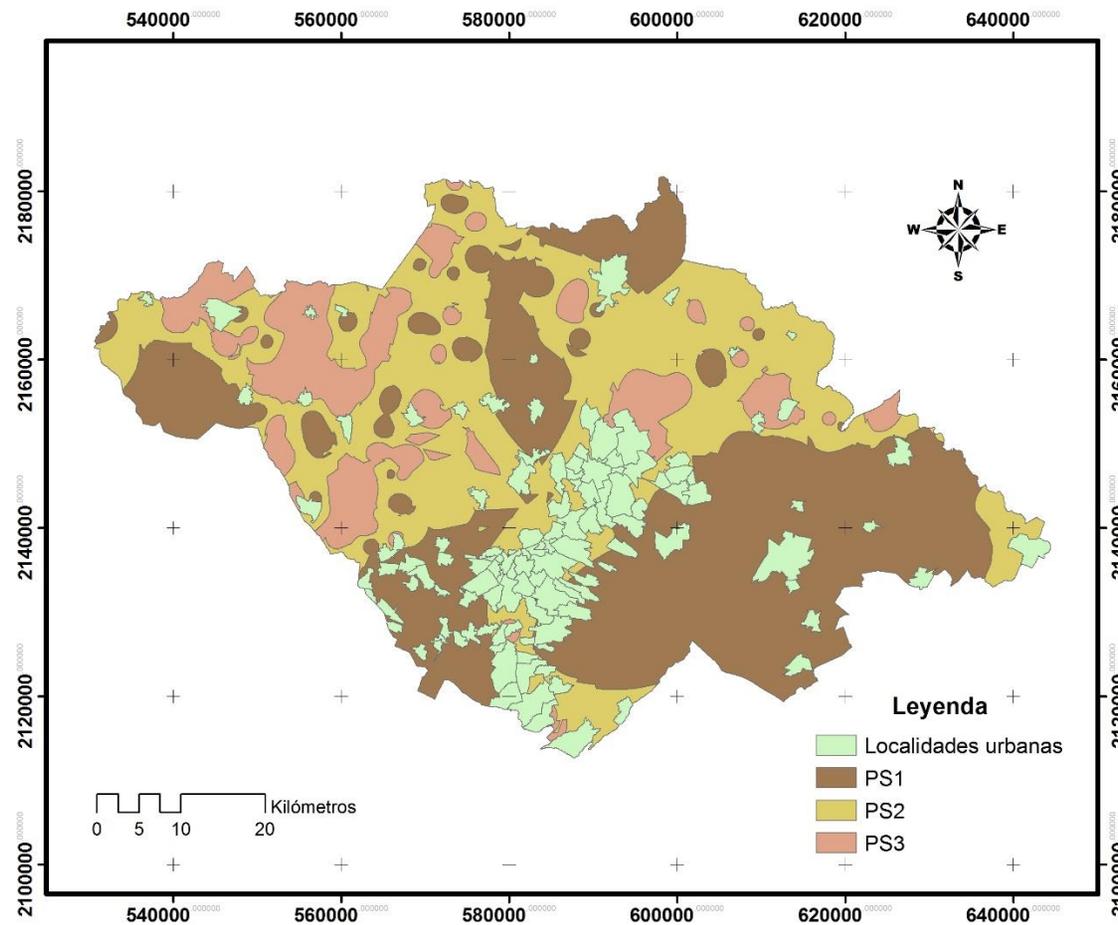


Figura 3. Distribución geográfica de los Tipos de suelos en el estado de Tlaxcala determinados mediante categorización a partir de las variables: Profundidad, presencia/ausencia de rocas, presencia/ausencia de capa cementante, espesor del horizonte A y textura.

Cuadro 4. Componentes principales y proporción de varianza que representan de la matriz de variables climatológicas del estado de Tlaxcala.

Componente	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1	21.4660900	12.6512884	0.2683	0.2683
2	8.8148017	0.4771007	0.1102	0.3785
3	8.3377010	1.4481294	0.1042	0.4827
4	6.8895716	1.4450761	0.0861	0.5689
5	5.4444955	0.8478452	0.0681	0.6369
6	4.5966503	1.1434629	0.0575	0.6944
7	3.4531873	0.5295613	0.0432	0.7375
8	2.9236260	1.0859170	0.0365	0.7741
9	1.8377091	0.0227160	0.0230	0.7970
10	1.8149931	0.3040211	0.0227	0.8197

Cuadro 5. Valores de las variables climatológicas del estado de Tlaxcala correlacionadas con el Componente Principal 1, equivalentes a la media de este para cada grupo climático categorizado mediante el método de K-medias.

¹ Variable	Patrones de clima				
	r	1	2	3	4
² PAM3	-0.60	14.2	15.0	11.0	17.4
PAM4	-0.44	58.6	62.3	42.8	74.4
PAM6	0.50	141.6	137.2	102.6	122.6
PAM7	0.37	144.4	138.8	94.1	120.0
PAM8	0.55	177.0	168.9	104.9	142.0
PAM9	0.58	170.0	162.9	107.0	139.4
PAM10	0.44	75.6	72.2	45.8	61.1
³ RTM3	0.60	18.4	18.0	14.8	16.6
RTM4	0.69	17.4	17.0	13.9	15.7
RTM5	0.71	16.5	16.1	12.9	14.8
RTM6	0.47	14.0	13.6	10.5	12.3
RTM7	0.62	13.8	13.3	10.0	11.9
RTM8	0.59	14.3	13.8	10.4	12.4
RTM9	0.47	13.3	12.9	9.6	11.5
RTM10	0.48	14.7	14.3	11.0	12.9
⁴ TMxM3	0.95	24.2	23.9	21.9	23.1
TMxM4	0.97	25.3	24.9	22.3	23.8
TMxM5	0.99	25.5	25.1	22.2	23.9
TMxM6	0.97	22.8	22.4	19.5	21.2
TMxM7	0.97	21.8	21.4	18.2	20.1
TMxM8	0.96	21.6	21.2	18.1	19.9
TMxM9	0.94	21.3	20.9	17.6	19.5
TMxM10	0.93	21.2	20.8	17.6	19.4
⁵ TMM3	0.81	14.2	14.0	12.2	13.2
TMM4	0.88	16.0	15.7	13.8	14.9
TMM5	0.93	16.9	16.6	14.6	15.8
TMM6	0.97	16.0	15.7	13.5	14.8
TMM7	0.96	15.0	14.7	12.4	13.7
TMM8	0.96	14.9	14.6	12.4	13.7
TMM9	0.96	14.9	14.6	12.2	13.6
TMM10	0.96	14.2	14.0	11.7	13.0
⁶ TMnM4	0.44	6.8	6.5	4.4	5.6
TMnM5	0.57	7.7	7.4	5.4	6.6
TMnM6	0.71	8.7	8.5	6.6	7.7
TMnM7	0.69	8.0	7.8	6.1	7.1
TMnM8	0.70	7.9	7.7	5.8	6.9
TMnM9	0.72	8.0	7.8	5.9	7.0

¹Clasificación realizada con base en las variables indicadas, mediante el análisis de componentes principales

²PAM= Promedio mensual de la precipitación acumulada en cada mes.(3-10: marzo a octubre)

³RTM= Promedio mensual del rango diario de la temperatura. (3-10: marzo a octubre)

⁴TMxM= Promedio mensual de la temperatura máxima diaria (3-10: marzo a octubre)

⁵TMM= Promedio mensual de la temperatura media diaria.(3-10: marzo a octubre)

⁶TMnM= Promedio mensual de la temperatura mínima diaria (4-9: abril a septiembre)

Cuadro 6. Valores de las variables climatológicas del estado de Tlaxcala correlacionadas con el Componente Principal 2, equivalentes a la media de este para cada grupo climático categorizado mediante el método de K-medias.

¹ Variable	Patrones de clima				
	r	1	2	3	4
² RTM3	0.59	18.8	17.0	17.7	17.9
RTM4	0.62	17.8	16.0	16.7	16.9
RTM5	0.65	17.0	15.1	15.8	16.0
RTM6	0.79	14.4	12.6	13.3	13.5
RTM7	0.68	14.2	12.3	13.0	13.2
RTM8	0.73	14.7	12.7	13.5	13.7
RTM9	0.81	13.7	11.8	12.6	12.8
RTM10	0.82	15.1	13.2	14.0	14.2

¹Clasificación realizada con base en las variables indicadas, mediante el análisis de componentes principales

²RTM= Promedio mensual del rango diario de la temperatura (3-10: marzo a octubre)

Cuadro 7. Valores de las variables climatológicas del estado de Tlaxcala correlacionadas con el Componente Principal 3, equivalentes a la media de este para cada grupo climático categorizado mediante el método de K-medias.

¹ Variable	Patrones de clima				
	r	1	2	3	4
² RPEv3	-0.58	0.4	0.3	0.3	0.3
RPEv 4	-0.52	0.6	0.5	0.5	0.6
RPEv 5	-0.60	0.7	0.7	0.7	0.7
RPEv 6	-0.80	2.3	2.0	2.0	2.1
RPEv 7	-0.67	1.8	1.6	1.5	1.6
RPEv 8	-0.49	1.7	1.6	1.5	1.6
RPEv 9	-0.58	2.0	1.8	1.8	1.9
RPEv 10	-0.78	1.0	0.9	0.9	0.9
³ Ev3	0.54	6.0	5.3	5.2	5.3
Ev4	0.80	5.9	5.2	5.2	5.2
Ev5	0.67	5.6	5.0	5.0	5.0
Ev6	0.86	4.8	4.1	4.1	4.2
Ev7	0.83	4.5	3.8	3.7	3.8
Ev8	0.84	4.2	3.5	3.5	3.6
Ev9	0.85	4.1	3.3	3.3	3.4
Ev10	0.77	4.5	3.5	3.5	3.6

¹Clasificación realizada con base en las variables indicadas, mediante el análisis de componentes principales

²RPEv= Promedio mensual de la relación precipitación-evaporación (3-10: marzo a octubre)

³Ev= Promedio mensual de la evaporación media diaria (3-10: marzo a octubre)

En el tipo de clima (PC) 1 el promedio de la precipitación acumulada mensual (PAM) se caracteriza por presentar dos patrones contrastantes con respecto a los otros PC. En el primer patrón, los meses de marzo, abril y octubre tienen valores de precipitación de medianos a bajos, respecto a los tres restantes PC. El segundo patrón consiste en precipitaciones más altas que en los otros tipos de clima para los meses de mayo a septiembre. Los valores promedio mensuales del rango diario de temperatura (RTM), de la temperatura máxima diaria (TMxM), de la media diaria (TMM), de la mínima diaria (TMnM) y de la evaporación diaria (Ev) en todos los meses que abarca el ciclo del cultivo del maíz en el estado (abril a octubre) son más altos para el PC1 que para el resto de tipos climáticos (Cuadros 5 al 7). En el caso del promedio mensual de la relación diaria entre precipitación y evaporación, el PC1 tiene los valores más altos en todo el período, con excepción del mes de abril, donde es igual al PC4, y el mes de mayo, donde todos los tipos climáticos tienen un mismo valor.

En el PC 2 el promedio de la precipitación acumulada mensual (PAM) se caracteriza por tener valores mayores a los del PC 1 en los meses de marzo, abril y octubre, y menores que este PC en los meses de junio a septiembre. Con respecto a los PC 3 y 4, los meses de marzo y abril tienen valores intermedios, mientras que para el resto del ciclo los valores de PAM son más altos. Los valores promedio mensuales de la temperatura máxima diaria (TMxM), la media diaria (TMM), mínima diaria (TMnM) en todos los meses que abarca el ciclo del cultivo del maíz en el Estado (abril a octubre) son menores a los del PC 1 pero más altos que los tipos 3 y 4. (Cuadros 5). Por el contrario, el promedio mensual del rango diario de temperatura (RTM) en el PC 2 es el más estrecho de los cuatro PC (Cuadro 6). En el caso del promedio mensual de la relación diaria entre precipitación y evaporación (RPEv) y el promedio mensual de la evaporación media (Ev), el PC 2 tiene valores inferiores al PC 1 y similares a los PC 3 y PC 4 (Cuadro 7).

En el tipo de clima PC 3, el promedio de la precipitación acumulada mensual (PAM) y los valores promedio mensuales de temperatura máxima diaria (TMxM), media

diaria (TMM) y mínima diaria (TMnM) en todos los meses de referencia que abarca el ciclo del cultivo del maíz en el estado son menores que el resto de PC (Cuadro 5). El rango promedio de temperatura (RTM) en este PC es menor que en los PC 1 y 4, pero más alto que en el PC 2 (Cuadro 6). En el caso del promedio mensual de la relación diaria entre precipitación y evaporación (RPEv) y el promedio mensual de la evaporación media (Ev), en todo el ciclo del cultivo, el PC 3 tiene valores inferiores al PC pero muy similares a los PC 2 y 4 (Cuadro 7).

En el tipo de clima (PC) 4, el promedio de la precipitación acumulada mensual (PAM) en los meses de marzo y abril es el más alto de los cuatro tipos climáticos, pero en los meses restantes tiene valores inferiores a los PC 1 y 2 y superiores a los del PC 3 (Cuadro 5). Los valores promedio mensuales de la temperatura máxima diaria (TMxM), media diaria (TMM) y mínima diaria (TMnM) en todos los meses que abarca el ciclo del cultivo del maíz en el Estado (abril a octubre) más bajos que los PC 1 y 2 pero más altos que en el PC 3 (Cuadro 5). El promedio del rango diario de temperatura en el PC 4 es inferior al PC 1 pero más alto que en los PC 2 y 3 (Cuadro 6). En el caso del promedio mensual de la relación diaria entre precipitación y evaporación (RPEv) y el promedio mensual de la evaporación media (Ev), el PC 4 tiene valores en general más bajos que en el PC 1 pero muy similares a los PC 2 y 3 (Cuadro 7).

La distribución geográfica de los cuatro Tipos de clima en el Estado se muestra en la Figura 4. La superficie estimada del PC 1 es de 2,662 ha con una presencia muy delimitada en tres secciones de la región noroeste del Estado. La superficie estimada del PC 2 es de 182,059 ha, que se distribuye en todo el estado de Tlaxcala. La superficie estimada del PC 3 es de 193,129 ha, con una distribución en todo el Estado. La superficie estimada de PC 4 es de 21,628 ha, con distribución intercalada entre los PC 2 y 3.

En la Figura 5 se muestra la zonificación edafoclimática del estado de Tlaxcala, resultado de la combinación de los tipos de suelo y clima derivados de este trabajo.

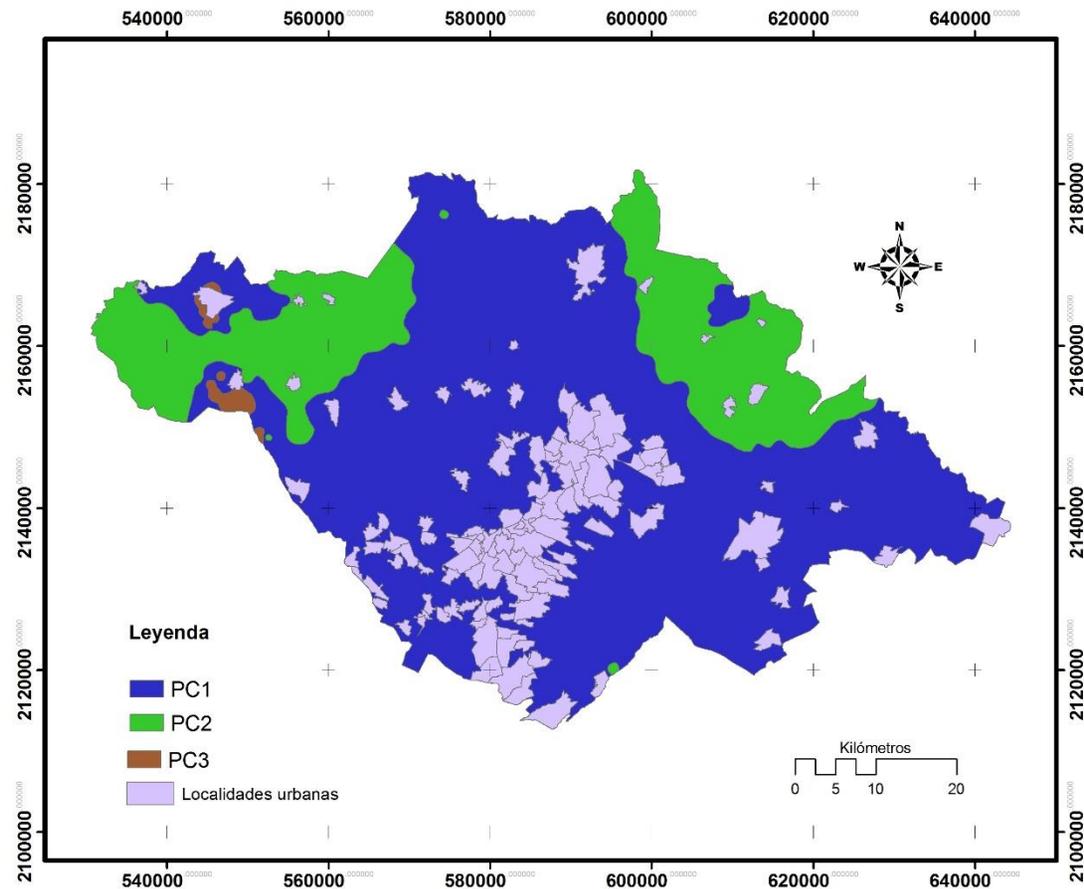


Figura 4. Distribución geográfica de los tipos de clima en el estado de Tlaxcala, determinados mediante categorización a partir del análisis de componentes principales de 80 variables climáticas derivadas de los valores diarios de temperaturas mínimas, máximas y medias, precipitación pluvial y evaporación. PC = Patrones de clima.

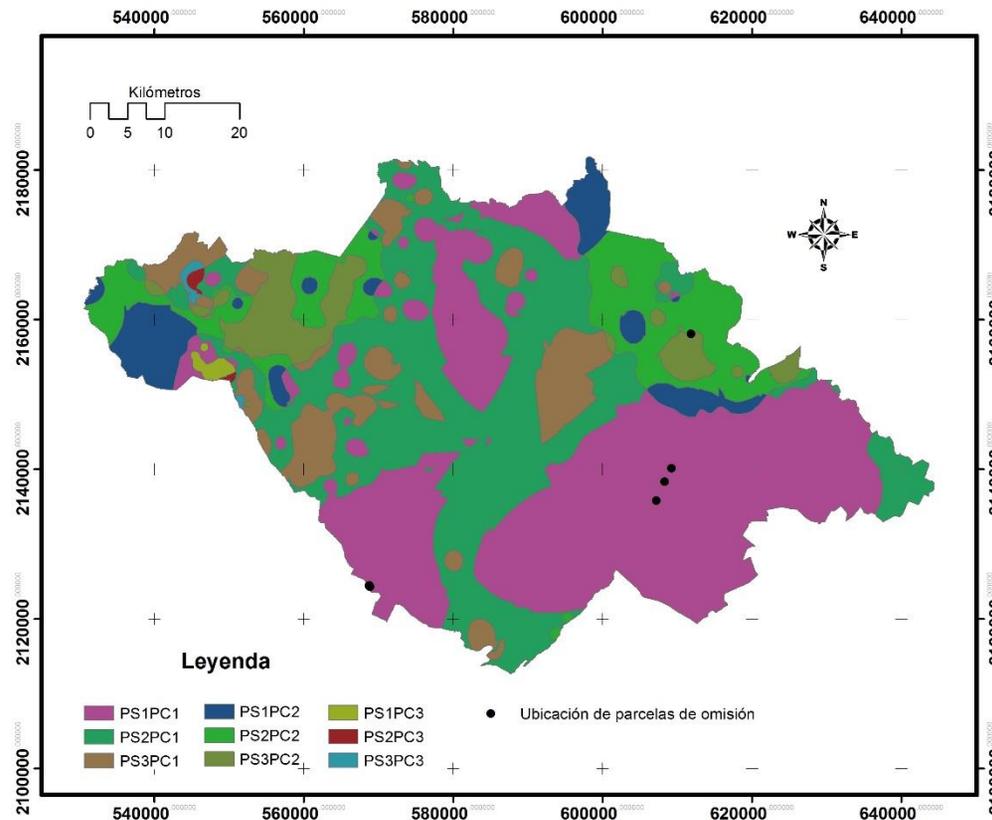


Figura 5. Zonificación edafoclimática del estado de Tlaxcala realizada con base en la combinación de los tipo de suelo y clima (ver Figuras 3 y 4) categorizados mediante el método de aglomeración de K-medias. PSPC = Patrones de suelo y Patrones de clima. Los puntos en el mapa indican la ubicación de los seis experimentos omisión realizados en la presente tesis. En punto de la parte sur del estado se realizaron dos experimentos.

El Cuadro 8 indica en qué zonas están ubicadas las parcelas de omisión cuyos resultados son descritos en otras secciones de esta tesis. En el municipio de Huamantla, tres parcelas (POH2, POH3 y POH4) se establecieron en la misma zona edafoclimática PS1PC1. La parcela POH1 se instaló en la zona edafoclimática PS3PC2 y la parcela identificada como POH3, se localizó en la zona edafoclimática TS2PC3. En el municipio de Santiago Michac, ambas parcelas de omisión se instalaron en la misma zona edafoclimática PS1PC4 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Identificación y ubicación de parcelas experimentales de omisión en el año 2012, localizadas en los municipios de Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala.

Productor	Clave de Identificación	Zona Edafoclimática
Plutarco Flores Luna	¹ POH1	² PS3PC2
Francisco Huerta	POH2	PS1PC4
Francisco Huerta	POH3	PS1PC4
Guadalupe García	POH4	PS1PC4
Filemón Sartilla Vázquez	POSM1	PS1PC4
Filemón Sartilla Vázquez	POSM2	PS1PC4

¹POH= Parcela de omisión. ²TS= Tipo de suelos y

²TS= Tipo de suelo. PC=Tipo de clima

La combinación del patrón de suelo 1 (PS1) y del patrón de clima 1, constituye la zona edafoclimática PS1PC1, la cual tiene una superficie estimada de 159,408 ha y se ubica principalmente en la región este del Estado. La combinación del PS2 y PC1 delimitó una superficie de 116,068 ha, con una distribución en la región centro de Tlaxcala. La combinación PS3PC1, delimitó una superficie de 35,035 ha con una distribución principalmente en la región noroeste del Estado. La combinación de PS1 y PC2 identificó una superficie de 21,429 ha distribuidas en la región norte y oeste de Tlaxcala. La combinación de PS2 y PC2 determinó una superficie de 43,350 ha distribuidas en la región norte. La combinación PS3 y PC2 identificó una superficie de 21,194 ha distribuidas en la región oeste y este. La combinación PS1 y PC3 delimitó una superficie de 1,377 ha, distribuidas en la región este de Tlaxcala. La combinación PS2 y PC3 delimitó una superficie de 679 ha, distribuidas en puntos muy marcados de la región oeste. La combinación de PS2 y PC3 delimitó una superficie de 860 ha, distribuidas en una zona muy marcada de la región oeste.

DISCUSIÓN

La identificación de las condiciones edafoclimáticas en las cuales se instalaron las parcelas de omisión contribuirá a explicar la variabilidad en los rendimientos obtenidos, producto no necesariamente de los tratamientos de fertilización evaluados, sino de la interacción de éstos con las condiciones de suelo y clima de cada zona edafoclimática. Es importante destacar que la decisión de seleccionar los sitios experimentales correspondió al supuesto de evaluar dos agroecosistemas diferentes (Huamantla y Santiago Michac). Sin embargo, a partir de los resultados de la zonificación edafoclimática presentados en este capítulo, se aprecia que existieron diferencias en clima y suelo en dos parcelas de las cuatro instaladas en Huamantla, lo que posiblemente contribuye a explicar la diferencia en rendimientos.

Aunque los tres tipos de suelo identificados en el presente trabajo tienen en general una superficie relativamente similar en las regiones agrícolas del estado de Tlaxcala, de los patrones de clima antes mencionados, los tipos 2 y 3 son los predominantes en toda la entidad. La clasificación con base al método de K-medias implica una categorización por distancia ponderada definida con base en el número de conglomerados que el investigador decida (Pollard, 1981). Esto tiene repercusiones en la magnitud de las diferencias entre grupos. En nuestro caso fueron evidentes los contrastes entre los patrones climáticos 1 y 3, mientras que los demás mostraron características mixtas. En el presente documento, por razones de brevedad, solo se han descrito patrones de comportamiento de variables climáticas asociados a los componentes principales 1 a 3. Es posible que en el análisis del comportamiento de variables asociadas a los componentes 4 a 10 se pudiesen identificar variaciones climáticas que refuercen la diferenciación entre los tipos de clima antes descritos.

Patrones de mayor o menor precipitación, evaporación y temperatura como los identificados en determinados meses podrían tener repercusión en etapas fenológicas específicas del cultivo. Por ejemplo bajos promedios en los meses de marzo y abril podrían indicar limitaciones para la emergencia y desarrollo vegetativo

inicial, mientras que variaciones en meses subsecuentes pueden tener implicaciones en las fases de floración y llenado de grano. La categorización propuesta en esta parte de la tesis puede ser utilizada como una base para identificar patrones de comportamiento del cultivo de maíz en el estado. Aunque no fue posible incluir datos químicos de los suelos, ni datos de ocurrencia de granizo, las características generales que diferencian los tipos de suelo y clima propuestos en este análisis podrían ser un punto de partida para identificar contrastes en rendimiento y patrones fenológicos de los genotipos de maíz usados regularmente en esas áreas. Un esquema de clasificación como el empleado en esta investigación podría también ayudar a dirigir esfuerzos de investigación al facilitar la ubicación de las parcelas experimentales en tipos contrastantes de suelo y clima, tanto en ensayos de fertilización como en la prueba y evaluación de genotipos de maíz en el estado. Por las características contrastantes de los tipos de suelos en profundidad, espesor del horizonte y ocurrencia de características físicas limitativas para el laboreo, la clasificación propuesta podría también ser tomada como base para la definición o identificación de prácticas apropiadas de laboreo del suelo para cada zona.

REFERENCIAS

- Aveldaño Salazar, Rodrigo. (1979). "El agrosistema, su definición y relación con la precisión en la generación de tecnologías en agricultura de temporal. Evaluación de cuatro métodos para definir agrosistemas en los llanos de Huamantla, Tlaxcala". Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría en Ciencias.
- Benzécri, J. et collaborateurs (1980): L'analyse des donnees. 3rd ed.Vol. 1, París.

- ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Flores Márgez, Pedro. (1988). “Determinación de dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada en el estado de Tlaxcala mediante un modelo simplificado”. Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- Flores, M.; Araujo, R. y Betancourt, E. 2000. Vulnerabilidad de las zonas potencialmente aptas para maíz de temporal en México ante el cambio climático. *In: México: una visión hacia el Siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país.* Gay, C. (ed.). INE-UNAM-US. México, D. F. 103-118 pp.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1993. Carta de uso de suelo y vegetación. Datos vectoriales escala 1:250 000 serie V.
- María, Andrés y Volke Víctor. (1999).”Estratificación del potencial productivo del maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala”, en *Terra Latinoamérica*, 17, pp. 131-138.
- Morari, F., Castrignanò, A., Pagliarin, C. 2009. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*. 68, 97–107.
- Pollard, D. 1981. Strong consistency of K-means clustering. *The annals of statistics*. Vol 9 (1): 135-140.
- Pronóstico Agroclimático Tlaxcala (PAT). 2010. Instituto Nacional de Investigación Forestal Agropecuaria y Forestal (INIFAP)
- Reyes, C. P. 1990. El maíz y su cultivo. Ed. A. G. T. S. A. D. F. México. 470 p.
- SAS Institute, 1994. SAS User’s Guide. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2012) Cierre de la Producción Agrícola por Estado. SIAP-SAGARPA. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/>

- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant Physiology. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts. 764 p
- Turrent, F,A, Wise, A.T. y Garvey, E. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz en México. Mexican rural development research reports. Reporte 24.
- United Nations Organization for Food and Agriculture (FAO). 2011. ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Versión 1.0.AGLS. FAO. Rome, Italy. (consultado febrero, 2011). <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=1382>.
- Villalpando Ibarra, José. (1975). “Desarrollo de un método para obtener ecuaciones empíricas generalizadas del rendimiento en una región agrícola, para uso de diagnóstico. Evaluación de la capacidad de diagnóstico de varios métodos en una región del estado de Tlaxcala en el que cultiva maíz bajo temporal”. Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.

EXPERIMENTOS EXPLORATORIOS DE LA FERTILIDAD DE SUELOS CON PARCELAS DE OMISIÓN DE MAÍZ EN TLAXCALA

MARIANA M. SÁNCHEZ ROLDÁN¹, ANDRÉS MARIA RAMÍREZ² CLAUDIA I. HIDALGO MORENO³, REMIGIO GUZMÁN PLAZOLA⁴, HERMILIO NAVARRO GARZA⁵ y JORGE D. ETCHEVERS BARRA³

¹Estudiante de doctorado en Edafología, Colegio de Postgraduados

² El Colegio de Tlaxcala, Tlaxcala

³ Colegio de Posgraduados, Edafología

⁴Colegio Postgraduados, Agroecología

⁵Colegio de Postgraduados, Desarrollo Rural.

RESUMEN

El maíz es reconocido a nivel mundial como uno de los cereales de mayor importancia, superado solamente por el arroz y el trigo (Muthukumar *et al.*, 2005). En el caso de México, la superficie destinada para su siembra es de aproximadamente 8 millones de ha anuales, de las cuales 6.5 millones se establecen en condiciones de temporal y 1.5 millones de ha en condiciones de riego. Las siembras predominantes en el país corresponden a las de temporal, que son mayoritariamente cultivadas en pequeñas unidades de producción; por tanto, el factor inmodificable y limitante es el agua. Sin embargo, en las mismas condiciones de temporal, un factor que si es modificable, es el uso de fertilizantes. El objetivo de la investigación fue establecer en dos agroecosistemas del estado de Tlaxcala, parcelas de omisión con la finalidad de identificar qué elementos nutricionales pudiesen estar limitando los rendimientos en ellos.

Palabras clave: Fertilizantes, maíz, rendimientos, pequeños productores.

ABSTRACT

Maize is recognized around the world as one of the most important cereal crops, behind rice and wheat (Muthukumar *et al.*, 2005). In the case of Mexico, the surface area destined to maize growing is approximately 8 million ha yearly, of which, 6.5 million are established under rainfed conditions, and 1.5 ha are irrigated. The predominant crops in the country are rainfed and mostly cultivated in small production units; therefore, the unchangeable and limiting factor is water. Nevertheless, under the same rainfed conditions, one factor that is modifiable is the use of fertilizers. The objective of this research was to establish omission plots in two agroecosystems in Tlaxcala state in order to identify which nutritional elements might be limiting their yield.

Key words: fertilizers, maize, yields, small farmers.

INTRODUCCIÓN

El recurso suelo es finito y no renovable. Es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para la producción agrícola. La mayoría de las tierras consideradas con potencial para ser cultivadas ya han sido usadas. El resto de éstas se localizan en áreas inaccesibles o en regiones ecológicamente sensibles, por lo que no deberían ser explotadas. Futuros incrementos en la producción de alimentos tendrán que provenir de la intensificación de áreas cultivables existentes. El incremento y mantenimiento de la productividad de esos terrenos es esencial para el abastecimiento de las necesidades básicas de alimentación de una población en constante crecimiento (Lal y Stewart, 1995) y debe hacerse de una manera sustentable. En la actualidad, las zonas agrícolas, particularmente las mejores tierras agrícolas (los cinturones hortícolas y lecheros de las ciudades) empiezan a desaparecer por el crecimiento de las manchas urbanas (Lal y Stewart, 1995).

Un aspecto relacionado con la afectación a los terrenos por la actividad agrícola, es la degradación del suelo, que ocurre como consecuencia de diversos factores. Se entiende por degradación de suelo, aquellos procesos inducidos por los seres humanos que disminuyen la capacidad actual y la futura de éste para sostener la vida (Oldeman, 1989). La degradación está relacionada con el régimen climático, las condiciones geomorfológicas, las condiciones intrínsecas de los suelos, el uso de insumos externos en cantidades por sobre las requeridas y sobre todo por la deforestación, el establecimiento de sistemas agrícolas inapropiados y el impacto que causan las ausencias de políticas públicas para preservar el medio ambiente. La degradación del suelo conduce eventualmente a la disminución de la fertilidad del suelo, misma que si no es atendida, desencadenará un mayor número de suelos infértiles. La degradación es mayor cuando junto a las medidas de optimización, no se toman las medidas adecuadas para prevenirlas.

La optimización del sistema de producción en función de la productividad agrícola, requiere considerar cuatro variables, sin importar la extensión de superficie del productor: (a) un sistema agrícola mejorado, entendiéndose como tal una

combinación de insumos y prácticas que no impliquen un riesgo económico para el productor; (b) capacitación al productor, es decir, la demostración en campo de aquellas prácticas que permitan optimizar al sistema; (c) provisión oportuna de insumos; y, (d) la disponibilidad de mercados (Wortman y Cummings (1978).

Con respecto a los insumos externos, específicamente el uso de fertilizantes inorgánicos, es una variable importante si se desea mejorar el rendimiento de un cultivo, aunque éste es tan sólo una de diversas entradas al sistema de producción.

El uso de fertilizantes para atender la nutrición mineral de manera adecuada, resulta entre otros factores, en la promoción del desarrollo del cultivo, asegurando que los procesos internos se realicen y se concluya la estación de crecimiento del cultivo. Particularmente, aquellos elementos esenciales que pudiesen encontrarse en déficit en el suelo y la planta deben recibirlos a través de adiciones externas.

Es importante resaltar que el uso de fertilizantes deberá corresponder a la particularidad de cada agroecosistema -entendido como un ecosistema modificado en menor o mayor grado por el hombre para la utilización de los recursos naturales en los procesos de producción agrícola (Hernández, 1977)- y no debe ser una receta generalizada para una zona. La aplicación de fertilizantes debe complementar lo que el suelo no puede proporcionar en forma natural a un cultivo. Esto es lo que se llama recomendaciones sitio específicas, que contrastan con las generalizadas. El proceso de fertilización no ha obedecido, por lo general, a las verdaderas necesidades del cultivo, más bien ha dependido del poder adquisitivo del productor, de su disponibilidad en el mercado, de las recomendaciones realizadas por técnicos y vendedores de fertilizantes y no necesariamente a la lógica de la relación entre la demanda del cultivo y la capacidad de suministro de nutrientes por el suelo. En la determinación de esta última se puede recibir cierta ayuda del análisis químico del suelo, pero existen limitaciones que impiden en el país que este método pueda ser utilizado extensivamente al carecer de información básica preliminar que se requiere para este propósito.

En cuanto al cultivo del maíz en México, alrededor de 60% de las unidades de producción poseen menos de cinco hectáreas, dedicadas fundamentalmente a la producción de granos básicos (Cortés y Turrent, 2012). El maíz se siembra en aproximadamente 8 millones de hectáreas cada año, de las cuales 1.5 millones son de riego y 6.5 millones se ubican en zonas con condiciones de temporal. Predominantemente, la tierra de temporal, es cultivada en pequeñas unidades de producción que aplican sistemas tradicionales y de estas pequeñas unidades de producción proviene la mayor proporción de la producción nacional de maíz (Turrent *et al.*, 2012) donde se aplican fertilizantes, cuando se aplican, en función del conocimiento empírico del productor o recomendaciones generales proveniente de servicios del Estado o de los distribuidores de estos productos.

Específicamente en Tlaxcala, el uso de fertilizantes se ha establecido tradicionalmente con base en los resultados de la experimentación de campo realizada en el pasado, que midió el efecto de dosis crecientes de fertilizantes en el desempeño del cultivo. Dada la gran variabilidad espacial (tipos de suelo y manejos diferentes) y a la variabilidad temporal (cantidad de agua, distribución de las lluvias y cantidad que se almacena en el suelo) el planteamiento tradicional de la experiencia empírica para formular recomendaciones, obliga a que deba existir una intensa cobertura experimental de la superficie dedicada a los distintos cultivos con experimentos para obtener resultados con un mínimo de precisión para abarcar la gran variabilidad del clima, suelo y manejo (Rodríguez, 1990). Este es el llamado método empírico, que requiere de largos años de experimentación para alcanzar una precisión aceptable y su costo es elevado.

Debido al tiempo y costo del uso del método empírico, a finales de la década de los 70 surgen modelos conocidos como racionales o sistémicos, los cuales generan recomendaciones de fertilización a partir del uso de postulados de fisiología vegetal, conocimientos en química de suelos y la experiencia agronómica.

El enfoque para generar recomendaciones de fertilización a que se hace referencia surgió de la necesidad de dar respuesta al problema que planteaba la generación de normas de fertilización empleando una aproximación de bajo costo (Ethevers *et*

al., 1991; Rodríguez, 1990). La generación con este enfoque se logra valiéndose de estudios experimentales previos y de investigaciones básicas dentro de los campos de la fisiología y nutrición vegetal, físico y química de los suelos. Aunque su generación pudiese parecer compleja, y de hecho requiere de un conocimiento superior del sistema suelo-planta-clima, la operación, una vez formulada, es relativamente simple. Un enfoque simplificado para generar dosis de fertilización para maíz y cebada en el estado de Tlaxcala, México, fue propuesto por Rodríguez (1987) y posteriormente validado por Galvis (1990), empleando como referencia resultados de experimentos de respuesta a los fertilizantes obtenidos por diversas instituciones. La validación de los resultados mostró que las recomendaciones de fertilización generadas con cualquiera de los dos procedimientos resultaban muy parecidas. La ventaja del enfoque simplificado es que considera las condiciones de cada sitio y el manejo particular que cada agricultor le da a su cultivo, por lo que es posible mejorar la precisión de la recomendación, además de poder generar planes de fertilización a corto plazo (6-12 meses) a un costo mucho menor que los de los procedimientos que se han venido empleando en el pasado. Cualquier propuesta realizada con este método requiere validación en campo.

El objetivo del presente documento fue investigar qué elementos no considerados habitualmente en las fórmulas de fertilización pudiesen ser deficitarios en dos agroecosistemas considerados *a priori* como diferentes. Para dicho efecto, se instalaron experimentos de parcelas de omisión en dos agroecosistemas ubicados en Huamantla y Santiago Michac, en el estado de Tlaxcala, donde se trabajó en cuatro y tres sitios experimentales, respectivamente. La hipótesis del trabajo partió del conocimiento previo que existían diferencias en potenciales de producción entre ambos agroecosistemas, siendo Santiago Michac el de mejores condiciones, lo que le permitiría alcanzar un rendimiento en grano de 5 ton ha⁻¹, y en el de Huamantla, un rendimiento promedio de sólo 3 ton ha⁻¹. Las hipótesis de trabajo se establecieron con base en conocimientos científicos y opinión de expertos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se planteó para dos ciclos de cultivo PV-2011 y 2012, sin embargo, los experimentos en campo del primer año se perdieron debido a la presencia atípica de una helada temprana en la primera semana del mes de septiembre. Los experimentos se instalaron en dos agroecosistemas de Tlaxcala: Huamantla y Santiago Michac. En Huamantla se trabajó con cuatro agricultores cooperantes y en Santiago Michac con tres. Las coordenadas de las parcelas de omisión, así como la identificación de los productores cooperantes, se observan en el siguiente Cuadro 1.

Cuadro 1. Identificación y ubicación de parcelas de omisión. Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.

Productor	Identificación¹	Coordenadas
Huamantla		
Plutarco Flores Luna	POH1	19°21' 12.76'' N 97°57'35.31'' W
Francisco Huerta	POH2	19° 20'14.45'' N 97°58'45.82'' W
Francisco Huerta	POH3	19° 20'14.45'' N 97°58'08.13'' W
Guadalupe García	POH4	19°31'08.25'' N 98°53'13.20'' W
Santiago Michac		
Filemón Sartilla Vázquez	POSM1	19°12'43.97'' N 98°20'44.84'' W
Filemón Sartilla Vázquez	POSM2	19°12'43.92'' N 98°20'41.00'' W
Tomás Ortiz	POSM3	19°12'49.79'' N 98°20'43.45'' W

¹POH: Parcela de omisión Huamantla y POSM: Parcela de omisión Santiago Michac

Previo a la instalación de los experimentos se obtuvieron muestras de suelo de cada sitio a una profundidad de 0 a 15 cm, mismas que se analizaron para determinar la concentración de: N total por el método Kjeldahl (Bremner, 1965), P extraíble Olsen, K, Ca, Mg, Na intercambiables (Chapman, 1965; Chapman y Pratt, 1979; Piper, 1947; Pratt 1965 y Richard, 1954), Fe, Zn, Mn, Cu, B, Al, S extraíbles obtenidos a partir del uso de DTPA (Lindsay y Norvell 1969), así como la determinación de pH (Bates, 1965) y conductividad eléctrica (CE) (Jackson, 1982).

En las parcelas experimentales se estableció maíz, identificado como cónico, de acuerdo al “Informe final de actividades 2008-2010. Biodiversidad y distribución actual de los maíces nativos en Tlaxcala” (María *et al.*, 2010). El sistema de producción de los agricultores cooperantes se identificó como milpa (Cortés y

Turrent, 2012), es decir, la presencia simultánea de una o más de las siguientes especies: de maíz, frijol, frutales y arvenses (quelites y quintoniles). Los quelites y quintoniles pueden ser empleados para consumo humano, especialmente cuando se agotan la existencia de grano de maíz de la cosecha del año anterior. La densidad de población del maíz fue 45 000 plantas ha⁻¹, colocando tres semillas por golpe.

Las unidades experimentales fueron siete franjas, cada una conformada por cinco surcos de 50 m de longitud, con un área de 212.5 m² (0.85 x 5 x 50). El diseño experimental fue en franjas. Como repeticiones se emplearon los sitios experimentales de cada región. El uso del diseño se justifica porque las parcelas de los productores cooperantes, son pequeñas superficies; se estima que en promedio cuentan con menos de 3 ha, razón suficiente para no someter toda el área cultivable al experimento, ya que en ellas producen otros cultivos y forraje.

Para establecer las dosis de fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) se definieron rendimientos máximos probables, para las dos zonas con base en los diversos trabajos de investigación realizados en el estado de Tlaxcala (Rodríguez, 1990; Etchevers, 2012). En Huamantla el máximo probable se fijó en 3 ton ha⁻¹ y en Santiago Michac, en 5 ton ha⁻¹. Con estos supuestos y basados en el conocimiento de la fisiología de la planta de maíz, índice de cosecha probable (0.39 para variedades criollas) (Etchevers, 2012; Obrador, 1994), requerimiento interno de N, P y K (Rodríguez, 1990), se establecieron las necesidades teóricas de estos nutrientes.

Las dosis de fertilización se definieron estimando el aporte de nutriente que se esperaba del suelo en cada caso, con base en los porcentajes de materia orgánica, el análisis químico de P y K extraíble del suelo y la opinión de experto, empleando el método racional simplificado (Rodríguez, 1990).

El supuesto del cual se partió fue, evaluando el contenido de materia orgánica en los suelos con un valor promedio de 1.5% en Huamantla y 2% en Santiago Michac;

se consideró un contenido de nitrógeno en la materia orgánica del 5% (Vanotti y Bundy, 1994) y una tasa de mineralización de anual del 2% (Vanotti y Bundy, 1994).

Una vez definido el aporte de nitrógeno proveniente de la materia orgánica del suelo, se le sumó la fuente de N-NO₃ reportados en el análisis químico de los primeros 20 cm del suelo (valores promedios de 12 ppm en Huamantla y 13 ppm en Santiago Michac), posteriormente se determinó la demanda nutrimental del cultivo. Al respecto, Etchevers (2012) determinó para el estado de Tlaxcala, las demandas de N, P y K del maíz, respecto al potencial productivo: a continuación la información.

Cuadro 2. Estimación de la demanda de NPK a partir del potencial productivo del cultivo de maíz en el estado de Tlaxcala (Etchevers, 2012).

Rendimiento ton/ha	Demanda		
	N	P Kg/ha	K
1	21	3	22
2	43	7	44
3	64	10	66
4	85	13	88
5	106	17	110

Las dosis de micronutrientes (Zn y B) se establecieron en función de los resultados del análisis químico de muestras de suelo colectadas en el estado de Tlaxcala. Los análisis químicos indicaron la existencia de un alto contenido de P-Olsen (32 ppm en Huamantla y 31 ppm en Santiago Michac), lo que supone la existencia de un posible antagonismo con el elemento zinc, considerado deficitario en el Estado (Etchevers, 2011). Con respecto al boro, se estableció su deficiencia a partir de observaciones previas del cultivo en recorridos de campo, donde las plantas presentaban manchas blancas irregulares entre las venas en las hojas superiores del cultivo de maíz.

En el Cuadro 3 se presentan los tratamientos y dosis aplicadas en los experimentos de omisión.

Cuadro 3. Tratamientos y dosis de nutriente en los experimentos de omisión en los cuatro sitios de Huamantla y tres de Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha ⁻¹) [§]				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
Huamantla					
NPKZnB	220	260	230	1	1
PKZnB	--	260	230	1	1
NKZnB	220	--	230	1	1
NPZnB	220	260	--	1	1
NPKB	220	260	230	--	1
NPKZn	220	260	230	1	--
Testigo absoluto	--	--	--	--	--
Santiago Michac					
NPKZnB	339	450	380	1	1
PKZnB	--	450	380	1	1
NKZnB	339	--	380	1	1
NPZnB	339	450	--	1	1
NPKB	339	450	380	--	1
NPKZn	339	450	380	1	--
Testigo absoluto	--	--	--	--	--

[§]N: Urea; P: Superfosfato triple; K: Cloruro de potásio; Zn: Sulfato de Zinc; y, B: Bórax.

En todos los sitios experimentales, la fertilización se aplicó en la primera labor de cada agricultor (aproximadamente 40 días después de la siembra), lo cual responde a las prácticas habituales del pequeño productor en el Estado. La aplicación fue manual y directa a la planta de maíz, posteriormente el productor realizó un paso de rastra y tapó el fertilizante.

En cada franja tratada se tomaron al azar muestras de la hoja inferior y opuesta al jilote (15 a 20 hojas), durante el periodo de jiloteo, a fin de determinar la concentración de N, P y K y así definir posibles deficiencias nutrimentales.

La cosecha se realizó en la primera semana de octubre. Se consideraron dos surcos efectivos de 10 m de largo, de los cinco que conformaron la unidad experimental. Al momento de la cosecha, se midieron las siguientes variables de respuesta: biomasa aérea total de 15 a 20 plantas al azar (al momento de la cosecha, se contaron un promedio de 60 plantas en 17 m², esto quiere decir que la densidad de plantas al momento de la cosecha fue de aproximadamente 40 000 plantas ha⁻¹), rendimiento

en grano (se tomaron las mazorcas de las plantas muestreadas – 15 a 20-, las cuales, se pesaron y secaron a 70 °C en un horno con aire forzado y se pesaron las muestras, posteriormente se extrapoló el rendimiento a la superficie de una hectárea). Al momento de la cosecha también se midió la biomasa de las plantas de la parcela útil y se relacionó con el peso del grano de las mismas para medir el índice de cosecha. Simultáneamente se colectaron muestras de la biomasa y del grano para determinar la concentración de N P K en estas estructuras. Antes de pesar este material las plantas se secaron en un horno con aire forzado y temperatura a 70 °C y luego se molieron repetidamente hasta que toda la muestra pasó por malla 40. Producto de dicho proceso, se obtuvieron muestras vegetales, mismas que se analizaron químicamente. El análisis consistió en cuantificar la concentración de N P K a partir del método semimicro-Kjeldahl (Chapman y Pratt, 1979) en el caso del nitrógeno y el método de solubilización de fósforo y potasio por digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ (Alla, 1971) que luego se midieron por espectrofotometría visible con amarillo de vanadomolibdato (Alla, 1971) y de fotometría llama en el caso del potasio.

Para evaluar el efecto de las variables nutrimentales en el rendimiento, los datos se sometieron a un análisis de regresión multivariada, con la finalidad de indicar que dosis de fertilización tuvo mayor respuesta en el cultivo de maíz, respecto al rendimiento de éste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del análisis químico de suelo de cada sitio experimental.

Cuadro 4. Concentración de nutrimentos en muestras de suelo en parcelas de omisión. Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.

IDENTIFICACIÓN									
Variable	POH1	POH2	POH3	POH4	MEDIA del Agroeco sistema	POSM1	POSM2	POSM3	MEDIA del Agroecosistema
pH	5.7	6.2	5.9	5.3	5.8 ± 0.3	6.7	5.7	6.6	6.3 ± 0.5
CE dS/m	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3 ± 0.0	0.3	0.3	0.2	0.3 ± 0.06
MO %	2.1	1.6	1.8	1.0	1.6 ± 0.4	1.4	1.8	2.2	1.8 ± 0.4
Nin ppm	13.2	14.6	17.4	13.2	14 ± 1.9	9.7	6.2	22.2	12 ± 8.4
P ppm	48.2	23.3	44.9	12.0	32 ± 17.3	39.4	24.8	30.6	31 ± 7.3
K ppm	108	108	195	78	122 ± 50.5	181	76.6	133	130 ± 52.2
Ca ppm	655	1176	857	581	817 ± 266	718	498	581	599 ± 111
Mg ppm	80.9	150	116	48.6	98 ± 43.8	202	61.8	139	134 ± 70.2
Na ppm	12.1	23.4	18.8	12.1	16 ± 5.5	26.2	19.3	12	19 ± 7.1
Fe ppm	38.7	36.2	49.4	40	41 ± 5.7	23.9	43.9	28.3	32 ± 10.5
Zn ppm	0.7	0.8	1.6	0.3	0.8 ± 0.5	1.7	0.8	1.4	1.3 ± 0.4
Mn ppm	12.8	13.8	13.7	12.8	13 ± 0.5	5.8	8.1	8.0	7.3 ± 1.3
Cu ppm	0.5	0.7	1.0	0.2	0.6 ± 0.3	0.8	0.6	0.7	0.7 ± 0.1
B ppm	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1 ± 0.05	0.2	0.1	0.1	0.1 ± 0.06
Al ppm	1.8	1.8	1.4	1.8	1.7 ± 0.2	0.9	2.7	0.9	1.5 ± 1.0
S ppm	49.2	35.8	35.8	49.2	42 ± 7.7	37.2	19.4	35.8	30 ± 9.9

Los resultados del análisis químico de suelos realizados antes de establecer los experimentos, muestran que resultados de esta prueba fueron muy similares en ambos agroecosistemas (Cuadro 4). Esto sugeriría que los potenciales de producción desde el punto de vista nutrimental serían semejantes, si no se tomaran en cuenta, las condiciones climáticas y manejo del productor.

El pH de los suelos se ubicó en una media de 5.8 en Huamantla y 6.3 en Santiago Michac, considerando el rango como medianamente ácido, de acuerdo a Moreno (1978), lo que indica que la disponibilidad de nutrientes importantes como N, P y K no debería verse afectada.

La conductividad eléctrica promedio en Huamantla fue 0.34 dS/m y en Santiago Michac 0.32 ds/m. En ambos casos se consideran valores que no representan problemas de salinidad del suelo.

El contenido promedio de materia orgánica en Huamantla y Santiago Michac fue semejantes: 1.6 % y 1.8 % que se clasifican como medianamente pobres (Moreno, 1978). En este punto es necesario destacar que, el valor de materia orgánica es subjetivo ya que la mineralización (subsecuente liberación de nitrógeno asimilable por la planta) depende de la naturaleza o calidad de los residuos, la temperatura del suelo y la disponibilidad de agua. Se sospecha que los bajos niveles de materia orgánica son una consecuencia del intenso laboreo año con año y de retirar la parte aérea del cultivo de maíz para utilizarla en alimentación animal, práctica común entre los agricultores de la zona (Obrador, 1994).

El promedio de nitrógeno inorgánico en Huamantla fue 14 ppm, en Santiago Michac fue 13 ppm, en ambos caso dichas concentraciones se clasifican como nivel bajo. Ante estos resultados es importante recordar que los residuos vegetales (excepto raíces) son exportados del sistema, por lo que su contribución al “pool” de nitrógeno, es escaso. Si consideramos una densidad aparente (que no se midió) media de 1.2 g cm⁻¹ y una profundidad de muestreo de suelo de 20 cm, la disponibilidad estimada de N por este concepto, habría sido de aproximadamente 36 y 48 kg ha⁻¹ de N ha⁻¹.

Con respecto al fósforo, en Huamantla se obtuvo una media de 32 ppm P-Olsen y en Santiago Michac 31 ppm P-Olsen, concentraciones clasificada como altas. Estos resultados indican que han existido prácticas de fertilización excesivas a través de periodos de tiempo prolongados y un prolongado efecto residual. Los resultados concuerdan con los presentados en su momento por Rodríguez (1987), Cruz *et al.* (1991) y Obrador (1994), quienes trabajaron en el Estado.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de rendimiento de grano, biomasa total e índice de cosecha obtenidos en cada sitio experimental en cada agroecosistema.

Cuadro 5. Evaluación de tratamientos de fertilización. Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.

	NPKZnB	PKZnB	NKZnB	NPZnB	NPKB	NPKZn	Testigo absoluto
Rendimiento en grano (kg ha⁻¹)							
POH1	5889	4505	4296	3910	4739	4716	4786
POH2	2781	2900	2965	2675	2788	2288	1550
POH3	4786	4744	5689	4051	4284	3537	1619
POH4	2084	1116	1812	1940	1229	1692	1987
MEDIA	3885 ± 1524	3316 ± 1454	3690 ± 1450	3144 ± 877	3260 ± 1376	3058 ± 1165	2485 ± 1338
POSM1	4939	2047	719	413	2198	1912	686
POSM2	1290	1111	977	309	1632	777	382
POSM3	1572	777	1194	394	1395	1023	307
MEDIA	2600 ± 2030	1311 ± 658	963 ± 237	372 ± 55.4	1741 ± 412	1237 ± 597	458 ± 200
Biomasa total, kg ha⁻¹							
POH1	18942	14036	13171	13245	11949	13044	12033
POH2	7916	5987	8656	7803	7136	9121	4232
POH3	11928	11396	12932	12983	12703	10149	9577
POH4	6810	3499	6554	6459	3296	7947	8091
MEDIA	11399 ± 5488	8730 ± 4836	10328 ± ± 3261	10123 ± 3499	8771 ± 4405	10065 ± 2180	8483 ± 3267
POSM1	11885	4971	4642	3164	5687	5924	4512
POSM2	3073	2769	3677	2489	3376	2312	2077
POSM3	2651	4570	4259	2330	3868	2760	1542
MEDIA	5870 ± 5214	4103 ± 1173	4193 ± 486	2661 ± 443	4310 ± 1217	3665 ± 1969	2710 ± 1583
Índice de cosecha							
POH1	0.49	0.32	0.33	0.30	0.40	0.36	0.25
POH2	0.35	0.48	0.34	0.34	0.39	0.25	0.37
POH3	0.40	0.42	0.44	0.31	0.34	0.35	0.17
POH4	0.31	0.32	0.28	0.30	0.37	0.21	0.25
MEDIA	0.39 ± 0.08	0.39 ± 0.08	0.35 ± 0.07	0.31 ± 0.02	0.38 ± 0.03	0.29 ± 0.07	0.26 ± 0.08
POSM1	0.42	0.41	0.15	0.13	0.39	0.32	0.15
POSM2	0.42	0.40	0.27	0.12	0.48	0.34	0.18
POSM3	0.29	0.34	0.28	0.17	0.36	0.37	0.20
MEDIA	0.38 ± 0.08	0.38 ± 0.04	0.23 ± 0.07	0.14 ± 0.03	0.41 ± 0.06	0.34 ± 0.03	0.18 ± 0.03

Como en cada sitio experimental no se pudieron instalar repeticiones, por las razones explicadas anteriormente y por tratarse de un estudio exploratorio, se usaron los resultados de cada sitio como repeticiones. Los resultados del análisis de comparación de medias se presentan en el Cuadro 6. Como se señaló en la sección de Materiales y Métodos, el agroecosistema Huamantla, contó con cuatro sitios experimentales, no obstante, al analizar los datos de cada sitio (resultados del análisis químico de suelos), se observó que los valores de POH1, no pertenecían a la misma población del agroecosistema, por tanto, el análisis estadístico se hizo sin considerar dicho sitio.

Cuadro 6. Comparación de medias de la evaluación de tratamientos en dos agroecosistemas. Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.

Sitio	NPKZnB	PKZnB	NKZnB	NPZnB	NPKB	NPKZn	Testigo absoluto
Rendimiento en grano (kg ha⁻¹)							
Huamantla	3217 a	2920 a	3489 a	2889 a	2767 a	2506 a	1719 a
Santiago Michac	2600 a	1576 a	963 a	372 a	1741 a	1237 a	458 a
CEA [§]	A	A	B	B	A	A	B
Biomasa Aerea (kg ha⁻¹)							
Huamantla	8885 a	6961 a	9381 a	9082 a	7712 a	9072 a	7300 a
Santiago Michac	5870 a	4103 a	4193 a	2661 a	4310 a	3665 a	2710 a
CEA	A	A	B	B	A	B	B
Índice de cosecha							
Huamantla	0.35 a	0.41 a	0.35 a	0.32 a	0.37 a	0.27 a	0.26 a
Santiago Michac	0.37 a	0.38 a	0.23 bc	0.14 c	0.41 a	0.34 ab	0.17 c
CEA	A	A	A	B	A	A	A

[§]CEA: Comparación de medias entre agroecosistemas. $\alpha=10\%$. Letras minúsculas, indican comparación entre tratamientos. Letras mayúsculas, indican comparación entre agroecosistemas.

Los rendimientos de grano y biomasa total en los diferentes tratamientos de fertilización, en ambos agroecosistemas, mostraron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre éstos, lo cual se atribuyó a las elevadas desviaciones estándar entre los sitios empleados como repeticiones, debido a la variabilidad espacial del suelo. Sin embargo, biológicamente hay tratamientos que se comportaron mejor que otros en cuanto a producción, en particular con respecto al tratamiento sin fertilización. Ello nos hace pensar que aunque no se pudo demostrar estadísticamente, es evidente que en algunos casos el cultivo de maíz

respondió a la ausencia de algún elemento, particularmente nitrógeno. Donde sí hubo diferencias significativas entre algunos tratamientos fue entre agroecosistemas. Fueron evidentes los casos de los tratamientos sin fertilizante fosfatado y potásico, en el caso de rendimientos de biomasa y grano y sólo en el caso de biomasa Santiago Michac se observó que la ausencia de boro, provocó una diferencia estadística entre ambos agroecosistemas.

Rendimiento en grano

Al comparar las medias de rendimiento de grano de los respectivos testigos absolutos de los dos agroecosistemas, se observó que hubo diferencia estadísticas (458 vs 1719), lo cual nos obliga a rechazar la hipótesis inicial de que Santiago Michac tenía potenciales productivos mayores que Huamantla y dejando de manifiesto una baja fertilidad o factores ambientales adversos no controlados en Santiago Michac. Los resultados experimentales indican, sin excepción, que en todos los tratamientos el rendimiento en grano y biomasa fue mayor en la zona agroecológica de Huamantla respecto a Santiago Michac (ver Cuadro 6). Al contrastar los rendimientos de grano con los resultados del análisis químico de suelo, se aprecia que en Huamantla los experimentos se ubicaron en parcelas consideradas con un nivel pobre de materia orgánica (1.6 % en promedio) y un contenido de nitrógeno inorgánico valorado como bajo (14 ppm), a pesar de ello, se alcanzó el potencial de producción estimado al inicio del trabajo, con base en la producción probable sin manejo de fertilizantes (*i.e.* en su condición natural) del agroecosistema. El análisis estadístico se realizó con $\alpha=10\%$, por tratarse de experimentos en campo, bajo condiciones no controladas.

En el agroecosistema Huamantla se observaron diferencias entre el tratamiento completo (valor promedio de 3 217 kg ha⁻¹) y el testigo absoluto (valor promedio de 1 719 kg ha⁻¹). En todos los sitios experimentales, los mayores rendimientos se obtuvieron en los tratamientos completos, con una diferencia media respecto del testigo absoluto de 2 y 3 toneladas (ver Cuadro 6).

Si se comparan los resultados de rendimiento de grano obtenidos en la presente investigación, con datos históricos se aprecia que, al menos en la década de los 60, del siglo pasado, los rendimientos promedio del Estado eran de 500 a 600 kg ha⁻¹ de grano en condiciones de temporal; para Iriarte (1981) en su enfoque de estratificación de ambientes, estimó un rendimiento en grano de 5 ton ha⁻¹ y en la misma década pero a finales, Flores (1988) definió rendimientos de producción que se ubicaban en un rango de 1 577 y 6 833 kg ha⁻¹. Los resultados indican que, en el agroecosistema Huamantla, se alcanzó un valor cercano al máximo potencial alcanzable, indicando que estos máximos posibles no se han logrado incrementar a través del tiempo.

Rendimiento de biomasa aérea

La comparación entre los dos agroecosistemas mostró, en el caso de la biomasa, diferencias estadísticas significativas en los tratamientos sin fósforo, potasio, boro y testigo absoluto.

Con respecto al análisis por tratamiento, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre éste, no obstante, agronómicamente, en ambos agroecosistemas, la diferencia entre el menor y el mayor rendimiento de biomasa muestra una diferencia de al menos 1 ton ha⁻¹ en Huamantla y 3 ton ha⁻¹ en Santiago Michac. Los rendimientos en biomasa aérea, en ambos agroecosistemas, no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, esto en gran medida debido a desviaciones estándar elevadas, que impidieron la presencia de diferentes grupos estadísticos.

En Huamantla, el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin fósforo (9 381 kg ha⁻¹) y el menor rendimiento en el tratamiento sin nitrógeno (6 961 kg ha⁻¹). Los resultados indican el efecto positivo de la fertilización nitrogenada, que al comparar con el análisis químico de suelo, se valida la clasificación de suelos pobres en nitrógeno (1.6% de materia orgánica y 14 ppm de nitrógeno inorgánico) y el efecto residual de las fertilizaciones previas con fertilizante fosfatado, que no fue reflejado en el análisis químico de suelo con el método empleado (P-Olsen).

En Santiago Michac, el tratamiento completo presentó una media de 5.8 ton ha⁻¹, mayor al doble reportado en el testigo absoluto (2.7 ton ha⁻¹), lo mismo sucede si se compara al tratamiento completo con el resto de los tratamientos. En el caso del tratamiento sin nitrógeno, la diferencia en producción fue 1.7 ton ha⁻¹, lo que indica un efecto biológico positivo de dicho elemento en la producción de biomasa. Al comparar los rendimientos de grano y biomasa con el análisis químico de suelo, se observa que la materia orgánica y el contenido de nitrógeno inorgánico, fueron semejantes a los de Huamantla; sin embargo, los rendimientos no tan solo no fueron iguales sino inferiores a los obtenidos en Huamantla, lo que sugiere, que la diferencia en el manejo agronómico y el aspecto climatológico de cada sitio representó un efecto importante en el rendimiento.

Los resultados demuestran que las definiciones de los agroecosistemas en función de rendimientos están influenciadas por variables probablemente de tipo climática que pueden variar de un año para otro, lo que indujo a pensar preliminarmente que había diferencias entre los dos agroecosistemas estudiados, lo cual hay que repensar.

En Santiago Michac, el productor divide el tiempo entre el campo y otras actividades, disminuyendo la atención al manejo agronómico de sus parcelas, lo que podría en cierta medida explicar las diferencias entre éste agroecosistema respecto a Huamantla,

Índice de cosecha

Respecto al valor medio de índice de cosecha, en Huamantla el índice del tratamiento completo fue 0.39, superior al reportado por el testigo absoluto, el cual fue 0.26. En el caso de Santiago Michac, el valor del índice de cosecha en el tratamiento completo fue 0.38, mayor al índice reportado por el testigo absoluto que fue de sólo 0.18. En ambos casos los índices de cosecha de los testigos absolutos son indicadores de que el cultivo tuvo factores que limitaron la expresión plena de su potencial. Un índice de cosecha de los tratamientos completos, cercano al

reportado como ideal o en el entorno del máximo teórico por Obrador (1994), es señal que la planta se comportó sin restricciones para su desempeño

De acuerdo a la literatura Flores (1988) indicó un índice de cosecha en un rango de 0.34 a 0.50 (en material genético criollo) al variar los rendimientos de maíz (rendimientos potenciales aproximados). El mismo autor considera que, dado que no se presentó una relación entre los índices y el nivel de rendimiento, éstos pueden ser considerados como relativamente constantes. Obrador (1994) evaluó índices de cosecha en el estado de Tlaxcala, y observó que de forma general el índice de cosecha de los maíces criollos se mantiene alrededor de 0.39, independientemente del rendimiento de grano que hayan alcanzado las plantas. Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran que al comparar el índice de cosecha y el rendimiento en grano del tratamiento completo y el testigo absoluto se observa, en general, una relación de a mayor índice hay mayor rendimiento. Esto se debe a que en los tratamientos en que el índice de cosecha se aproximó al ideal teórico, no existieron factores limitativos del rendimiento y permitieron a las plantas desarrollarse correctamente de acuerdo a lo que el agroecosistema admite en condiciones ideales.

Análisis de regresión multivariada

En el Cuadro 7 se muestran los resultados del análisis de regresión *multivariada* a la cual fueron sometidos los tratamientos con la finalidad de establecer qué variable predominantemente influyó en los rendimientos obtenidos. Las variables independientes, sometidas al análisis de regresión fueron: dosis de N, P y K, Zn y B, y variables derivadas del análisis químico del suelo: pH, CE, MO% y la concentración en ppm de: N inorgánico, P, H, zinc, manganeso, cobre, boro, aluminio y azufre, así como las áreas agroecológicas (VSE1: Huamantla y VSE2: Santiago Michac).

Cuadro 7. Análisis de varianza de los experimentos de omisión en los sitios experimentales Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	PR> F	R ²
Modelo	4	107806296	26951574	117.47	<.0001	0.9215
Error	40	9177572	229439			
Total	44	116983868				
corregido						

El cuadro indica que el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un 92% la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual sugiere un nivel alto de confiabilidad en el modelo.

A continuación, se muestra el cuadro que reporta las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 8. Análisis de regresión multivariada de rendimientos en sitios experimentales. Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.

Variable ^s	Parámetro	Valor t	Pr > t
Término i	-1166.82828	-1.22	0.2289
VSE1	3572.35388	20.00	<.0001
VSE2	1339.10041	6.32	<.0001
K	3.50406	4.83	<.0001
NINV	889.11732	1.84	0.0726

^sVSE1: Huamantla, VSE2: Santiago Michac, K: potasio del suelo, NINV: nitrógeno inorgánico.

El Cuadro 8 indica que las variables sitio agroecosistema (Huamantla y Santiago Michac), así como la dosis de potasio en ambos lugares, fueron significativos respecto a los rendimientos obtenidos en el ciclo Primavera-Verano 2012 en las parcelas de omisión

Estado nutrimental al jiloteo

En el Cuadro 9, se muestra el estado nutrimental (NPK) de las plantas en hojas de maíz colectadas en la etapa de jiloteo.

Cuadro 9. Concentración (%) de N, P y K en hojas de maíz colectadas en etapa de jiloteo del cultivo de maíz, en las parcelas de omisión en Huamantla y Santiago Michac, Tlaxcala. 2012.

Productor	NPKZnB	PKZnB	NKZnB	NPZnB	NPKB	NPKZn	Testigo absoluto
N %							
POH1	2.89	2.96	2.99	2.40	2.90	2.87	2.14
POH2	2.83	2.31	2.87	2.76	2.89	2.64	2.89
POH3	3.42	3.50	2.64	2.81	2.94	3.06	2.67
POH4	2.68	2.72	2.68	2.23	2.55	2.92	2.91
MEDIA	2.95 ± 0.3	2.87 ± 0.5	2.79 ± 0.1	2.55 ± 0.2	2.82 ± 0.1	2.87 ± 0.1	2.65 ± 0.3
POSM1	1.79	1.80	1.10	1.09	2.14	1.97	1.18
POSM2	2.20	2.11	2.02	1.07	2.22	2.19	1.00
POSM3	2.25	2.55	2.17	1.44	2.30	2.29	1.64
MEDIA	2.08 ± 0.3	2.15 ± 0.4	1.76 ± 0.6	1.20 ± 0.2	2.22 ± 0.1	2.15 ± 0.2	1.27 ± 0.3
P %							
POH1	0.12	0.11	0.10	0.08	0.11	0.11	0.08
POH2	0.09	0.13	0.14	0.11	0.13	0.11	0.12
POH3	0.12	0.13	0.09	0.11	0.12	0.11	0.10
POH4	0.12	0.11	0.12	0.10	0.12	0.11	0.10
MEDIA	0.11 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.10 ± 0.02
POSM1	0.09	0.10	0.07	0.06	0.10	0.10	0.08
POSM2	0.10	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	0.08
POSM3	0.09	0.09	0.07	0.07	0.09	0.09	0.06
MEDIA	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.08 ± 0.02	0.07 ± 0.02	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.07 ± 0.01
K %							
POH1	1.65	1.80	1.69	1.48	1.83	1.76	1.47
POH2	1.45	1.26	1.76	1.61	1.31	1.46	1.70
POH3	1.47	1.53	1.67	1.41	1.41	1.44	1.62
POH4	1.75	1.28	1.39	1.36	1.67	1.75	1.37
MEDIA	1.58 ± 0.1	1.46 ± 0.3	1.62 ± 0.2	1.46 ± 0.1	1.55 ± 0.2	1.60 ± 0.2	1.54 ± 0.1
POSM1	1.09	1.31	1.75	0.98	1.41	1.30	1.30
POSM2	1.07	1.40	1.04	1.10	1.12	1.03	0.94
POSM3	1.51	0.76	1.47	1.55	0.89	0.87	0.99
MEDIA	1.22 ± 0.2	1.15 ± 0.3	1.42 ± 0.4	1.21 ± 0.3	1.14 ± 0.3	1.06 ± 0.2	1.07 ± 0.2

Cuadro 10. Comparación de la concentración (%) de N, P y K en hojas de maíz en etapa de jiloteo. Análisis por agroecosistema. 2012.

Agroecosistema	NPKZnB	PKZnB	NKZnB	NPZnB	NPKB	NPKZn	Testigo absoluto
N %							
Huamantla	2.98 a	2.84 a	2.73 a	2.60 a	2.79 a	2.87 a	2.82 a
Santiago	2.08 a	2.15 a	1.76 ab	1.20 b	2.22 a	2.15 a	1.27 b
Michac							
¹ CEA	B						
P %							
Huamantla	0.11 a	0.12 a	0.12 a	0.11 a	0.12 a	0.11 a	0.11 a
Santiago	0.09 a	0.09 a	0.08 a	0.07 a	0.09 a	0.09 a	0.07 a
Michac							
CEA	B	B	B	A	B	B	A
K %							
Huamantla	1.56 a	1.36 a	1.61 a	1.46 a	1.46 a	1.55 a	1.56 a
Santiago	1.22 a	1.15 a	1.42 a	1.21 a	1.14 a	1.06 a	1.07 a
Michac							
CEA	B	A	A	A	B	B	B

$\alpha = 10\%$. Letras minúsculas, indican comparación entre tratamientos de un mismo sitio. Letras mayúsculas, indican comparación entre agroecosistemas.

¹Comparación entre agroecosistemas

En el Cuadro 10 se aprecia, de forma general, que las concentraciones de N, P y K en todos los tratamientos, fueron inferiores en Santiago Michac respecto a Huamantla, lo que es de llamar la atención si se consideran los resultados obtenidos en las muestras de suelo, donde los valores de concentración de estos elementos al inicio eran semejantes. Estos resultados resaltan la necesidad imperiosa de contar con selección y calibración de los métodos químicos que se emplean en la zona. También se debe recordar que en Santiago Michac, las dosis aplicadas, fueron superiores a las de Huamantla, por lo que se esperaba mayores rendimientos es éste.

Concentración de nitrógeno

De la comparación entre agroecosistemas se concluye que, se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en la concentración de nitrógeno entre todos los tratamientos.

En muestras foliares. La concentración de nitrógeno en Huamantla en muestras foliares tuvo un rango de 2.6-2.9%, sin observarse diferencias estadísticas significativas. En contraste, en Santiago Michac el porcentaje medio de nitrógeno fue 2.08% con un rango de 1.7 a 2.2 % de nitrógeno, lo cual contribuye a explicar los menores rendimientos en los sitios de este agroecosistema. Al comparar los datos por agroecosistema, se aprecian diferencias estadísticas significativas, en todos los tratamientos. De acuerdo a Reuter and Robinson (1997), el rango de concentración de nitrógeno en hojas inferiores y opuestas a la primera mazorca (en sentido basipétalo) considerados como suficientes para este órgano colectado en la etapa de jiloteo es de 2.7-3.3%. La relación entre rendimiento y la concentración interna de nutrientes fue revisada inicialmente por Goodall y Gregory (1947) y Ulrich (1952). Tyner (1947) propuso niveles críticos de la concentración de N en la sexta hoja de maíz, al momento de la floración, con un valor de 2.9% de N (base peso seco) y Bennett *et al.* (1953) encontraron que el nivel crítico de nitrógeno en hojas de maíz en la etapa de jilote se ubica en un rango de 2.6 a 3.1%. De acuerdo a Schepers *et al.* (1992) los niveles críticos de la concentración de nitrógeno en la hoja opuestas a la mazorca de maíz está en un rango de 2.7 a 2.8 %. Por tanto, de acuerdo a la literatura se aprecia que los resultados del porcentaje de nitrógeno en hojas de la posición descrita más arriba se encontrarían en el rango de los niveles de insuficiencia en Santiago Michac y de suficiencia o cercano a éste en Huamantla.

En el Cuadro 11 se presentan los resultados de concentración de nitrógeno en muestras de grano y biomasa colectadas al momento de la cosecha.

Cuadro 11. Concentración (%) de N, en muestras de grano y biomasa. Análisis por agroecosistema. 2012.

	NPKZnB	PKZnB	NKZnB	NPZnB	NPKB	NPKZn	Testigo absoluto
N % GRANO							
Huamantla	1.46 ab	1.33 ab	1.34 ab	1.26 ab	1.56 a	1.50 ab	1.23 b
Santiago Michac	1.49 a	1.21 a	1.14 a	1.06 a	1.17 a	1.33 a	1.23 a
CEA	A	A	A	A	B	B	A
N % BIOMASA AEREA							
Huamantla	0.87 a	0.72 a	0.74 a	0.61 a	0.81 a	0.71 a	0.52 a
Santiago Michac	0.73 a	0.48 a	0.58 a	0.44 a	0.61 a	0.61 a	0.40 a
CEA	A	A	A	A	A	A	A

$\alpha = 10\%$. %. Letras minúsculas, indican comparación entre tratamientos para un mismo sitio. Letras mayúsculas, indican comparación entre agroecosistemas.

En grano. La concentración de nitrógeno en grano en Huamantla, resultó en la generación de varios grupos estadísticos. La mayor concentración se observó en el tratamiento sin zinc (1.56% de N), el cual se conjuntó en el grupo a o ab, al igual que el resto de los tratamientos, excepto el testigo absoluto que fue b. La ausencia de Zn en el tratamiento, influyó en la concentración de nitrógeno en grano, al menos en Huamantla. El zinc tiene injerencia en el metabolismo de los carbohidratos mediante su efecto en la fotosíntesis y la transformación de azúcares. Una deficiencia en Zn puede causar una reducción de la actividad fotosintética de 50 a 70%, dependiendo el cultivo y la severidad de la deficiencia. Esta reducción en la eficiencia de la fotosíntesis puede deberse al menos en parte, a una reducción en la actividad de la enzima carbono anhidrasa y el Zn es constituyente de dicha enzima. Una aguda declinación en la actividad de ésta enzima ocurre cuando la planta sufre estrés por la deficiencia de Zn y esto tiene efectos en la asimilación de dióxido de carbono. Esto último resulta incierto si la enzima carbono anhidrasa está involucrada en la fotosíntesis de plantas C3, pero esto es generalmente considerado cuando la enzima está involucrada en la fotosíntesis de la plantas C4 (Alloway, 2008).

La mayor concentración de nitrógeno en grano en Santiago Michac se obtuvo en el tratamiento completo (1.49%) y la menor concentración en el tratamiento sin K (1.06%). Al comparar las concentraciones con los rendimientos en grano se observó que el tratamiento completo (2 335 kg ha⁻¹) obtuvo la mayor concentración de nitrógeno.

En biomasa aérea. No se observaron diferencias estadísticas significativas en la concentración de N en biomasa entre los tratamientos con diferentes fertilizaciones, así como tampoco entre agroecosistemas.

La mayor concentración de N en la biomasa del maíz en Huamantla se tuvo en el tratamiento completo (0.87 %) y la menor concentración en el testigo absoluto (0.52%). En Santiago Michac, la mayor concentración de N en biomasa se observó en el tratamiento completo (0.73%), y la menor concentración en el testigo absoluto (0.40%), que explicarían en parte el mayor rendimiento biológico en el tratamiento completo.

Obrador (1994) indicó el requerimiento interno de N del maíz, que se relaciona con los rendimientos más altos de biomasa en cualquier agroecosistema, independiente del rendimiento máximo posible, se ubicaba en un rango de 1 a 1.3% de nitrógeno. Estos porcentajes no fueron alcanzados en la presente investigación, lo cual sugiere la necesidad de emplear dosis alternativas a las aquí evaluadas, así como el fraccionamiento efectivo del fertilizante y considerar la eficiencia de uso del fertilizante, debido a factores como la competencia entre plantas y factores climáticos.

Concentración de fósforo

De la comparación entre agroecosistemas (Cuadro 10) se aprecia que en Huamantla la concentración de P en muestra foliares, fueron más altas que en Santiago Michac. El análisis estadístico entre tratamientos, no mostró diferencias significativas, no así la comparación de medias entre agroecosistemas, donde se presentaron dos grupos estadísticos, A con las concentraciones más bajas (testigo absoluto y tratamiento sin potasio) y B con las concentraciones más altas.

En muestras foliares. En la concentración de P en muestras de hoja en etapa de jiloteo del maíz en el agroecosistema de Huamantla no se apreciaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, siendo el valor máximo 0.12% de P, valor que pertenece al mismo grupo estadístico a los tratamientos sin N y zinc. Si se compara la concentración de P con los rendimientos de grano se aprecia que el máximo rendimiento se relaciona con el grupo estadístico que incluye a las máximas concentraciones del elemento en cuestión, lo mismo ocurrió con la biomasa aérea, donde el valor máximo de biomasa fue el tratamiento completo (8 885 kg ha⁻¹). De igual forma en el índice de cosecha, el valor máximo se obtuvo en el tratamiento sin nitrógeno (0.41). Indicando el uso de dosis de fertilización fosfatada elevadas para el sitio en cuestión

En Santiago Michac los resultados indican que, sólo se generó un grupo estadístico y el valor máximo fue 0.09% de fósforo. Si se relaciona la concentración de P con la producción de grano se aprecia que el rendimiento máximo se obtuvo en el tratamiento completo (2 335 kg ha⁻¹), mismo tratamiento que presentó la mayor concentración de fósforo. En el caso de la producción de biomasa, el tratamiento completo obtuvo el rendimiento máximo; no así en el caso del índice de cosecha, donde el valor más alto se obtuvo en el tratamiento sin Zn (0.41); en ese caso éste tratamiento obtuvo un valor medio de biomasa de 8 771 kg ha⁻¹ que, estadísticamente, no fue diferente al tratamiento completo, señalando un efecto positivo en el índice de cosecha, debido a la ausencia de zinc.

De acuerdo a la literatura, la concentración de P en la hoja opuesta al jilote, al momento de la inflorescencia femenina, que permite un crecimiento óptimo del cultivo de maíz es 0.295% (base seca al aire) o bien 0.315% en base seca al horno (Tyner, 1947). Para Melsted *et al.* (1969), la concentración óptima de fósforo en la etapa de jilote es 0.25%; los últimos autores mencionados afirman que al valor obtenido en laboratorio, si no se conocen factores como variedad del cultivo, tipo de clima, o tipo de suelo, a esa concentración debería adicionársele un rango de \pm 0.05%. La interpretación, por tanto, en términos de valores críticos, puede variar desde una posible situación de estrés límite a un nivel adecuado de fósforo. Con

respecto a lo obtenido en la presente investigación, se aprecia que en Huamantla el rango de concentración de P fue de 0.11-0.12%, menos de la mitad de lo reportado en la literatura y en Santiago Michac 0.07 – 0.09%, valores aún inferiores a los anteriores. Esto último resulta importante si se consideran los valores de P-Olsen en ambos agroecosistemas, los cuales indicaban valores por arriba de los considerados como suficientes para un desarrollo adecuado, lo que no explica las bajas concentraciones en muestras de hojas. Los resultados muestran que las dosis de fertilización aplicadas no fueron adquiridas por las plantas en ambos agroecosistemas. Se sugiere evaluaciones posteriores que expliquen este fenómeno.

En el Cuadro 12 se muestran los resultados de concentración de fósforo en muestras de grano y biomasa, obtenidos en la etapa de cosecha.

Cuadro 12. Concentración (%) de P, en muestras de grano y biomasa. Análisis por agroecosistema. 2012.

	NPKZnB	PKZnB	NKZnB	NPZnB	NPKB	NPKZn	Testigo absoluto
P % GRANO							
Huamantla	0.13 a	0.12 a	0.11 a				
Santiago Michac	0.10 a	0.09 a	0.11 a	0.10 a	0.10 a	0.09 a	0.10 a
CEA	A	A	A	A	A	A	A
P % BIOMASA							
Huamantla	0.05 a	0.04 a	0.04 a	0.04 a	0.04 a	0.05 a	0.02 a
Santiago Michac	0.03 a	0.02 a	0.03 a	0.04 a	0.02 a	0.03 a	0.02 a
CEA	A	A	A	A	B	A	A

$\alpha = 10\%$. Letras minúsculas, indican comparación entre tratamientos. Letras mayúsculas, indican comparación entre agroecosistemas.

De la comparación de medias entre agroecosistemas, se observa, que excepto en la concentración de P en biomasa, en el tratamiento sin Zn, todos los demás tratamientos, no mostraron diferencias estadísticas significativas.

La concentración de P en grano fue mayor que en biomasa, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura, donde se ha observado que, en el caso de los cereales alrededor del 60-70% del P-total se acumula en la fitina de las semillas (IPNI, 1999).

En grano. En Huamantla, el rango de concentración de P en grano fue 0.10 -0.12%; los tratamientos con el nivel más alto fueron el completo y aquellos sin N y boro. El tratamiento con el nivel bajo de P fue el sin zinc. Al relacionar las concentraciones de P y los rendimientos de grano y biomasa se aprecia que los máximos rendimientos se obtuvieron en el tratamiento completo (3 885 kg ha⁻¹ y 11 399 kg ha⁻¹ respectivamente), lo cual concuerda con el tratamiento con el nivel más alto en concentración de fósforo.

En Santiago Michac, la mayor concentración de fósforo se obtuvo en los tratamientos sin P y Zn (0.11%) y la más baja, en el tratamiento sin N (0.09%).

En biomasa aérea. En Huamantla, el tratamiento con la mayor concentración de P en biomasa aérea fue aquel sin K (0.05%). Al relacionar la concentración de P de todos los tratamientos con los rendimientos de grano y biomasa, se observó que el máximo rendimiento se obtuvo en el tratamiento completo.

En Santiago Michac, la concentración más alta de P en biomasa (0.05%) ocurrió en el tratamiento sin B y el nivel bajo se observó en el testigo absoluto (0.02%). Al relacionar las concentraciones de P en grano y biomasa con los rendimientos, se aprecia que los máximos rendimientos se observaron en los tratamientos completos, no así la máxima concentración en fósforo.

Los resultados de concentración en grano y biomasa, concuerdan con los reportados por Obrador (1994), donde la mayor concentración de P, se observó en las muestras de grano, sin embargo, si se comparan los resultados obtenidos en la presente investigación y los datos reportados por Obrador (1994), éste último indicó un valor medio de 0.41% en grano y 0.16% en paja, valores superiores a los aquí expuestos (valor medio en grano 0.10% y 0.04% en biomasa). Estos resultados indican un déficit del elemento en cuestión en la planta, lo que sugiere que ésta no lo adquirió a pesar del elevado contenido inicial (32 y 31 ppm P-Olsen en Huamantla y Santiago Michac, respectivamente) en suelo y la elevada dosis de fertilización adicionada (260 kg ha⁻¹ en Huamantla y 450 kg ha⁻¹ en Santiago Michac).

Concentración de potasio

La concentración de K en muestras de hoja en etapa de jiloteo del maíz en Huamantla y Santiago Michac, no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Cuando la comparación de los tratamientos de fertilización se hizo entre agroecosistemas, se observaron dos grupos estadísticos, el grupo A donde las concentraciones de K fue más alta (1.62% en Huamantla y 1.42% en Santiago Michac) y en el grupo B que mostró las concentraciones de K más bajas (1.54% en Huamantla y 1.06% en Santiago Michac).

En muestras foliares. La concentración de potasio de los tratamientos de fertilización en Huamantla y Santiago Michac, fueron iguales. El valor máximo de concentración de éste elemento fue 1.62% en Huamantla y 1.42% en Santiago Michac y los valores mínimos fueron 1.36% y 1.54% respectivamente. Para Melsted *et al.* (1969), el nivel crítico de K en muestras de hoja, en la etapa de jilote del cultivo del maíz es 1.90%; de acuerdo a Reuter y Robinson (1997), el rango de concentración adecuada de potasio en esta etapa de desarrollo del cultivo es 2.1-3.0%. Según los datos proporcionados por estos autores, las concentraciones de K, en ambos agroecosistemas, estarían por debajo de lo ideal, a pesar de que los tratamientos con este elemento no respondieron a su aplicación. La aplicación de todos los fertilizantes se hizo aproximadamente entre 30 y 40 días después de la siembra y se sabe que el K es absorbido y requerido antes que el N y el P (Minar y Lastuvka, 1968)

A continuación se presenta la concentración de Ken muestras de grano y biomasa obtenidas en la etapa de la cosecha.

Cuadro 13. Concentración (%) de K, en muestras de grano y biomasa. Análisis por agroecosistema. 2012.

	NPKZnB	PKZnB	NKZnB	NPZnB	NPKB	NPKZn	Testigo absoluto
K % GRANO							
Huamantla	0.46 a	0.47 a	0.54 a	0.58 a	0.52 a	0.48 a	0.46 a
Santiago Michac	0.38 a	0.33 a	0.44 a	0.45 a	0.49 a	0.43 a	0.38 a
CEA	A	A	A	A	A	A	A
K % BIOMASA AEREA							
Huamantla	1.21 a	1.17 a	1.28 a	1.41 a	1.38 a	1.23 a	1.45 a
Santiago Michac	1.18 a	0.70 a	1.21 a	1.28 a	0.94 a	1.04 a	1.37 a
CEA	A	B	A	A	A	B	A

$\alpha = 10\%$. Letras minúsculas indican comparación entre tratamientos en un mismo sitio. Letras mayúsculas, indican comparación entre agroecosistemas.

Al comparar los agroecosistemas, se aprecia que no hubo diferencias en la concentración de K en grano, ni en la concentración de éste en biomasa.

En grano. En Huamantla, la mayor concentración de K en grano fue 0.56% y la menor 0.38%. En Santiago Michac, la mayor concentración de K en grano fue 0.49% y se observó en el tratamiento sin K mientras que la menor concentración se obtuvo en el testigo absoluto (0.38%). Dicho comportamiento no tiene una explicación racional. La concentración de este elemento no es habitualmente considerado como un indicador del estado nutricional del cultivo.

En biomasa aérea. En Huamantla, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, donde el valor más alto se apreció en el testigo absoluto (1.40%) y el nivel más bajo en el tratamiento sin boro (1.11%). Esto ocurre porque al acumularse menor cantidad de materia seca y siendo ésta la base de expresión de los resultados de los análisis químicos, la concentración aumenta. Este fenómeno se conoce como efecto de dilución.

En Santiago Michac, tampoco se observaron diferencias estadísticas significativas en la concentración de K entre tratamientos. El nivel más alto se apreció en el testigo

absoluto (1.38%) y el nivel más bajo en el tratamiento sin N (0.70%). En ambos agroecosistemas, la máxima concentración se observó en el testigo absoluto.

Obrador (1994) indicó valores medios de concentración de K de 0.32% en grano y 1.91% en biomasa, valores superiores a los reportados en la presente investigación, lo cual, al igual que en el caso del P, se concluye que hubo un déficit de K en las plantas, a pesar del nivel de suficiencia reportado en el análisis químico de suelo en ambos agroecosistemas (122 y 130 ppm en Huamantla y Santiago Michac, respectivamente) en el suelo y la elevada dosis de fertilización adicionada (230 kg ha⁻¹ en Huamantla y 380 kg ha⁻¹ en Santiago Michac). Recordamos lo dicho anteriormente acerca de la necesidad de calibrar adecuadamente los procedimientos analíticos.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en las parcelas de omisión del cultivo de maíz en condiciones de temporal, en Huamantla y Santiago Michac, durante el ciclo Primavera-Verano 2012, se concluye lo siguiente:

- Se comprobó que hubo diferencia de la producción máxima alcanzable de grano entre ambos agroecosistemas evaluados, en algunos tratamientos de fertilización. En general, los rendimientos de grano y biomasa fueron mayores en Huamantla que en Santiago Michac, a pesar que los resultados de análisis químico de suelo al inicio de los experimentos en ambos agroecosistema fueron semejantes y a que el último recibió una dosis de fertilización mayor que el primero. La hipótesis implícita en los objetivos que Santiago Michac tenía una mayor potencial que Huamantla se tiene que rechazar, considerando que, la posible explicación a los resultados obtenidos se deba a diferencias en el manejo agronómico de cada agroecosistema.
- En Huamantla se observaron deficiencias nutrimentales de N y de Zn, lo cual quedó demostrado por los menores rendimientos en grano y biomasa en los

tratamientos sin estos elementos, comparados con los obtenidos en el tratamiento completo.

- En Santiago Michac se observaron deficiencias nutrimentales de N, P y K, lo cual se hizo evidente por los menores rendimientos de grano y biomasa en los tratamientos sin estos elementos, comparados con los obtenidos en el tratamiento completo.
- Los rendimientos de grano y biomasa en Huamantla, indicaron que, el máximo rendimiento se generó en el tratamiento completo (3 217 kg ha⁻¹ y 8 885 kg ha⁻¹, respectivamente). En el caso del índice de cosecha, el valor máximo alcanzado fue 0.41, de un rango entre 0.26 y 0.41.
- Los rendimientos en grano y biomasa en Santiago Michac indican que, el máximo rendimiento fue 2 335 kg ha⁻¹ y 5 870 kg ha⁻¹, respectivamente, obtenidos ambos con la aplicación del tratamiento completo. El índice de cosecha máximo obtenido en esta zona fue 0.41 en el tratamiento sin Zn y el mínimo 0.18, reportado en el tratamiento sin potasio.
- La concentración de N, P y K en hojas en etapa de jilote del maíz en Huamantla no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. La concentración más alta de estos elementos fueron: 2.98%, 0.12% y 1.61%, respectivamente.
- La concentración de N, P y K en hojas en etapa de jilote del maíz en Santiago Michac, indicaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en el caso de N, no así en P y potasio. La evaluación de medias entre los tratamientos para determinar la concentración de N generó dos grupos estadísticos, donde el valor alto fue 2.22%, perteneciente al grupo a y en el grupo b se conformó por el valor más bajo (1.27%). El nivel alto de P fue 0.09% y el nivel alto de K fue 1.42%.
- Las concentraciones de N y P en muestras de grano y biomasa en ambos agroecosistemas mostraron porcentajes elevados de estos nutrientes en grano, no así en potasio, éste último fue más alto en la biomasa.

- Al comparar los rendimientos con las concentraciones de N, p y K se observaron niveles altos de concentración en aquellos tratamientos donde se reportaron altos rendimientos.

AGRADECIMIENTOS

Al CIMMYT por el financiamiento para la instalación de las parcelas de omisión en el estado de Tlaxcala, específicamente al Dr. Iván Ortiz-Monasterio por su apoyo dentro del Programa MasAgro para realizar tal fin; también se agradece al M.C. Luis Guerra Zitlalapa, por las facilidades otorgadas para la obtención de fertilizantes.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Bates, C.A. 1965. Determination of pH. Theory and practice. John Wiley. New York, USA. pp. 935.
- Bennett, W.F., Stanford G. and Dumenil L. 1953. Nitrogen phosphorus, and potassium content of corn leaf and grain as related to nitrogen fertilization and yield. Soil.Sci. Soc. Am. Proc. 17: 252-258.
- Bremner, J.J 1965. Total nitrogen. In c.A. Black (ed.) Methods of soil analysis Part2. Agronomy 9:1149-1178. American society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. pp: 891-901. In: C.A. Black (ed.) Methods of analysis. Part2. American Society of Agronomy. Madison Wisconsin. (Agronomy 9).
- Chapman, H.D. and Pratt P.F. 1979. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas, México.
- Cortés, F.J. y Turrent F.A. 2012. Una tecnología multi objetivo para pequeñas unidades de producción. Políticas Agropecuarias, forestales y pesqueras.

Análisis estratégico para el desarrollo. Consejo Nacional de Universitarios. pp: 162-178.

- Etchevers, B.J. 2012. El cultivo del maíz. Nutrición. Edit. Mundi-Prensa. México
- Etchevers, B.J. y Volke H.V. 1991. Generación de tecnologías mejoradas para pequeños productores. Cuadernos de Edafología 17. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados.
- Flores, M. P. 1988. Determinación de dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada en el estado de Tlaxcala mediante un modelo simplificado. Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- Galvis, S.A. 1990. Validación de normas de fertilización de N y P estimadas con un modelo simplificado para maíz, con las dosis obtenidas en la experimentación en campo. Colegio de Postgraduados. 175 p.
- Goodall, D.W. and Gregory F.G. 1947. Chemical composition of plants as an index of their nutritional status. Imp. Bur. Hort. Tech. Commun. 17.
- Hernández X., E. (edit). 1977. Agroecosistemas de México. CP-ENA. p. 42
- Iriarte, A. R.1981. Uso de información cartográfica como marco de referencia para la generación de tecnología de producción para maíz de temporal en la región de Huamantla, Tlaxcala. Colegio de Postgraduados, tesis de Maestría.
- Jackson, M.L. 1982. Análisis químico de suelos. Traducido del inglés por J. Beltrán M. Omega, Barcelona, España.
- Lal, R. y Stewart B.A. 1995. Soil management. Experimental basis for sustainability and environmental quality. Edit. Lewis Publishers. pp: 1-2.
- Linday, W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Soc. Am. J. 42: 421-428.
- María, R.A., Hernández C.J., Muñoz V.E. y Ríos S.A. 2010. Informe final de actividades 2008-2010. Biodiversidad y distribución actual de los maíces nativos en Tlaxcala. INIFAP.
- Minar, J and Lastuvka, Z. 1968. The dynamics of the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in maize and peas in the first growth phases at constant mineral nutrition. Biologia Plantarum. 11 (2): 149-157.

- Muthukumar, V. B., Velayudham K., y Thavaprakash N. 2005. Growth and yield of baby corn (*Zea mays* L.) as influenced by plant growth regulators and different time of nitrogen application. *Journal of Agriculture and Biological Science*, 1(4): 303-307.
- Obrador, O.J. 1994. Validación de parámetros de planta y clima que se utilizan en un modelo simplificado destinado a determinar dosis de fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio para maíz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Oldeman, L.R. 1988. Guidelines for general assessment of the status of human induced soil degradation. ISRIC Report 88/04.
- Olsen, S.R. and Dean L.A. 1965. Phosphorus. Pp 1035-1049. In C.A. Black (ed) *Methods of soil analysis. Part 2*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (Agronomy 9).
- Olsen, S.R., Cole C.V., Watanabe F.S. and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US. Department Agr. Circ 939.
- Reuter D.J and Robinson J.B. 1997. *Plant Analysis and Interpretation Manual*. Second edition. ASPAC. Australian Soil and Plant Analysis Council Inc.
- Rodríguez S.J. 1990. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. pp. 17-23.
- Rodríguez, S.J. 1987. Normas de fertilización para el cultivo de la cebada y el maíz en el estado de Tlaxcala, México. Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología. Informe técnico.
- Seethambaram Y and Das VSR (1986) Effect of Zn deficiency on enzyme activities of nitrate reduction and ammonia assimilation of *oryza sativa* L. and *pennisetum americanum* L. Leeke. *Proc Indian National Sci Aca (Biol Sci)* 52:491-494

- Shepers, J.S., Francis D. Vigil M. and Below F.E. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 23: 17-20.
- Turrent, F.A., Wise A.T. y Garvey E. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo del maíz de México. Universidad de Tufts. Reporte 24.
- Tyner, E.H. 1947. The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus and potassium content. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 11:317-323.
- Ulrich, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. *Ann. Rev. of Plant Physiol.* 3:207-228.
- Wortman, S. y Cumming R.W. 1978. To feed this world. The challenge and the strategy. Jhon Hopkins University Press, Baltimore.

PARCELAS DE OMISIÓN. MASAGRO 2011-2013

**MARIANA M. SÁNCHEZ ROLDÁN¹, IVÁN ORTIZ-MONASTERIO ² y JORGE D. ETCHEVERS
BARRA³**

**¹Estudiante de doctorado en Edafología, Colegio de Postgraduados
²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
³ Colegio de Posgraduados, Edafología**

INTRODUCCIÓN

De todos los factores que influyen en el crecimiento y producción de los cultivos, la nutrición vegetal, sin lugar a dudas, es uno de los que pueden ser más determinantes (Alcántar y Trejo-Téllez, 2007). Desde la antigüedad el hombre se ha interesado por la respuesta de las plantas al ambiente y ha llegado a la conclusión de que sus esfuerzos deben concentrarse en la creación de las condiciones necesarias para asegurar normal su crecimiento y desarrollo. Ese es el medio para lograr elevar los rendimientos de la producción agrícola y mejorar la calidad en las cosechas. La producción de cultivos es un proceso directamente relacionado con el crecimiento, una función que a su vez depende del suelo, clima y manejo, principalmente, y la manera de cómo estos factores influyen en la producción es a través de mecanismos muy diversos.

A finales del siglo pasado, el Panel Asesor en Seguridad Alimentaria, Agricultura, Forestación y Ambiente (1987) ya indicaba que “las próximas décadas presentarían el mayor desafío que los sistemas alimentarios del mundo pudieran jamás enfrentar. El esfuerzo necesario para incrementar la producción en ritmo con un aumento sin precedentes de la demanda, manteniendo la integridad ecológica esencial de los sistemas alimentarios, es colosal tanto en magnitud, como en complejidad” (IPNI, 2012).

A la par, a partir de los años sesenta del siglo XX, la sociedad mundial inició un proceso de observación y reflexión acerca de los efectos negativos en el manejo de

los recursos naturales y el efecto de esos en el medio ambiente, en particular por el uso excesivo de sustancias químicas. Entre éstas se ubican las empleadas en la agricultura para el combate de plagas y enfermedades y aquellas que se usan para mantener o mejorar la fertilidad de los suelos. Sin duda, los agroquímicos han contribuido – y bien manejados continuarán haciéndolo- a la producción de alimentos y otros bienes derivados de la agricultura (Jiménez, 2012), pero su abuso puede provocar efectos indeseables aún no registrados.

En México, alrededor del 60% de las unidades de producción poseen menos de cinco hectáreas, dedicadas fundamentalmente a la producción de granos básicos. Están ubicadas en cuencas bajas cuya tierra de labor tiene pendientes menores a 20% y en cuencas altas en laderas con pendientes de 20 a 40% o mayores (Cortés y Turrent, 2012).

La superficie destinada para la agricultura en México representa 22.1 millones de hectáreas, de las cuales 16.7 millones (76%) se destinan a una agricultura de temporal y 5.4 millones (24%) son superficie agrícola de riego. (SIAP-SAGARPA, 2015). En esta superficie es donde se realiza la mayor parte de la producción agrícola de país. Los cultivos básicos de temporal dominan geográficamente la agricultura mexicana. Tres tipos de unidades agrícolas coexisten: tradicional, de subsistencia y comercial. La tierra de cultivo, que representa aproximadamente 15% del total, ocupa áreas esparcidas en todo el país. Esta dispersión, aunada a la topografía accidentada y la diversidad climática, genera condiciones agrícolas contrastantes (Turrent *et al.*, 2005), creando diversidad de espacios destinados a la agricultura.

El maíz es el principal cultivo en México, participa con el 18% del valor de producción del sector agrícola y concentra el 36% de la superficie sembrada en el territorio nacional (7.5 millones de hectáreas). El volumen de producción de maíz en 2013 alcanzó 35.3 millones de toneladas (SIAP-SAGARPA, 2015). Mientras que la superficie de temporal ocupa el 74% de la superficie, aporta únicamente el 40% del valor generado. Todas las entidades del país presentan algún nivel de producción de maíz, sin embargo, siete entidades concentran el 64.5% del volumen de

producción nacional. Sinaloa es el principal productor al concentrar el 16.5% del total. Le siguen en importancia Jalisco, Michoacán, Estado de México, Chiapas, Guerrero y Veracruz (FND, 2014).

La presente investigación evaluó los resultados de parcelas de omisión, instaladas en 16 Estados, con un total de 65 experimentos, a fin de determinar deficiencias nutrimentales en el cultivo de maíz, en condiciones de temporal y de riego, de maíz criollo e híbrido. La decisión de incluir éste capítulo, responde a las condiciones climatológicas del 2011, que impidieron reportar resultados en campo en el estado de Tlaxcala, por tanto, en colaboración con el CIMMYT y el Dr. Iván Ortiz-Monasterio se acordó trabajar en el proyecto MasAgro y reportar los resultados nacionales en la presente tesis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recopilación de información y curado de datos

Se recopilaron todos los datos de los ensayos de omisión de correspondientes a los años 2011, 2012 y 2013 establecidos en 16 Estados, conducidos por especialistas de Mas Agro en cada una de las regiones seleccionadas. Para un mejor manejo de la información se creó una base de datos en archivo Excel y se realizó un proceso de curación de éstos, revisando uno por uno los experimentos para verificar que los valores reportados por los especialistas de campo responsables de la conducción los mismos estuviesen dentro de rangos considerados como compatibles con los agroecosistemas de donde provenían.

Análisis de datos

Los resultados incluidos en la base de datos correspondieron a parcelas experimentales de omisión. Los llamados ensayos de omisión constaron de un tratamiento completo consistente en la fertilización “completa” con cinco elementos (nitrógeno, fósforo, potasio, zinc y boro en la dosis que se indica en los cuadro correspondiente a una región) y cinco tratamiento caracterizados por la ausencia de

uno de estos elementos; esto es, se adicionaron todos los elementos indicados en el tratamiento completo excepto uno, lo que resultó en los siguientes tratamientos llamados completos: menos nitrógeno (-N), menos fósforo (-P), menos potasio (-K), menos zinc (-Zn) y menos boro (-B) y un testigo absoluto, el cual careció de fertilización, esto para mostrar la respuesta a la fertilidad natural del suelo. En algunos experimentos hubo un tratamiento adicional al que se le adicionó la dosis que normalmente emplea el agricultor. Adicionalmente en ciertos Estados se incluyó un tratamiento con hierro y azufre, lo cual se especifica en el cuadro de tratamientos respectivo, así como en las gráficas. El cultivo ensayado en todos los casos fue maíz, sembrándose la variedad más indicada para cada zona. En algunos casos el experimento se montó en condiciones de temporal y en otros de riego, lo cual se indica en cada caso (Cuadro 1).

Las dosis de fertilización empleada en cada sitio experimental establecido en cada *hub* fueron decididas por la opinión del experto que condujo el experimento, en función de su experiencia y conocimiento de la zona, apoyado por los resultados de los análisis químicos de suelos, así como en su conocimiento y experiencia en el agroecosistema respectivo. Tratándose de un experimento de carácter nacional exploratorio, no en todas las parcelas se establecieron repeticiones, lo que impidió la realización de análisis estadísticos, sin embargo se realizó un análisis de varianza

Para el cálculo del nitrógeno hipotéticamente disponible en cada sitio, se supuso que la materia orgánica que fue reportada en el análisis químico del suelo, contendría aproximadamente 5% de nitrógeno, su tasa de mineralización sería 2% y que cada hectárea tendría aproximadamente 2 millones de kilos (Vanotti y Bundy, 1994). La suma del nitrógeno inorgánico reportada por el laboratorio más el aporte de la mineralización de la materia orgánica daría la disponibilidad del nitrógeno en la parcela testigo. Se consideró que la eficiencia de nitrógeno disponible en la solución de suelo es de aproximadamente 50%, lo cual se empleó para hacer un cálculo teórico de la cantidad de este elemento que pudiese estar disponible en los tratamientos testigos. Se sabe que una tonelada de materia seca de maíz requiere que la planta absorba aproximadamente 10 kg de nitrógeno, esto es

aproximadamente 20 kilos por cada tonelada de grano para los maíces híbridos y que el índice de cosecha del maíz es aproximadamente 0.45 para los híbridos y 0.39 para los maíces criollos (Rodríguez, 1987; Obrador 1994)

Al momento de la madurez se realizó la cosecha por parte de los equipos técnicos responsables de cada zona. Sólo se midió el rendimiento de grano.

Posteriormente, se realizó un análisis de comparación de medias empleando la diferencia mínima significativa entre tratamientos (DMS) en cada experimento, excepto en aquellos casos donde no se contó con repeticiones de éstos. Los experimentos pertenecientes al mismo Estado se agruparon y se realizó análisis de varianza del promedio de los rendimientos por tratamientos de los experimentos de omisión. Luego se hizo un análisis de regresión, con el objetivo de determinar que variable independiente resultaba estadísticamente significativa para la variable dependiente (rendimiento).

Para cada una de las entidades federativas se presentan dos cuadros: en el primero de ellos se incluye la localidad y el año de ejecución de cada tratamiento. Cabe destacar que, los tratamientos, incluso pertenecientes al mismo Estado, no recibieron las mismas dosis de fertilización, porque éstas se sujetaron a la consideración del técnico responsable de la instalación de cada experimento, bajo el argumento que él era la persona con mejor el conocimiento del sitio experimental, lo que aunado a los resultados del análisis químico de suelos le permitían sustentar su decisión.

Después del cuadro indicado más arriba se muestra una figura que corresponde a los rendimientos de grano de maíz a la cosecha (promedio de cuatro, tres, dos repeticiones o ninguna repetición; el número de repeticiones fue decisión del técnico).

En el año 2012, las parcelas se sembraron en franjas y no hubo repeticiones. Los tratamientos asignados con la misma letra arriba de cada columna del histograma correspondiente son estadísticamente iguales, los que tienen letras diferentes difieren estadísticamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestra cada uno de los experimentos, especificando el grupo al que pertenecen, número de experimentos por “hub”, ubicación, año en que se instalaron, así como el régimen hídrico (temporal o T y riego R) y el material vegetal que se utilizó (híbrido o H y criollo o C).

Cuadro 1. Experimentos de Omisión establecidos en diferentes estados de México en los años 2011, 2012 y 2013.

GPO	No. EXPERIMENTO	HUB	ESTADO	LOCALIDAD	AÑO	SISTEMA HÍDRICO ¹	MATERIAL VEGETAL ²
1	1	BAJIO	JALISCO	TEPATITLAN	2011	T	H
1	2	BAJIO	JALISCO	LA BARCA	2011	T	H
1	3	BAJIO	JALISCO	LOS SALATES	2012	T	H
1	4	BAJIO	JALISCO	TEPATITLAN	2012	T	H
1	5	BAJIO	JALISCO	CASA BLANCA	2013	T	H
1	6	BAJIO	JALISCO	LAS CRUCES	2013	T	H
2	1	BAJIO	MICHOACAN	INDAPARAP EO	2011	R	C
2	2	BAJIO	MICHOACAN	CHARO	2012	T	H
2	3	BAJIO	MICHOACAN	INDAPARAP EO	2012	R	H
2	4	BAJIO	MICHOACAN	ALVARO O. LA LAGUNA	2013	T	H
2	5	BAJIO	MICHOACAN	INDAPARAP EO	2013	T	H
3	1	BAJIO	GUANAJUATO	CEBAJ, INIFAP	2011	R	H
3	2	BAJIO	GUANAJUATO	CEBAJ, INIFAP	2012	R	H
3	3	BAJIO	GUANAJUATO	CEBAJ, INIFAP	2013	R	H
4	1	BAJIO	QUERETARO	PEDRO ESCOBEDO	2013	R	H
5	1	TROPICO	CHIAPAS	SAN ISIDRO. EL GAVILAN	2011	T	H
5	2	TROPICO	CHIAPAS	JOSE ABADIA AGUILAR	2012	T	H

5	3	TROPI CO	CHIAPAS	RANCHO KIKAPU	2012	T	H
5	4	TROPI CO	CHIAPAS	LA CONCORDI A	2013	T	H
5	5	TROPI CO	CHIAPAS	LA ILUSION	2013	T	H
5	6	TROPI CO	CHIAPAS	VALLE HERMOSO	2013	T	H
6	1	TROPI CO	GUERRERO	CEIGUA	2012	T	H
6	2	TROPI CO	GUERRERO	CSAEGRO	2012	T	H
6	3	TROPI CO	GUERRERO	CEIGUA	2013	T	H
7	1	TROPI CO	OAXACA	HUIXTEPEC	2012	T	C
7	2	TROPI CO	OAXACA	SINAXTLA	2012	T	C
7	3	TROPI CO	OAXACA	TLACOLULA	2012	T	C
7	4	TROPI CO	OAXACA	AYOQUEZC O	2013	T	C
7	5	TROPI CO	OAXACA	CHOCANI	2013	T	C
7	6	TROPI CO	OAXACA	QUIANE	2013	T	C
7	7	TROPI CO	OAXACA	SINAXTLA	2013	R	C
7	8	TROPI CO	OAXACA	ZAACHILA	2013	R	C
8	1	TROPI CO	QUINTANA ROO	XUL-HA	2013	T	H
8	2	TROPI CO	QUINTANA ROO	JUAN SARABIA	2013	T	H
9	1	VALLE S	ESTADO DE MEXICO	ICAMEX	2011	T	C
9	2	ALTOS VALLE S	ESTADO DE MEXICO	SANTA LUCIA. INIFAP	2012	T	C
9	3	ALTOS VALLE S	ESTADO DE MEXICO	JUCHITEPE C	2013	T	H
9	4	ALTOS VALLE S	ESTADO DE MEXICO	TEMAMATL A	2013	T	H
10	1	ALTOS VALLE S ALTOS	HIDALGO	ATOTONILC O EL GRANDE	2011	T	H

10	2	VALLE S	HIDALGO	ATOTONILC O EL	2012	T	H
10	3	ALTOS VALLE S	HIDALGO	GRANDE HUAJOMUL CO	2012	T	H
10	4	ALTOS VALLE S	HIDALGO	ACAXOCHIT LAN	2012	T	H
10	5	ALTOS VALLE S	HIDALGO	ACAXOCHIT LAN	2013	T	C
10	6	ALTOS VALLE S	HIDALGO	ATOTONILC O EL	2013	T	H
10	7	ALTOS VALLE S	HIDALGO	GRANDE HUAJOMUL CO	2013	T	C
10	8	ALTOS VALLE S	HIDALGO	METEPEC	2013	T	C
12	1	ALTOS VALLE S	PUEBLA	SN. PEDRO TLALTENAN GO	2011	T	H
12	2	ALTOS VALLE S	PUEBLA	HUEJOTZIN GO	2013	T	C
12	1	ALTOS VALLE S	TLAXCALA	HUAMANTL A	2012	T	C
12	2	ALTOS VALLE S	TLAXCALA	SANTIAGO MICHAC	2012	T	C
12	3	ALTOS VALLE S	TLAXCALA	SANTIAGO MICHAC	2012	T	C
12	4	ALTOS VALLE S	TLAXCALA	SANTIAGO MICHAC	2012	T	C
12	5	ALTOS VALLE S	TLAXCALA	HUAMANTL A FCO.	2012	T	C
12	6	ALTOS VALLE S	TLAXCALA	VILLA HUAMANTL A FCO.	2012	T	C
13	1	ALTOS INTER MEDIO	SAN LUIS POTOSI	VILLA EL EBANO	2013	R	H
13	2	ALTOS INTER MEDIO	SAN LUIS POTOSI	TAMUIN	2013	R	H
14	1	PACIFI CO	SINALOA	FELIPE IBARRA	2012	R	H

14	2	PACIFI CO	SINALOA	ENRIQUE MEZA	2012	R	H
14	3	PACIFI CO	SINALOA	INIFAP- CEVAF	2012	R	H
14	4	PACIFI CO	SINALOA	RAMON REYES	2012	R	H
15	1	PACIFI CO	SONORA	EPCHOJOA BACAME	2012	R	H
15	2	PACIFI CO	SONORA	EPCHOJOA BACAME	2012	R	H
15	3	PACIFI CO	SONORA	BENITO JUAREZ	2012	R	H
15	4	PACIFI CO	SONORA	ECOPACO HUATABAM PO	2012	R	H

¹Régimen hídrico (temporal= y riego=R); ²Material vegetal utilizado (híbrido=H y criollo= C).

Para el análisis de regresión, se consideró como variable **dependiente** al rendimiento y como variables **independientes**: dosis de fertilización (N, P, K, Zn y B, en cierto experimentos S y Fe), Materia orgánica (MO), Régimen hídrico (1: Temporal y 2: Riego) y Tipo de Semilla (1: Raza nativa y 2: Híbrido).

Del Cuadro 1 se muestra que los experimentos se agruparon por *hubs*, en los cuales se trabajó por 3 años consecutivos (2011-2013), bajo condiciones de riego y temporal. En total se tuvieron 15 *hubs*. Cada *hub* pertenece a uno o más Estados y a varias localidades dentro de cada Estado. A continuación se muestran los resultados de los *hubs* por Estado.

Grupo 1: Jalisco

En los Cuadro 2 y 3 se presentan las dosis de fertilización aplicadas en la localidad de Tepatitlán y La Barca, Jalisco, pertenecientes al *hub* Bajío, en el año 2011. En la Figura 1 y 2 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos establecidos en Jalisco en dicho año, ambos sitios, en condiciones de temporal.

Cuadro 2: Dosis de fertilización aplicada al experimento conducido en la localidad de Tepatitlán, Jalisco del *hub* Bajío en 2011.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	283	46	60	1	1
2	0	46	60	1	1
3	283	0	60	1	1
4	283	46	0	1	1
5	283	46	60	0	1
6	283	46	60	1	0
7	180	158	0	0	0
8	0	0	0	0	0

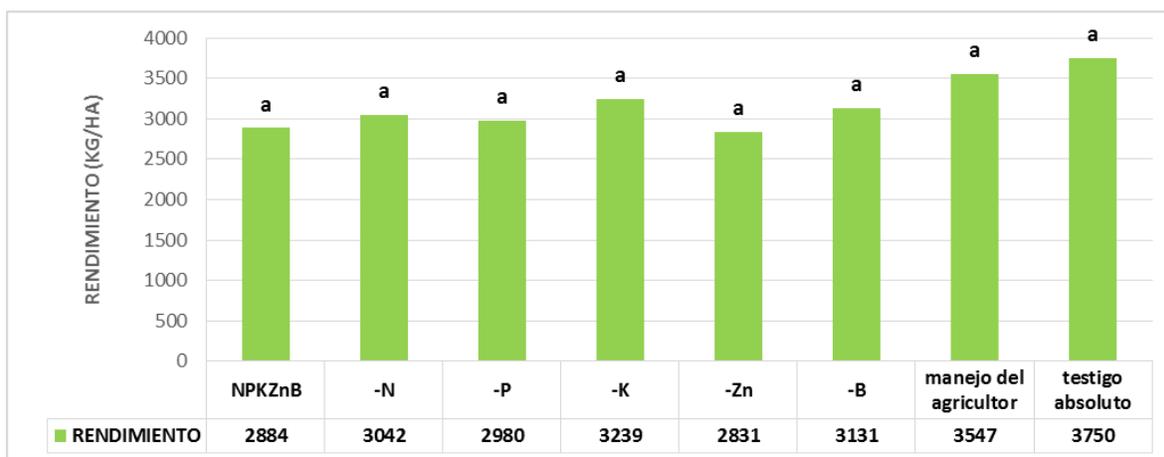


Figura 1. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Tepatitlán, Jalisco del *hub* Bajío en el 2011.

En la Figura 1 se muestra que en el sitio de Tepatitlán no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de fertilización. Sin embargo, desde un punto de vista agronómico, el tratamiento testigo absoluto resultó ser el que arrojó el rendimiento más alto (3750 kg ha⁻¹) y el rendimiento más bajo se produjo en el tratamiento menos zinc (2831 kg ha⁻¹). El comportamiento del testigo absoluto es difícil de explicar. El tratamiento sin zinc tuvo una diferencia de casi 1 ton ha⁻¹ de grano con respecto al testigo absoluto y un valor muy parecido al tratamiento

completo (2284 kg ha⁻¹). La ausencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos hace suponer que el sitio experimental tenía una elevada heterogeneidad, lo que provocó que la desviación estándar entre las repeticiones fuese elevada. La autora, que no controló personalmente los experimentos de campo por las razones explicadas más arriba y no encuentra una respuesta científicamente razonable, para que el testigo absoluto de ese sitio tuviese rendimientos superiores a los tratamientos con fertilización, excepto que el suelo del sitio contuviese la mayoría de los elementos para alcanzar el rendimiento máximo posible del agroecosistema en el año de referencia y la adición de dosis relativamente elevadas de nitrógeno, fósforo y potasio provocase una depresión de los rendimientos en esos tratamientos. Esta hipótesis no se pudo comprobar porque el experimento no contó con análisis químico de suelo, que permitiese corroborar lo obtenido en campo. Se sugiere en futuras investigaciones, la implementación rigurosa del análisis químico de muestras de suelo a fin de definir la fertilidad del suelo evaluado.

Cuadro 3. Dosis de fertilización aplicada al experimento conducido en la localidad de La Barca, Jalisco del *hub* Bajío en 2011.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	248	46	60	1	1
2	0	46	60	1	1
3	248	0	60	1	1
4	248	46	0	1	1
5	248	46	60	0	1
6	248	46	60	1	0
7	160	69	0	0	0
8	0	0	0	0	0

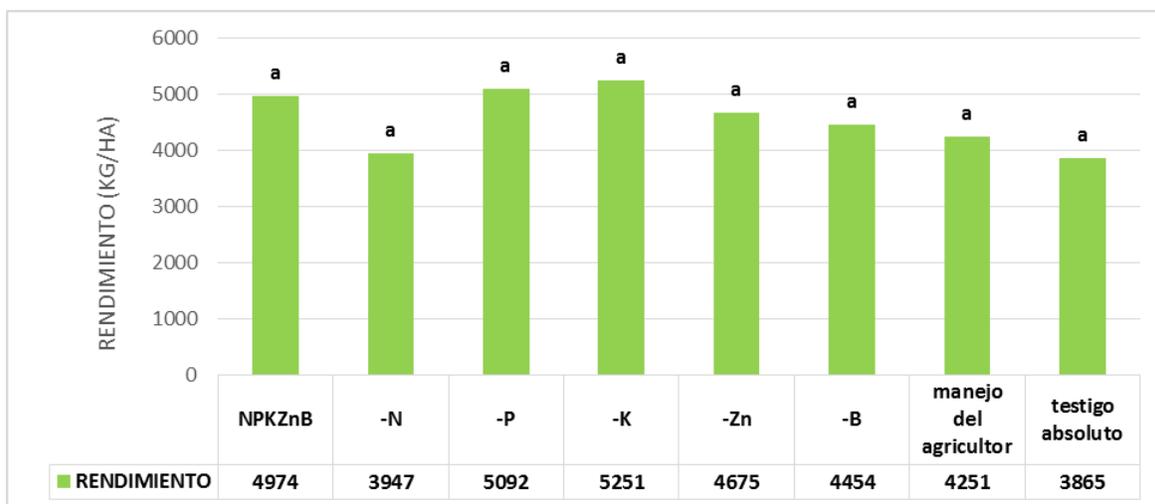


Figura 2. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de La Barca, Jalisco del *hub* Bajío en el 2011.

La Figura 2 muestra el rendimiento y el análisis estadístico de los rendimientos de los tratamientos instalados en la localidad La Barca. No se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de fertilización. El rendimiento agronómico más bajo correspondió al testigo absoluto (3865 kg ha⁻¹), lo cual es concordante con la teoría y contrastó con el rendimiento del tratamiento menos potasio, que alcanzó 5251 kg ha⁻¹, lo cual indicaría que existe en ese suelo un nivel elevado de este elemento. Al respecto, el análisis químico de suelos, indica una concentración de 553 ppm o 1.4 cmoles kg⁻¹ de potasio en la parcela en cuestión que el laboratorio juzga como moderado, sin embargo, la experiencia personal nos muestra que dicho valor estaría en un rango alto, lo cual concuerda con lo observado en campo. Al no aplicar potasio en la fórmula se obtuvieron los rendimientos más elevados. En este sitio llama la atención que el rendimiento en el tratamiento menos nitrógeno (3947 kg ha⁻¹) fue casi igual al del testigo absoluto, insinuando la existencia de un déficit de nitrógeno, lo cual se tradujo en una respuesta a la aplicación de este elemento, según se observa en el rendimiento del tratamiento completo (4947 kg ha⁻¹). El análisis químico de suelo indicó una concentración de N-NO₃ de 18.6 ppm y 2.02% de materia orgánica. Teóricamente,

la materia orgánica aportaría al sistema 40 kg de nitrógeno. La suma de nitrógeno inorgánico y materia orgánica aportaría al sistema 77 kg ha⁻¹ de nitrógeno, sin embargo se considera una eficiencia del nitrógeno disponible en la solución de suelo de aproximadamente 50%, por tanto, las plantas sólo habrían contado con 38.5 kg ha⁻¹ de nitrógeno disponible. Esto quiere decir que el suelo evaluado, en su condición natural, pudo abastecer una producción de 3 850 kg ha⁻¹ de materia seca o 1 925 kg ha⁻¹ de grano de maíz según las consideraciones establecidas al inicio de este capítulo. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (3 947 kg ha⁻¹) indicando un alto grado de disponibilidad de nitrógeno en el sitio evaluado. La concentración de P-Bray 1 fue de 82 ppm de P, suficiente para que se produjesen 5 092 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo).

En los Cuadro 4 y 5 se presentan las dosis de fertilización aplicadas en la localidad de Los Salates y Tepatitlán, Jalisco, pertenecientes al *hub* Bajío, en el año 2012. En las Figuras 3 y 4 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos establecidos en Jalisco en dicho año, ambos sitios, se establecieron en condiciones de temporal. En el sitio de Los Salates (2012) se aplicó 285 kg/ha de nitrógeno y en Tepatitlán (2012) 248 kg/ha. La dosis de P₂O₅ empleada en Tepetitlán fue superior (71 kg/ha) a la aplicada en esa localidad en 2011 (46 kg/ha) y muy parecida a la de Los Salates (69 kg/ha). Las dosis de potasio fueron 36 y 60 kg/ha de K₂O, respectivamente.

Cuadro 4: Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Los Salates, Jalisco del *hub* Bajío en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	285	69	36	1	1
2	0	69	36	1	1
3	285	0	36	1	1
4	285	69	0	1	1
5	285	69	36	0	1
6	285	69	36	1	0
7	0	69	36	0	0
8	180	69	0	0	0

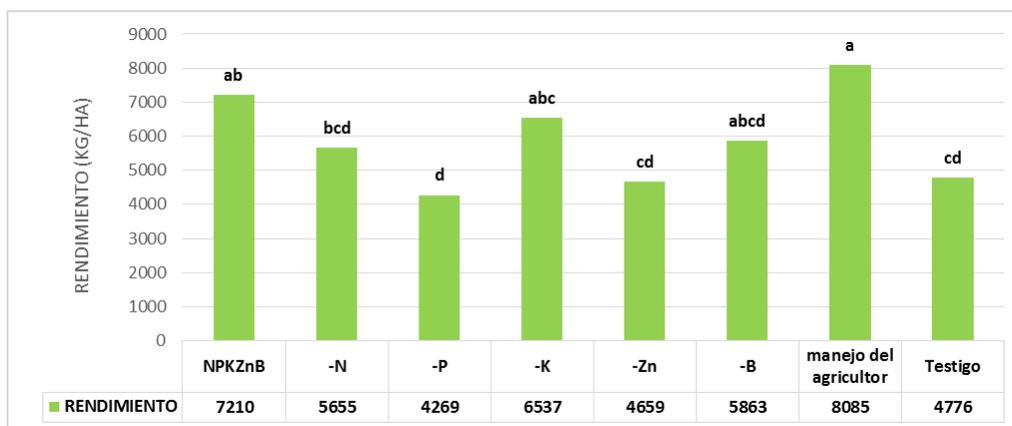


Figura 3. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Los Salates, Jalisco del *hub* Bajío en el 2012.

En Los Salates (Figura 3), el mayor rendimiento se observó con el manejo del agricultor ($8\ 085\ \text{kg ha}^{-1}$), sin embargo éste no fue estadísticamente diferente al tratamiento completo o aquellos sin potasio y boro. El menor rendimiento biológico se observó en el tratamiento sin fósforo ($4\ 269\ \text{kg ha}^{-1}$), el cual estadísticamente fue semejante a los tratamientos sin nitrógeno, zinc, boro y al testigo absoluto, lo que sugiere la importancia de la fertilización con éstos elementos. El análisis químico de suelos indicó un porcentaje de 3.9% de materia orgánica, lo que teóricamente, debería aportar al sistema $78\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno disponible. En el análisis químico no se indicó la concentración de N-NO_3 , por tanto el cálculo de nitrógeno en suelo solo se estimó con el porcentaje de materia orgánica. Si se considera una eficiencia de nitrógeno disponible del 50%, el cultivo del maíz, tan sólo contó con $39\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno proveniente de esta fuente. El suelo, en su condición natural, pudo abastecer una producción de $3\ 900\ \text{kg ha}^{-1}$ de materia seca o $1\ 950\ \text{kg ha}^{-1}$ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($5\ 655\ \text{kg ha}^{-1}$) indica un alto grado de disponibilidad de nitrógeno o bien una concentración considerable de N-NO_3 que favorecieron la producción de maíz. La concentración de P-Bray 1 fue de

17 ppm de P, suficiente para una producción de 4 269 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio en suelo fue de 200 ppm de K, suficiente para una producción de 6 537 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 5: Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Tepatitlán, Jalisco del *hub* Bajío en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	248	71	60	1	1
2	0	71	60	1	1
3	248	0	60	1	1
4	248	71	0	1	1
5	248	71	60	0	1
6	248	71	60	1	0
7	0	0	0	0	0
8	180	71	0	0	0

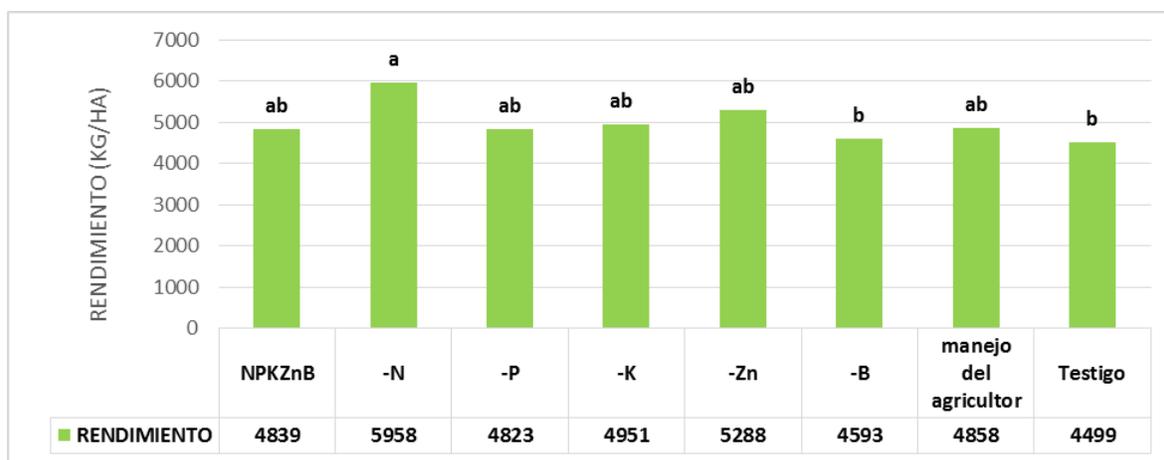


Figura 4. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Tepatitlán, Jalisco del *hub* Bajío en el 2012.

En Tepatitlán (Figura 4) el mayor rendimiento se apreció en el tratamiento sin nitrógeno ($5\ 958\ \text{kg ha}^{-1}$) y estadísticamente no fue diferente al tratamiento completo y aquellos tratamientos sin P, K, Zn y el manejo del agricultor. Al respecto, el resultado resulta contradictorio, pero no se puede dar fe de la calidad de los resultados, toda vez que éstos fueron proporcionados sin mayor detalle por los conductores de los experimentos. El rendimiento más bajo, se observó en los tratamientos sin B y el testigo absoluto ($4\ 593$ y $4\ 499\ \text{kg ha}^{-1}$, respectivamente). El experimento no contó con análisis químico de suelo, limitando la interpretación de los resultados obtenidos en campo.

En los Cuadro 6 y 7 se presentan las dosis de fertilización aplicadas en la localidad de Casa Blanca y Las Cruces, Jalisco, pertenecientes al *hub* Bajío, en el año 2012. En las Figuras 5 y 6 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos establecidos en Jalisco en dicho año, ambos sitios, en condiciones de temporal.

En Casa Blanca, se aplicó $323\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno, en tanto, en Las Cruces la dosis fue de $192\ \text{kg ha}^{-1}$, considerablemente inferior al primer sitio. Respecto a las dosis de P_2O_5 , en Casa Blanca se aplicó $46\ \text{kg ha}^{-1}$ al igual que en Las Cruces y en cuanto a la dosis de K_2O , en ambos sitios se aplicó $60\ \text{kg ha}^{-1}$.

Cuadro 6: Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Casa Blanca, Jalisco del *hub* Bajío en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P_2O_5	K_2O	Zn	B
1	323	46	60	1	1
2	0	46	60	1	1
3	323	0	60	1	1
4	323	46	0	1	1
5	323	46	60	0	
6	323	46	60	1	0
7	0	0	0	0	0

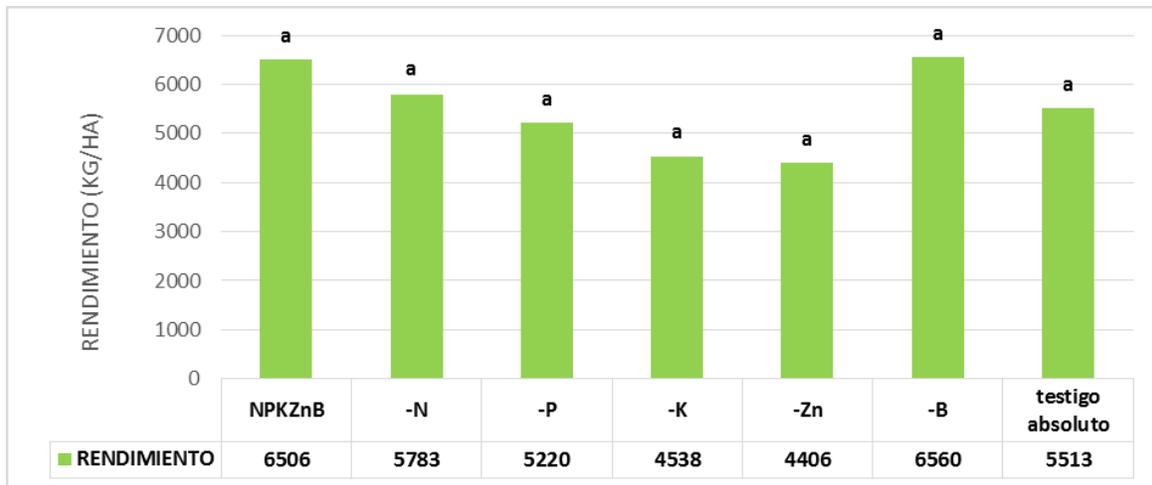


Figura 5. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Casa Blanca, Jalisco del *hub* Bajío en el 2013.

En Casa Blanca (Figura 5), no se observaron diferencias estadísticas de rendimiento de grano entre tratamientos, sin embargo, agrónomicamente la diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de una tonelada entre la parcela sin boro ($6\ 560\ \text{kg ha}^{-1}$) y el testigo absoluto ($5\ 513\ \text{kg ha}^{-1}$). La ausencia de diferencia estadística entre tratamientos hace suponer que el sitio experimental tenía un alto grado de heterogeneidad, lo cual se tradujo en repeticiones con desviaciones estándar elevadas. El análisis químico de suelo indicó un porcentaje de 3.8% de materia orgánica, lo que supone un aporte de nitrógeno a la solución del suelo de $77\ \text{kg ha}^{-1}$. No se reportó el valor del análisis químico de N-NO_3 . La eficiencia de nitrógeno disponible en la solución se consideró de aproximadamente 50%, por tanto, hipotéticamente las plantas habrían tenido a su disposición de esta fuente, tan sólo $38\ \text{kg ha}^{-1}$ sólo de la materia orgánica. El suelo evaluado, en su condición natural, pudo abastecer una producción de $3\ 800\ \text{kg ha}^{-1}$ de materia seca o $1\ 900\ \text{kg ha}^{-1}$ de grano. Sin embargo, el rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($5\ 783\ \text{kg ha}^{-1}$), indica que había alto grado de disponibilidad de nitrógeno, producto –tal vez- del efecto residual de fertilizaciones previas, que se acumula en el suelo. Rodríguez (1987) señala que ésta es de aproximadamente 15 % de la fertilización del cultivo anterior. Lo que correspondería como a $50\ \text{kg ha}^{-1}$ si la dosis fue la misma

que la aplicada en el año experimental que se discute. El total de nitrógeno disponible sería como 88 kg ha⁻¹, suficientes para producir aproximadamente 4 500 kg ha⁻¹. De grano d emáiz. La concentración de N-NO₃ no pudo ser corroborado debido a la falta del valor de concentración en el análisis químico. La concentración de P-Bray 1 fue de 103 ppm de P, suficiente para una producción de 5 220 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 600 ppm, suficiente para una producción de 4 538 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 7: Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Las Cruces, Jalisco del *hub* Bajío en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	192	46	60	1	1
2	0	46	60	1	1
3	192	0	60	1	1
4	192	46	0	1	1
5	192	46	60	0	1
6	192	46	60	1	0
7	0	0	0	0	0

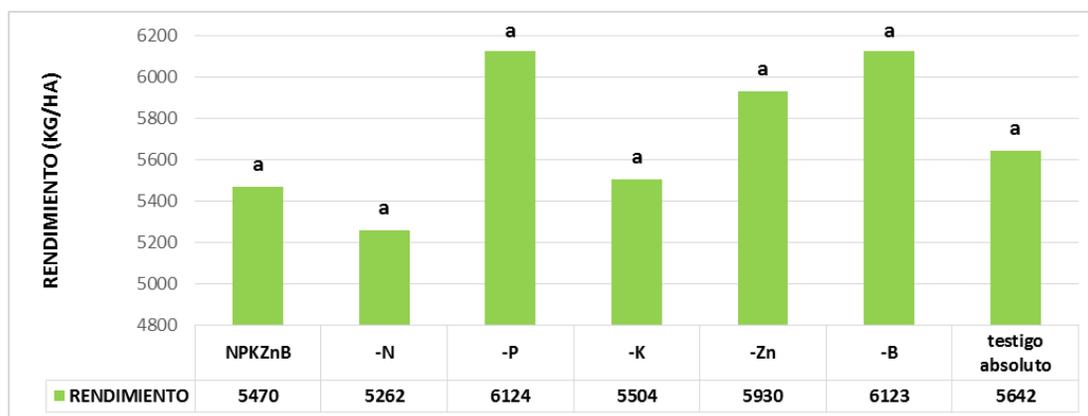


Figura 6. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Las Cruces, Jalisco del *hub* Bajío en el 2013.

En las Cruces (Figura 6), no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin fósforo (6 124 kg ha⁻¹) y el menor rendimiento, en el tratamiento sin nitrógeno (5 262 kg ha⁻¹). Los resultados indican una deficiencia de nitrógeno en el sitio evaluado. La ausencia de diferencia estadística entre tratamientos, sugiere un alto grado de heterogeneidad en el sitio, lo que ocasionó desviaciones estándar elevadas entre repeticiones. Los resultados obtenidos en campo no pudieron ser contratados por el análisis químico de suelos debido a que éste no se realizó. Se sugiere la implementación del análisis químico de suelo en futuras evaluaciones a fin de definir la fertilidad del sitio experimental.

El Cuadro 8 contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en los tres años de evaluación – dos por año- en el estado de Jalisco.

Cuadro 8. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de omisión del estado de Jalisco. MasAgro 2011-2013.

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F- VALOR	PR> F	R ²
Modelo	13	103521532	7963195	7.53	< 0.0001	0.4998
Error	98	103585215	1056992			
Total	111	207106747				
Corregido						

El modelo obtenido a partir de los datos evaluados, resultó significativo y capaz de explicar **50%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no

consideradas en ese) serían responsables de una parte importante de la variabilidad, así como probables errores humanos en la captura de los datos.

El Cuadro 9 reporta el resultado de las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 9. Análisis de regresión del promedio de los rendimientos de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de omisión del estado de Jalisco. MasAgro 2011-2013.

VARIABLE	PARÁMETRO	PR> F
Año 2012	3919.28264	0.3632
Año 2013	1807.67278	<.0001
RH	0	.
TS	0	.
N	-0.69563	0.7760
P	19.67328	0.1777
K	-74.5793	0.0057
Zn	482.06352	0.2335
B	-108.88072	0.8602
MO	-1009.61936	0.5654

Tanto la variable rendimiento del año 2013, como del tratamiento sin potasio, tuvieron un efecto significativo con una probabilidad de $F < 0.0001$ para el estado de Jalisco en su conjunto (Cuadro 9), lo que hace suponer que en ese año las parcelas se habrían instalado en sitios con mejores condiciones que los en los dos años anteriores o que las condiciones ambientales fueron mejores para el desarrollo y producción del cultivo, mismas que no fueron reportadas. Cabe recordar que los sitios donde se realizaron los experimentos en 2013 no fueron los mismos que aquellos correspondientes a los años 2011 y 2012. Con respecto a los rendimientos en los tratamientos sin potasio en la fórmula de fertilización, significa que los suelos tendrían, en general, una respuesta positiva a la aplicación de fertilización potásica. Este resultado parece importante ya que por lo regular no se han reportado

respuestas positivas a la aplicación de este elemento en el caso del maíz (Cabrera, 1996; Tosky *et al.*, 1994).

Grupo 2: Michoacán

En el Cuadro 10 se presentan las dosis de fertilización aplicadas en la localidad de Indaparapeo, perteneciente al *hub* Bajío, 2001. En la Figura 7 se muestran los resultados de rendimiento del experimento en dicho año en el sitio de Indaparapeo, en condiciones de riego.

Cuadro 10. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Indaparapeo, Michoacán del *hub* Bajío en 2011.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	163	130	65	1	1
2	0	130	65	1	1
3	163	0	65	1	1
4	163	130	0	1	1
5	163	130	65	0	1
6	163	130	65	1	0
7	163	130	65	0	0
8	0	0	0	0	0

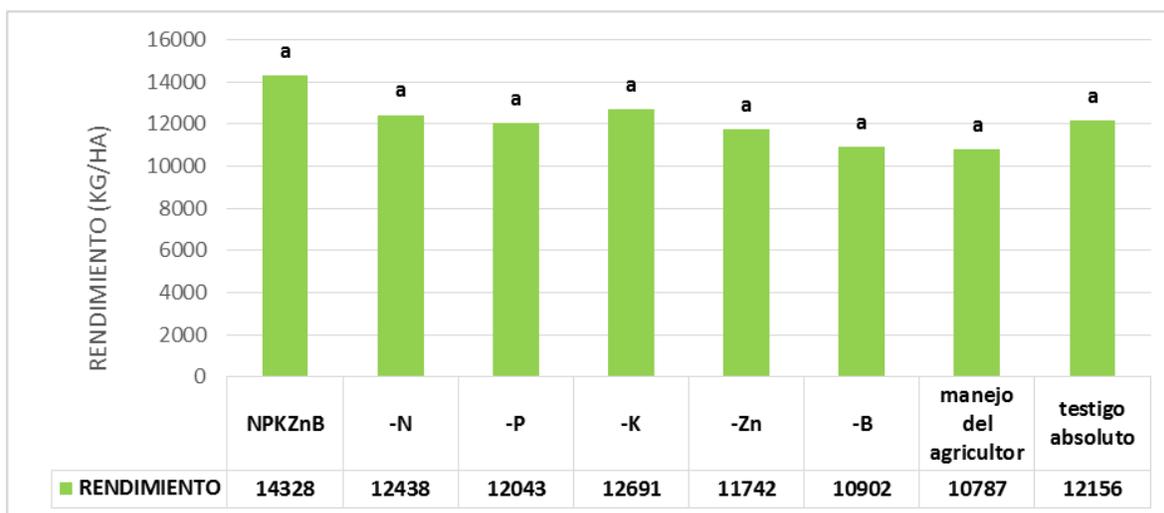


Figura 7. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Indaparapeo, Michoacán del *hub* Bajío en el 2011.

En este sitio no existieron diferencias estadísticas entre tratamientos, sin embargo, se observó que biológicamente hubo una diferencia aproximada de 4 ton ha⁻¹ entre el rendimiento máximo y el mínimo, es decir entre el tratamiento completo (14 328 kg ha⁻¹) y el manejo del agricultor (10 787 kg ha⁻¹); destacan también los tratamientos sin N, P y K, los cuales al compararlos con el rendimiento del tratamiento completo, mostraron una diferencia aproximada de 2 ton ha⁻¹. Los resultados indican la necesidad del uso de fertilizantes con esos elementos, en este sitio. El análisis químico de suelo indicó una concentración de 12 ppm de N-NO₃ y 3.12% de materia orgánica que proporcionarían 63 kg de nitrógeno a la solución del suelo 87 kg/ha de nitrógeno inorgánico, que con una eficiencia de nitrógeno disponible del 50%, implicaría que las plantas tendrían acceso a cerca de 43.5 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Como se indicó para generar una tonelada de biomasa (materia seca) de maíz requiere que la planta adquiera aproximadamente 10 kg de nitrógeno desde el suelo y que el índice de cosecha del maíz es aproximadamente 0.45 para los híbridos y 0.39 para los maíces criollos. Esto indica que el suelo de este sitio, en su condición natural, podría abastecer una producción de 8 600 kg ha⁻¹ de materia seca o bien 4 300 kg ha⁻¹ de grano de maíz, lo que en campo se vio ampliamente superado en el tratamiento sin nitrógeno, así como en el testigo absoluto. Estos resultados sugieren dos cosas; uno que los análisis de nitrógeno inorgánico no revelaron la verdadera disponibilidad, que el agua de riego, contenía algo de este tipo de nitrógeno, o alternatively elevados niveles de suficiencia debidos a una fertilización continua a través del tiempo. La concentración nativa de P-Olsen del suelo experimental fue de 21 ppm de P, suficiente para que se lograra una producción de 12 043 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio en suelo fue de 1475 ppm de K, lo que fue suficiente para una producción de 12 691 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio). En términos generales el análisis químico que este sitio poseía una elevada fertilidad. Estadísticamente, la falta de diferencias significativas supone homogeneidad en el sitio experimental, lo que hace suponer la existencia de elevadas desviaciones estándar entre repeticiones, limitando el valor del análisis estadístico.

En el Cuadro 11 y 12 se muestran las dosis de fertilización de los experimentos instalados en las localidades de Charo e Indaparapeo en el año 2012, ambos pertenecientes al *hub* Bajío. En la Figura 8 y 9 se muestran los resultados de los rendimientos de los experimentos en dicho año, el sitio Charo en condiciones de temporal e Indaparapeo en condiciones de riego.

Cuadro 11. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Charo, Michoacán del *hub* Bajío en 2012.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	Fe
1	280	120	80	25	10	5
2	280	120	80	25	0	5
3	280	120	80	0	10	5
4	280	120	0	25	10	5
5	280	0	80	25	10	5
6	0	120	80	25	10	5
7	280	120	80	25	10	0
8	280	0	0	0	0	0

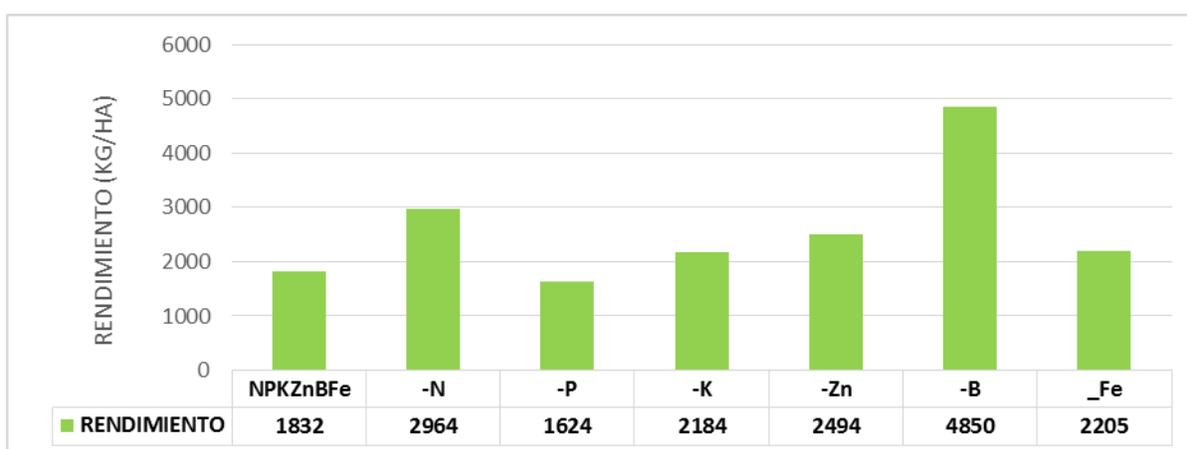


Figura 8. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Charo, Michoacán del *hub* Bajío en el 2012.

En Charo, el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin boro ($4\ 850\ \text{kg ha}^{-1}$) y el menor en el tratamiento sin fósforo ($1\ 624\ \text{kg ha}^{-1}$). En esa zona dominan los suelos volcánicos que se caracterizan por ser bajos en P disponible. En el mismo sitio, destacan los rendimientos del tratamiento sin nitrógeno pero con fósforo ($2\ 964\ \text{kg ha}^{-1}$) y el completo ($1\ 832\ \text{kg ha}^{-1}$), siendo éste último menor que el primero. Por la experiencia observada en otros sitios parece ser que la dosis de boro aplicada puede haber sido muy elevada, dado que el tratamiento sin boro fue el que alcanzó el mayor rendimiento. El análisis químico de suelo indicó una concentración de N-NO_3 de 20 ppm y 2.32% de materia orgánica. Teóricamente el porcentaje de materia orgánica señalado, proporcionaría 46 kg de nitrógeno a la solución del suelo. La suma del nitrógeno inorgánico más el aporte de la materia orgánica darían una disponibilidad total de $86\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno que con una eficiencia del nitrógeno disponible de 50%, pondría a disposición $43\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno suficiente para generar una producción de $4\ 320\ \text{kg ha}^{-1}$ de materia seca o bien $2\ 160\ \text{kg ha}^{-1}$ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($2\ 964\ \text{kg ha}^{-1}$) que recibió además otros nutrientes muestra que en este suelo se dieron las condiciones que favorecieron la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. La concentración de P-Bray 1 fue de 11 ppm de P, suficiente para una que se alcanzase producción de $1\ 624\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio en suelo fue de 188 ppm, suficiente para una producción de $1\ 624\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 12. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Indaparapeo, Michoacán del *hub* Bajío en 2012.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	Fe
1	280	120	80	25	10	5
2	280	120	80	25	0	5
3	280	120	80	0	10	5
4	280	120	0	25	10	5
5	280	0	80	25	10	5
6	0	120	80	25	10	5
7	280	120	80	25	10	0
8	280	0	0	0	0	0

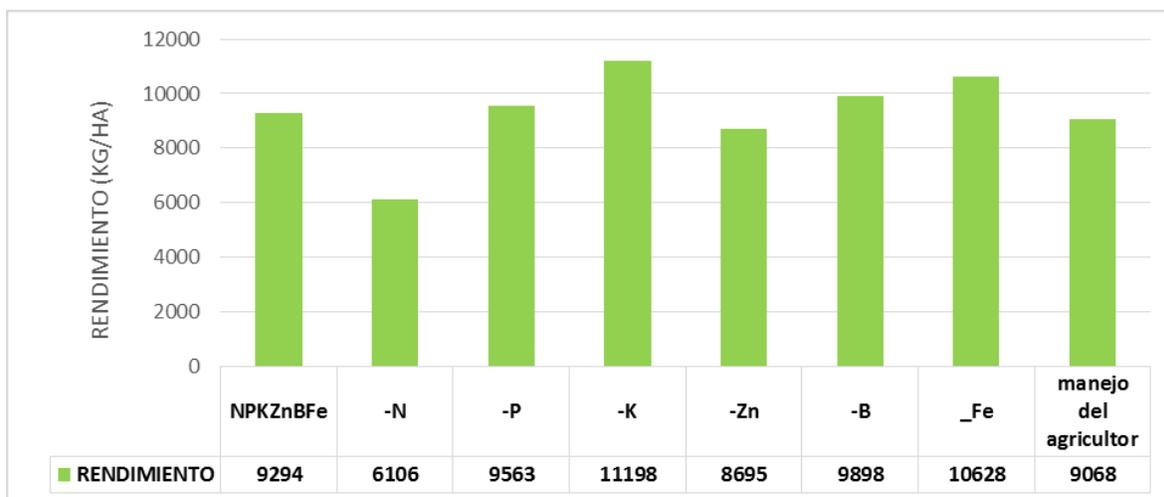


Figura 9. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Indaparapeo, Michoacán del *hub* Bajío en el 2012.

El mayor rendimiento en Indaparapeo (Figura 9) fue 11 198 kg ha⁻¹ (tratamiento sin potasio) y el menor rendimiento fue 6 106 kg ha⁻¹ (tratamiento sin nitrógeno). Indicando un déficit de nitrógeno en el sitio evaluado. La interpretación del efecto que provocó la ausencia de potasio en la fórmula es difícil de explicar. El análisis químico de suelo indicó una concentración de 6.9 ppm de N-NO₃ y 1.97% de materia orgánica. En teoría, ese porcentaje de materia orgánica proporcionaría 40 kg de nitrógeno a la solución del suelo, la suma de nitrógeno inorgánico más el aporte de

la materia orgánica darían una disponibilidad total de 53 kg ha⁻¹ que con una eficiencia aproximada de 50%, indicaría que las plantas tendrían 26.5 kg ha⁻¹ de nitrógeno disponible. Esto quiere decir que el suelo en su condición natural podría abastecer una producción de 2 660 kg ha⁻¹ de materia seca o una producción de 1 300 kg ha⁻¹ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (6 106 kg ha⁻¹) hace suponer que en este suelo, se dieron las condiciones que favorecieron la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. La concentración de P-Bray-1 fue de 28 ppm de P, suficiente para una producción de 9 563 kg ha⁻¹ (rendimiento de tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio en suelo fue de 797 ppm, suficiente para una producción de 11 198 kg ha⁻¹ (rendimiento de tratamiento sin potasio).

En los Cuadros 13, 14 y 15 se muestran las dosis de fertilización aplicadas en los sitios experimentales identificados como El Río, Los Talayotes y La Laguna, pertenecientes al **hub** Bajío, instalados en el 2013. En las Figuras 10 a la 12 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos en dicho año. Se indica que los sitios El Río y Los Talayotes estuvieron en un sistema hídrico de temporal, a diferencia del sitio La Laguna con un sistema hídrico de riego.

Cuadro 13. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de El Río, Michoacán del **hub Bajío en 2013.**

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	Fe
1	280	120	80	25	2	2
2	0	120	80	25	2	2
3	280	0	80	25	2	2
4	280	120	0	25	2	2
5	280	120	80	0	2	2
6	280	120	80	25	0	0.5
7	280	120	80	25	2	0
8	0	0	0	0	0	0

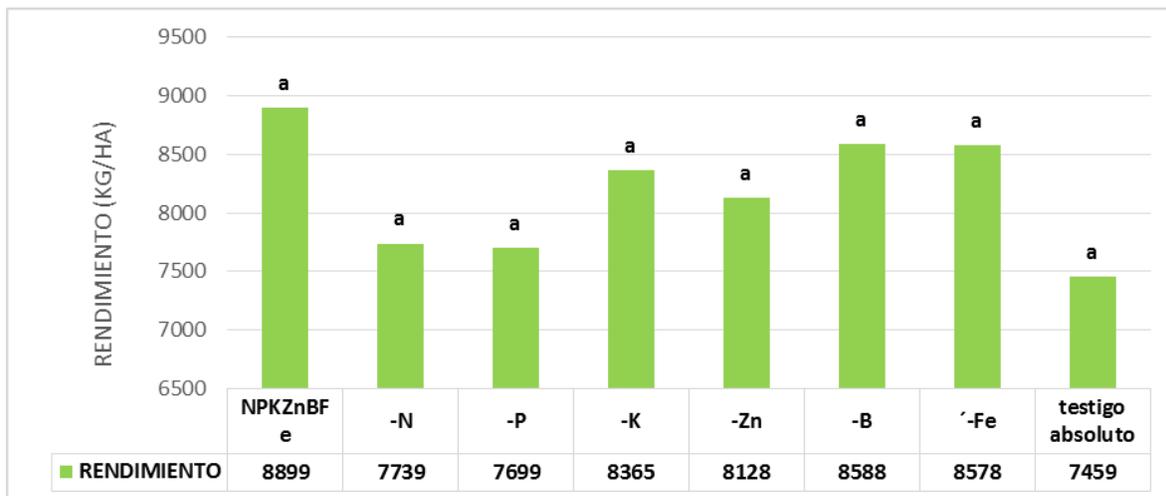


Figura 10. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de El Río, Michoacán del *hub* Bajío en el 2013.

En el sitio El Río (Figura 10) no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, biológicamente existió una diferencia de 1.4 ton ha^{-1} entre el menor y mayor rendimiento (testigo absoluto y el tratamiento completo, respectivamente). Destacan los rendimientos de los tratamientos sin nitrógeno y fósforo ($7\,739$ y $7\,699 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente) los cuales fueron de los más bajos en el experimento, indicando una posible deficiencia de dichos elementos en el sitio evaluado. La ausencia de diferencias estadísticas entre tratamientos sugiere condiciones probables de heterogeneidad en campo que ocasionó desviaciones estándar elevadas entre tratamientos, lo que impidió observar diferencias entre tratamientos. El análisis químico indicó una concentración de N-NO_3 de 9.4 ppm y 3.2% de materia orgánica. Teóricamente el porcentaje de materia orgánica aportaría a la solución del suelo 64 kg ha^{-1} de nitrógeno. La suma del nitrógeno inorgánico más el aporte de materia orgánica dejarían una disponibilidad total de 82 kg ha^{-1} que con la eficiencia supuesta del nitrógeno, implicaría que las plantas tendrían una disponibilidad de 41 kg ha^{-1} de nitrógeno inorgánico, suficiente para para abastecer una producción de $4\,140 \text{ kg ha}^{-1}$ de materia seca o una producción de $2\,070 \text{ kg ha}^{-1}$

¹ de grano. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (7 739 kg ha⁻¹), supone un alto grado de disponibilidad de nitrógeno en el suelo. La concentración de P-Bray 1 fue de 7.85 ppm de P, suficiente para que se produjesen 7 699 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo), pero hubo una pequeña respuesta a la adición del fertilizante fosfatado en todas las fórmulas que llevaron este nutriente por efecto o su interacción. La concentración de potasio fue de 290 ppm de K, suficiente para una producción de 8 365 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 14. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Los Talayotes, Michoacán del *hub* Bajío en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	Fe
1	280	120	80	25	2	2
2	0	120	80	25	2	2
3	280	0	80	25	2	2
4	280	120	0	25	2	2
5	280	120	80	0	2	2
6	280	120	80	25	0	0.5
7	280	120	80	25	2	0
8	0	0	0	0	0	0

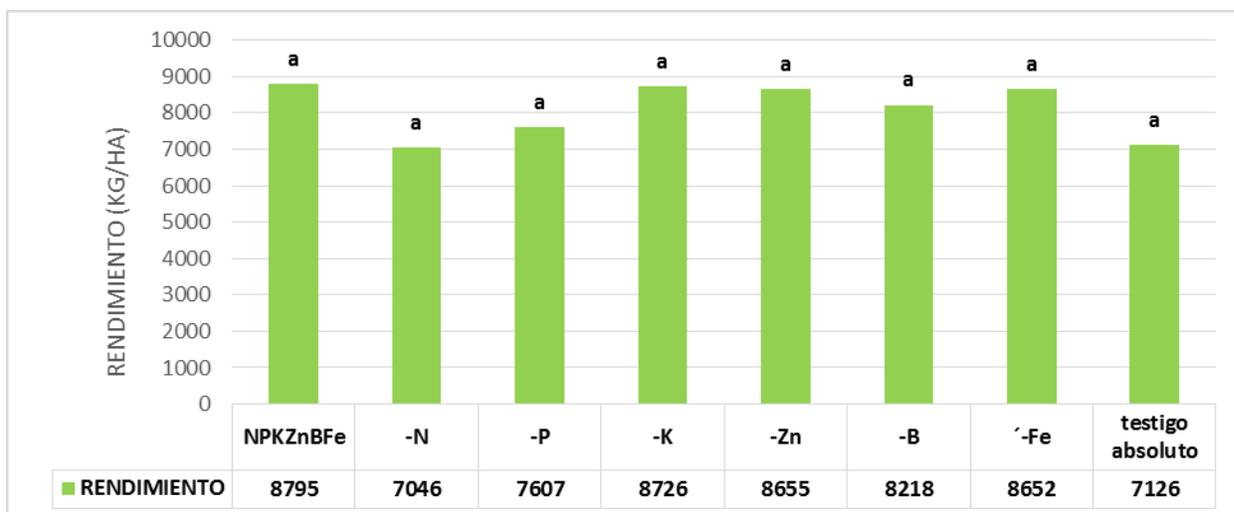


Figura 11. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Los Talayotes, Michoacán del *hub* Bajío en el 2013.

En Los Talayotes (Figura 11) se observó el mayor rendimiento en el tratamiento completo ($8\,795\text{ kg ha}^{-1}$) y el menor rendimiento en el tratamiento sin nitrógeno ($7\,046\text{ kg ha}^{-1}$) prácticamente igual al testigo absoluto. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos, lo que sugiere posibles niveles de suficiencia de los elementos evaluados, lo que impidió contrastar rendimientos entre tratamientos. El análisis químico de suelo indicó una concentración de N-NO_3 de 3.59 ppm y 2.40% de materia orgánica, lo representaría una disponibilidad total de 82 kg ha^{-1} de nitrógeno inorgánico o aproximadamente una disposición efectiva 41 kg ha^{-1} de nitrógeno, según las consideraciones hechas al inicio de este capítulo. Esto quiere decir que el suelo, en su condición natural podría abastecer una producción de $2\,759\text{ kg ha}^{-1}$ de materia seca o $1\,379\text{ kg ha}^{-1}$ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($7\,046\text{ kg ha}^{-1}$) supone un alto grado de disponibilidad de N en el suelo, lo que, incluso siendo cierto no concuerda con los resultados del análisis químico de suelos. La concentración de P Bray- 1 fue de 34.8 ppm de P, suficiente para una producción de $7\,607\text{ kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 585 ppm de K, suficiente para una producción de $8\,726\text{ kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 15. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de La Laguna, Michoacán del *hub* Bajío en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	Fe
1	280	120	80	25	2	2
2	0	120	80	25	2	2
3	280	0	80	25	2	2
4	280	120	0	25	2	2
5	280	120	80	0	2	2
6	280	120	80	25	0	0.5
7	280	120	80	25	2	0
8	0	0	0	0	0	0

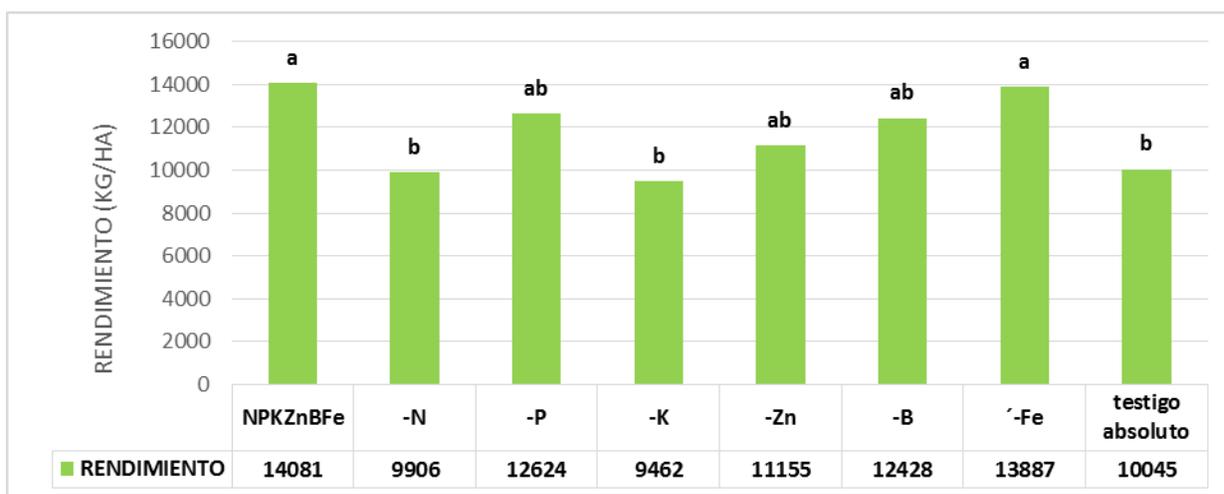


Figura 12. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de La Laguna, Michoacán del *hub* Bajío en el 2013.

En la Laguna (en condiciones de riego) (Figura 12), el mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento completo (14 081 kg ha⁻¹), que no fue estadísticamente diferente a los tratamientos sin P, Zn, B y Fe. El menor rendimiento se observó en el tratamiento sin potasio (9 462 kg ha⁻¹), el cual no fue diferente estadísticamente a los tratamientos sin nitrógeno y al testigo absoluto. La diferencia entre el mínimo y el máximo rendimiento fue de 5 ton ha⁻¹ aproximadamente. De este sitio, no se cuenta con análisis químico de suelos, por tanto, sólo se puede suponer, por una parte, niveles de suficiencia de P, Zn, B y Fe en La Laguna, no así en el caso de N, lo que generó una diferencia en rendimientos altamente contrastante.

A continuación se muestra el Cuadro 16 que contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en los tres años de evaluación – uno en el año 2011, dos en el 2012 y finalmente dos en el año 2013- en el estado de Michoacán.

Cuadro 16. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de omisión del estado de Michoacán. MasAgro 2011-2013.

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F- VALOR	PR> F	R²
Modelo	11	709288885	64480808	14.53	<.0001	0.6806
Error	75	332853428	4438046			
Total	86	1042142314				
Corregido						

Lo que el cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **68%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían mejorar la proporción de los rendimientos explicadas por el modelo.

En Cuadro 17 se reportan las variables independientes las cuales fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, con respecto al rendimiento.

Cuadro 17. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Michoacán MasAgro 2011-2013.

VARIABLE	PARÁMETRO	Valor t	Pr > t
Repetición 1	-1195.25000	-1.97	0.2807
Repetición 2	-419.45833	-0.69	0.5168
Repetición 3	0	.	.
N	4.00553	0.96	0.0962
P	0.74752	0.11	0.6716
K	-9.15571	-0.77	0.8591
Zn	47.22740	0.94	0.7372
B	54.72186	0.57	0.0186
MO	5493.79951	7.81	<.0001
pH	2358.57981	5.36	<.0001
CE	-2473.79131	-3.20	0.0303

El contenido de materia orgánica, pH y CE, resultaron significativos con una probabilidad de $F < 0.0001$ para el estado de Michoacán, perteneciente al **hub** Bajío. Respecto al pH, el análisis químico de suelos en las parcelas evaluadas, indicó un rango de 6.3 a 7.5 lo que supone un alto grado de disponibilidad de nutrientes. La CE en las parcelas evaluadas tuvo un rango de 0.3 a 1 dS m⁻¹, indicando no tener problema de salinidad. Finalmente, la materia orgánica determinada en las parcelas evaluadas se ubicó en un rango de 1.9 a 3.2 %,

Grupo 3: Guanajuato

En el Cuadro 18 se presentan las dosis de fertilización del experimento instalado en el sitio CEBAJ INIFAP, Guanajuato perteneciente al *hub* Bajío, en el año 2011. En la Figura 13 se muestran los resultados de rendimiento del experimento en condiciones de riego, en dicho año.

Cuadro 18. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en CEBAJ, Guanajuato del *hub* Bajío en 2011.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	130	104	52	1+1	1
2	0	104	52	1+1	1
3	130	0	52	1+1	1
4	130	104	0	1+1	1
5	130	104	52	0	1
6	130	104	52	1+1	0
7	130	104	52	0	0
8	0	0	0	0	0

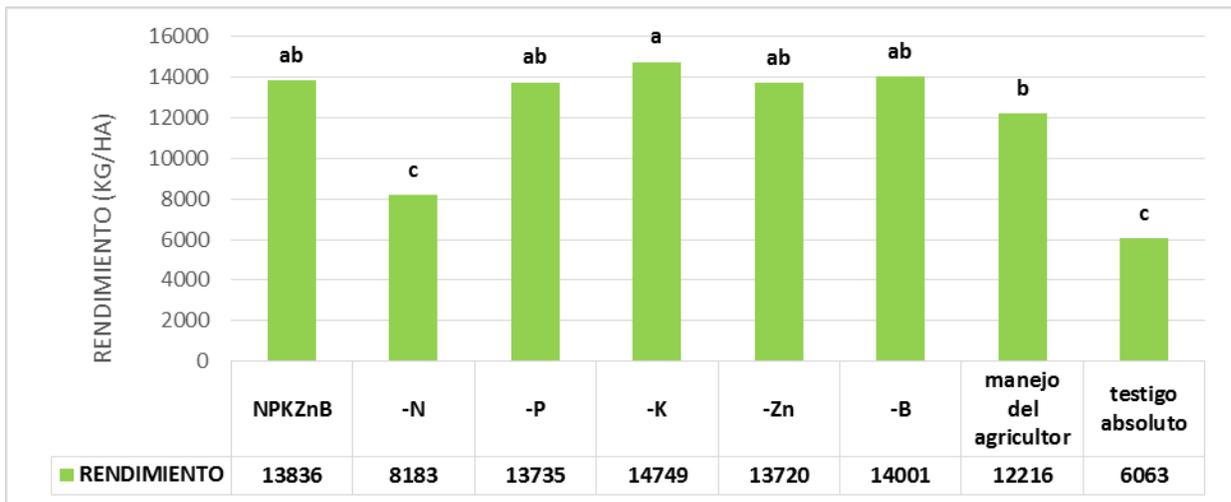


Figura 13. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en CEBAJ, Guanajuato del *hub* Bajío en el 2011.

La prueba de comparación de medias entre tratamientos generó tres grupos de respuestas (Figura 13); los de mayor rendimiento (letra **a**): El tratamiento de mayor rendimiento fue el sin K ($14\,749\text{ kg ha}^{-1}$), estadísticamente igual a los tratamientos sin P, Zn, B y el tratamiento completo. El grupo con menores rendimientos (letra **c**) correspondió a los tratamientos sin N y el testigo absoluto ($8\,183$ y $6\,063\text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente). Los resultados indican una deficiencia de nitrógeno en el sitio evaluado, donde la diferencia en rendimiento entre el tratamiento sin éste elemento y el máximo fue 6 ton ha^{-1} . Los altos rendimientos en los tratamientos mencionados indican niveles de suficiencia adecuados en el sitio evaluado, aseveración que no va acompañada del resultado del análisis químico por no haber sido proporcionado, sin embargo, la diferencia de rendimiento en 6 toneladas aproximadamente confirman lo antes aseverado.

En el Cuadro 19 muestra las dosis de fertilización del experimento instalado en CEBAJ-INIFAP, Guanajuato, perteneciente al *hub* Bajío en el año 2012. En la Figura 14 contiene los resultados de rendimiento del experimento, en condiciones de riego, en dicho año.

Cuadro 19. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en CEBAJ, Guanajuato del *hub* Bajío en 2012.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	Fe
1	280	120	80	25	2	2
2	280	120	80	25	0	2
3	280	120	80	0	2	2
4	280	120	0	25	2	2
5	280	0	80	25	2	2
6	0	120	80	25	2	2
7	280	120	80	25	2	0
8	280	0	0	0	0	0

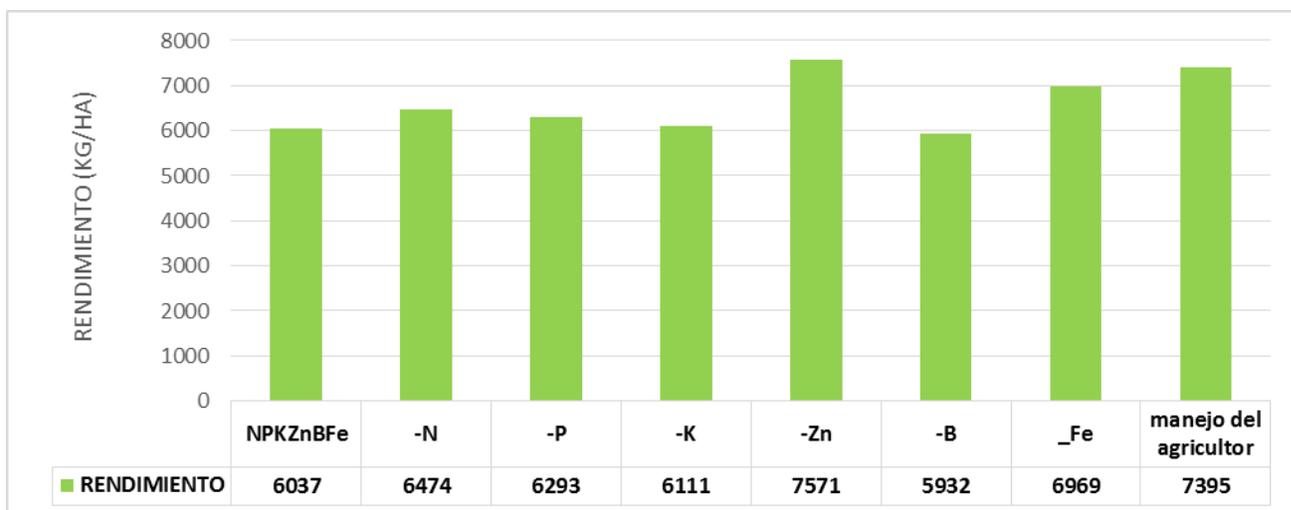


Figura 14. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en CEBAJ, Guanajuato del *hub* Bajío en el 2012.

Como se aprecia en la Figura 14, debido a la falta de repeticiones entre tratamientos, no se realizó análisis estadístico del experimento instalado en CEBAJ-INIFAP en el año 2012, sin embargo, biológicamente se aprecia que, el mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento sin Zn ($7\,571\text{ kg ha}^{-1}$) y el menor rendimiento en el tratamiento sin B ($5\,932\text{ kg ha}^{-1}$). La diferencia de rendimiento entre ambos fue 1.5 ton ha^{-1} aproximadamente. Debe destacarse en este experimento que el manejo del agricultor produjo mayores rendimientos ($7\,395\text{ kg ha}^{-1}$) que el tratamiento completo ($6\,037\text{ kg ha}^{-1}$), lo que sugiere que las dosis de fertilización aplicadas por los técnicos no permitieron se alcanzara una producción cercana a la del productor.

En el Cuadro 20 se presentan las dosis de fertilización del experimento instalado en CEBAJ-INIFAP, Guanajuato, perteneciente al *hub* Bajío en el año 2013. En la Figura 15 se muestran los resultados de rendimiento del experimento en condiciones de riego, en dicho año.

Cuadro 20. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en CEBAJ, Guanajuato del *hub* Bajío en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	Fe
1	240	60	50	0.24	0.24	0.6
2	240	60	50	0.24	0.24	0
3	240	60	50	0.24	0	0.6
4	240	60	50	0	0.24	0.6
5	240	60	0	0.24	0.24	0.6
6	240	0	50	0.24	0.24	0.6
7	0	60	50	0.24	0.24	0.6
8	0	0	0	0	0	0

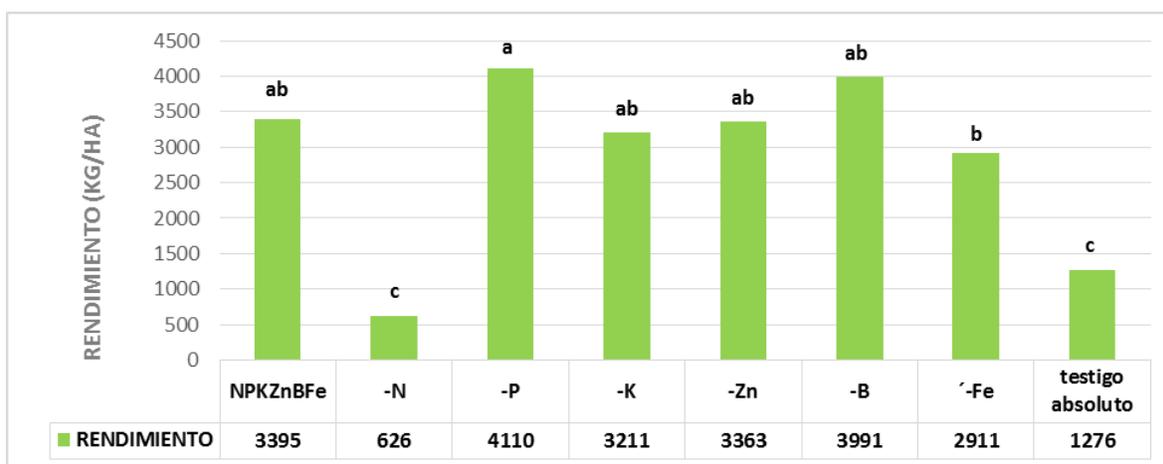


Figura 15. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en CEBAJ, Guanajuato del *hub* Bajío en el 2013.

Con los resultados de los experimentos conducidos en el estado de Guanajuato se puede hacer un análisis de 3 años, debido a que los experimentos se realizaron en el mismo sitio. En el año 2011, la dosis de fertilización nitrogenada (130 kg ha⁻¹) fue más baja con respecto a la de los 2 años posteriores (280 y 240 kg ha⁻¹, respectivamente), no así en el caso de P₂O₅ cuyas dosis fueron 104, 120 y 60 kg ha⁻¹ en los años 2011, 2012 y 2013, respectivamente. En el caso de K₂O, la mayor dosis fue en el 2012 (80 kg ha⁻¹) con respecto al 2011 y 2013 (52 y 50 kg ha⁻¹, respectivamente)

El análisis de comparación de medias entre tratamientos, generó distintos grupos Figura 15. Los tratamientos con mayor rendimiento se agruparon en la letra **a**, siendo el máximo rendimiento el tratamiento sin P (4 110 kg ha⁻¹), estadísticamente similar a los rendimientos de los tratamientos sin K, Zn, B y el tratamiento completo. Respecto a los rendimientos más bajos, éstos se agruparon en la letra **c**, donde se concentraron los tratamientos sin N y el testigo absoluto (626 y 1 276 kg ha⁻¹, respectivamente). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue 4 ton ha⁻¹ aproximadamente. La falta de análisis químicos en suelo, impide corroborar lo observado en campo, sin embargo, resulta evidente la deficiencia de nitrógeno en el sitio evaluado, así como el efecto positivo del tratamiento sin P, lo que probablemente sugiere un estado de abastecimiento adecuado de dicho elemento en la parcela experimental.

Resulta imperante contrastar los rendimientos (al menos en el tratamiento completo) obtenidos en los 3 años de evaluación, siendo el año 2012 el de mayor rendimiento (6 ton ha⁻¹), lo cual concuerda con el uso de dosis más elevadas en los 3 años de duración del experimento. El menor rendimiento se observó en el año 2011 (1.3 ton ha⁻¹) y fue el año con dosis más bajas de fertilización.

A continuación se muestra el Cuadro 21 que contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en los 3 años de evaluación – uno por año- en el estado de Guanajuato.

Cuadro 21. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Guanajuato. MasAgro 2011-2013.

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F-VALOR	PR> F	R ²
Modelo	7	804419239	114917034	11.08	<.0001	0.6177
Error	48	497825417	10371363			
Total	55	1302244656				
Corregido						

El Cuadro indica que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **62%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían dar un porcentaje mayor al modelo.

A continuación, se muestra el Cuadro 22 que reporta las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 22. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Guanajuato. MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor t	pr> t
rep 1	-90.15464	-0.08	0.9347
Rep 2	-393.58959	-0.36	0.7185
Rep 3	0	.	.
N	4.86458	1.02	0.3108
P	23.65731	2.11	0.0399
K	-1.92112	-0.10	0.9193
Zn	8.42244	3.04	0.0038
B	7.89237	2.87	0.0061
RH	0	.	.
TS	0	.	.

Tal como se observa en el Cuadro 22, con una probabilidad de $F < 0.0001$, no se pudo relacionar efecto alguno entre las variables independientes sometidas al análisis de regresión respecto a la variable rendimiento, durante tres años de evaluación. La consideración de otras variables (como las climatológicas) en evaluaciones posteriores, probablemente puedan explicar con mayor detalle, los rendimientos en el sitio evaluado.

Grupo 4: Querétaro

En el Cuadro 23 se presentan las dosis de fertilización aplicadas en la localidad de Pedro Escobedo, Querétaro perteneciente al *hub* Bajío en el año 2013. En la Figura 16 se muestran los resultados de rendimiento en el experimento en el año 2013.

Cuadro 23. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Pedro Escobedo, Querétaro del *hub* Bajío en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	Fe
1	300	40	60	0.71	0.5	0.42
2	0	40	60	0.71	0.5	0.42
3	300	0	60	0.71	0.5	0.42
4	300	40	0	0.71	0.5	0.42
5	300	40	60	0	0.5	0.42
6	300	40	60	0.71	0	0.42
7	300	40	60	0.71	0.5	0
8	0	0	0	0	0	0

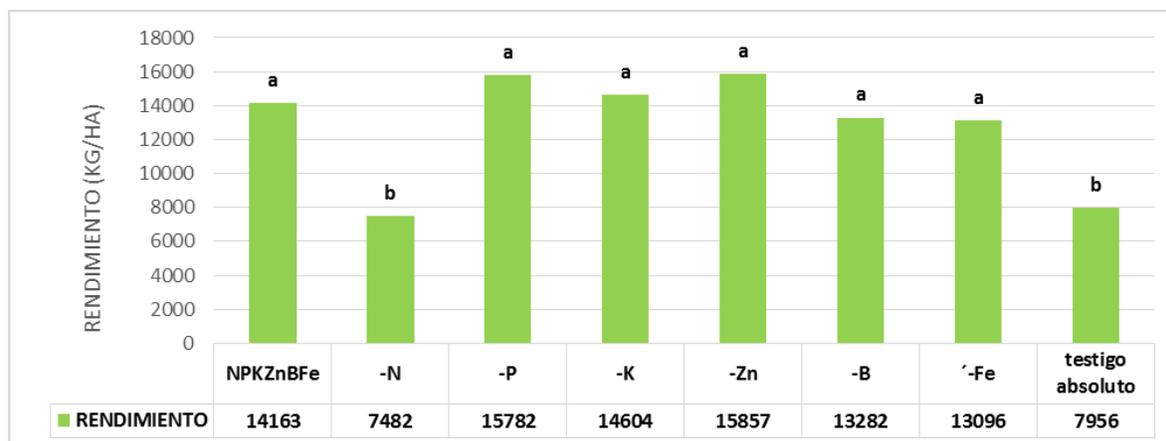


Figura 16. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Pedro Escobedo, Querétaro del *hub* Bajío en el 2013.

En la Figura 16, La comparación de medias indicó que había dos grupos; en el de mayores rendimientos, el tratamiento sin Zn ($15\ 857\ \text{kg ha}^{-1}$) que fue el más alto de

todos y estadísticamente similar a los rendimientos observados en los tratamientos sin P, K, B, Fe y tratamiento completo. Y los tratamientos con menores rendimientos: el sin N y el testigo absoluto (7 482 y 7 956 kg ha⁻¹, respectivamente). La diferencia entre el rendimiento máximo y mínimo fue de 7 ton ha⁻¹ aproximadamente, poniendo en evidencia la existencia de un agudo déficit de nitrógeno en el sitio evaluado. El análisis químico de suelo de este sitio mostró una concentración de N-NO₃ de 3.5 ppm y 1.6% de materia orgánica. En teoría, 1.6% de materia orgánica, debería aportara a la solución del suelo 33 kg de nitrógeno, por tanto, la suma de materia orgánica y nitrógeno inorgánico darían una disponibilidad de 40 kg de nitrógeno, sin embargo, la eficiencia del nitrógeno disponible se calcula en 50% por tanto, las plantas dispusieron de tan solo 20 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Esto quiere decir que el suelo, en su condición natural, fue capaz de abastecer una producción de 2 000 kg ha⁻¹ de materia seca o 1 000 kg ha⁻¹ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (7 482 kg ha⁻¹) supone un alto grado de disponibilidad de nitrógeno en el sistema, aún más, no concuerda con lo reportado en el análisis químico de suelo, por tanto, se sugiere considerar estos resultados con cautela. La concentración de P-Bray 1, fue de 10 ppm de P, valor considerado como moderadamente bajo, no obstante, permitió obtener un rendimiento mayor a 15 ton ha⁻¹. El contenido de potasio en el sitio fue de 548 ppm, considerado como moderadamente alto, que en campo mostro un rendimiento mayor a 14 ton ha⁻¹. Los resultados en rendimiento así como en el análisis químico de suelo, muestran niveles de suficiencia en todos los elementos evaluados, excepto en el caso del nitrógeno.

A continuación se muestra el Cuadro 24 que contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos del experimento instalado en 2013.

Cuadro 24. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Querétaro. MasAgro 2011-2013.

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F-VALOR	PR> F	R ²
Modelo	7	236295804	33756543	7.46	0.0005	0.7655
Error	16	72376509	4523532			
Total	23	308672313				
Corregido						

Lo que el cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, no es significativo lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían aportar un grado de significancia que permita explicar los rendimientos de los tratamientos.

El Cuadro 25 muestra las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 25. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Querétaro. MasAgro 2011-2013.

VARIABLE	PARÁMETRO	Valor t	Pr > t
Repetición 1	2010.75000	1.89	0.0769
Repetición 2	952.50000	0.90	0.3837
Repetición 3	0	.	.
Régimen hídrico	0	.	.
Tipo de semilla	0	.	.
N	23.72810	6.26	<.0001
P	-29.53929	-1.04	0.3141
K	-0.04841	-0.00	0.9980
Zn	-1768.41046	-1.10	0.2857
B	2638.19048	1.16	0.2629
MO	0	.	.
N inorgánico del suelo	0	.	.
P suelo	0	.	.
pH	0	.	.
CE	0	.	.

Como se observa en el Cuadro 25, la variable dosis de fertilización nitrogenada, tuvo un efecto sobre el rendimiento con una probabilidad de $F < 0.0001$ esto en la parcela Pedro Escobedo en Querétaro para el año de evaluación 2013. El resultado concuerda con lo observado en campo, donde el déficit de nitrógeno en suelo fue evidente en el tratamiento sin nitrógeno, siendo el tratamiento con el menor rendimiento. En este caso se debe indicar el uso de fertilizantes nitrogenados a fin de seguir disminuyendo la fertilidad en suelo y a su vez evitar obtener rendimientos que en el sitio ya han sido comprobados.

Grupo 5: Chiapas

En el Cuadro 23 se aprecian las dosis de fertilización aplicadas al experimento ubicado en la localidad de Ocozocoautla, Chiapas, perteneciente al *hub* Trópico, en el año 2011. En la Figura 17 se muestran los resultados de rendimiento del experimento en condiciones de temporal, en dicho año.

Cuadro 23. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Ocozocoautla, Chiapas del *hub* Trópico en 2011.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	211	31	60	25	10
2	0	31	60	25	10
3	211	0	60	25	10
4	211	31	0	25	10
5	211	31	60	0	10
6	211	31	60	25	0
7	200	100	0	0	0
8	0	0	0	0	0

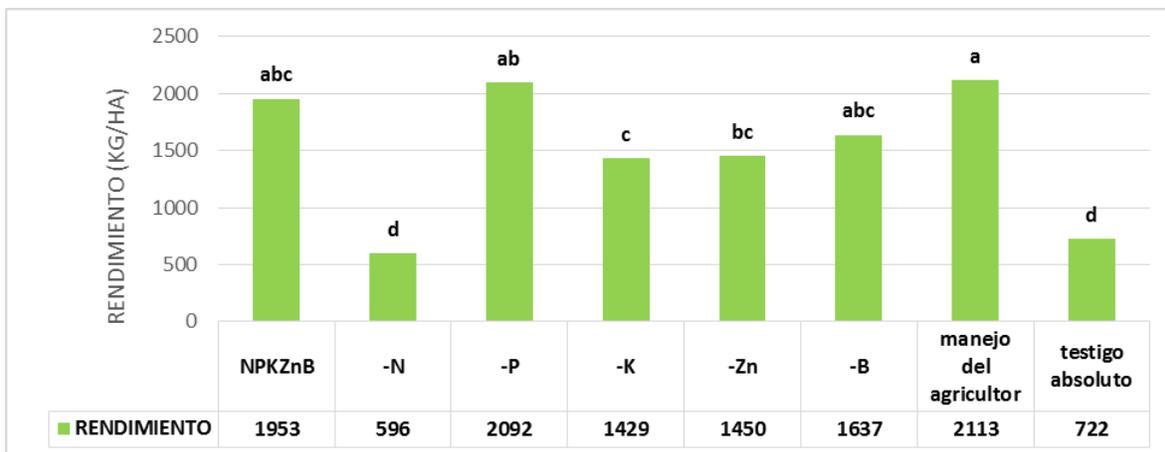


Figura 17. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Ocozocoautla, Chiapas del *hub* Trópico en el 2011

Como se observa en la Figura 17, la comparación de medias entre tratamientos generó distintos grupos estadísticos, en el grupo **a** se concentraron los tratamientos con los rendimientos más altos, donde el mayor rendimiento fue el manejo del agricultor ($2\ 113\ \text{kg ha}^{-1}$) cuyo rendimiento estadísticamente fue similar a los observados en los tratamientos sin P y en el tratamiento completo. Respecto a los menores rendimientos, éstos se agruparon en la letra **d**, siendo el tratamiento sin nitrógeno y el testigo absoluto, sus únicos integrantes (596 y $722\ \text{kg ha}^{-1}$, respectivamente). En los resultados se aprecia una diferencia de $1.5\ \text{ton ha}^{-1}$ aproximadamente, entre el máximo y el mínimo rendimiento, señalando un déficit de nitrógeno en suelo, lo que ocasionó el bajo rendimiento en el tratamiento sin N. De acuerdo a los resultados del análisis químico de suelo en el sitio de Ocozocoautla, el contenido de N-NO_3 fue de $10\ \text{ppm}$ y 2.1% de materia orgánica. Teóricamente, el contenido de materia orgánica señalado, aportaría $42\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno a la solución del suelo. La suma de nitrógeno inorgánico más el aporte de materia orgánica darían una disponibilidad total de $62\ \text{kg}$ de nitrógeno, sin embargo, si se considera una eficiencia de nitrógeno disponible del 50% , las plantas tendrían en total $31\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno. Se sabe que una tonelada de materia seca requiere de aproximadamente $10\ \text{kg}$ de nitrógeno, por tanto, el suelo en su condición natural pudo abastecer una producción de $3\ 100\ \text{kg ha}^{-1}$ de materia seca o $1\ 550\ \text{kg ha}^{-1}$ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($596\ \text{kg ha}^{-1}$) hace suponer que en este suelo había una deficiencia de nitrógeno disponible, lo cual concuerda con lo observado en el testigo absoluto. La concentración nativa de P-Bray 1 fue de $77.4\ \text{ppm}$ de P, suficiente para una producción de $2\ 092\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de $248\ \text{ppm}$ de K, suficiente para una producción de $1\ 429\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

En el Cuadro 24 y 25 se aprecian las dosis de fertilización aplicada en los sitios Espinal de Morelos y Rancho Kikapu, Chiapas, perteneciente al *hub* Trópico en el año 2012. En la Figuras 18 y 19 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos en un sistema hídrico de temporal, en dicho año.

Cuadro 24. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en la localidad de Espinal de Morelos, Chiapas del *hub* Trópico en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	Zn
1	0	0	0	0	0
2	214	16	58	5	5
3	0	16	58	5	5
4	214	0	58	5	5
5	214	16	0	5	5
6	214	16	58	0	5
7	214	16	58	5	0
8	160	90	0	0	0

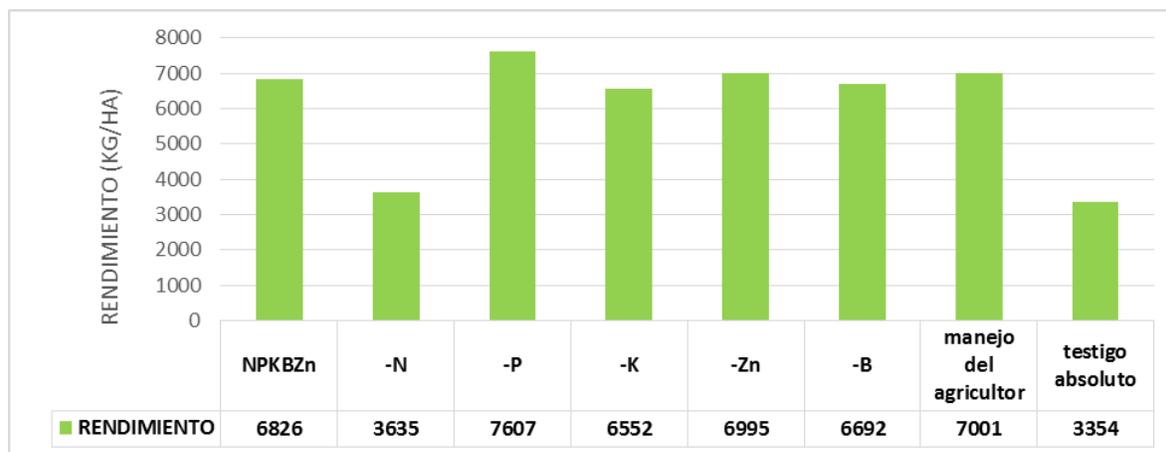


Figura 18. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en la localidad de Espinal de Morelos, Chiapas del *hub* Trópico en el 2012.

En la Figura 18 se observa que el experimento en Espinal de Morelos, no contó con análisis estadístico debido a la falta de repeticiones entre tratamientos, sin embargo, agrónomicamente se aprecia un rango en rendimiento de 3 354 a 7 607 kg ha⁻¹,

donde el menor rendimiento se observó en el testigo absoluto y el mayor rendimiento en el tratamiento sin fósforo. Entre los tratamientos destacan los rendimientos del manejo de agricultor, el cual alcanzó los 7 000 kg ha⁻¹, semejante al observado por el máximo rendimiento; también destaca el rendimiento del tratamiento sin nitrógeno, el cual, a excepción del testigo absoluto fue el rendimiento más bajo. En el sitio Espinal de Morelos, el análisis químico de suelos mostró un contenido de N-NO₃ de 13 ppm y 2.3% de materia orgánica. El porcentaje de materia orgánica reportada en este sitio, proporcionaría 46 kg ha⁻¹ de nitrógeno a la solución del suelo. La suma del nitrógeno inorgánico más el aporte de materia orgánica darían una disponibilidad total de 72 kg ha⁻¹. Se sabe que una tonelada de materia seca de maíz requiere aproximadamente de 10 kg de nitrógeno y el índice de cosecha de maíz híbrido es de 0.45 y 0.39 para maíces criollos. Por tanto, el suelo evaluado, en su condición natural, pudo abastecer una producción de 3 600 kg ha⁻¹ de materia seca o 1 800 kg ha⁻¹ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (3 635 kg ha⁻¹) indicó condiciones de disponibilidad de nitrógeno en el sitio evaluado. La concentración de P-Bray 1 fue de 70 ppm de P, suficiente para una producción de 7 607 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 266 ppm de K, suficiente para una producción de 6 552 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 25. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el Rancho Kikapu, Chiapas del *hub* Trópico en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	Zn
1	0	0	0	0	0
2	271	16	58	15	10
3	0	16	58	15	10
4	271	0	58	15	10
5	271	16	0	15	10
6	271	16	58	0	10
7	271	16	58	15	0
8	160	90	0	0	0

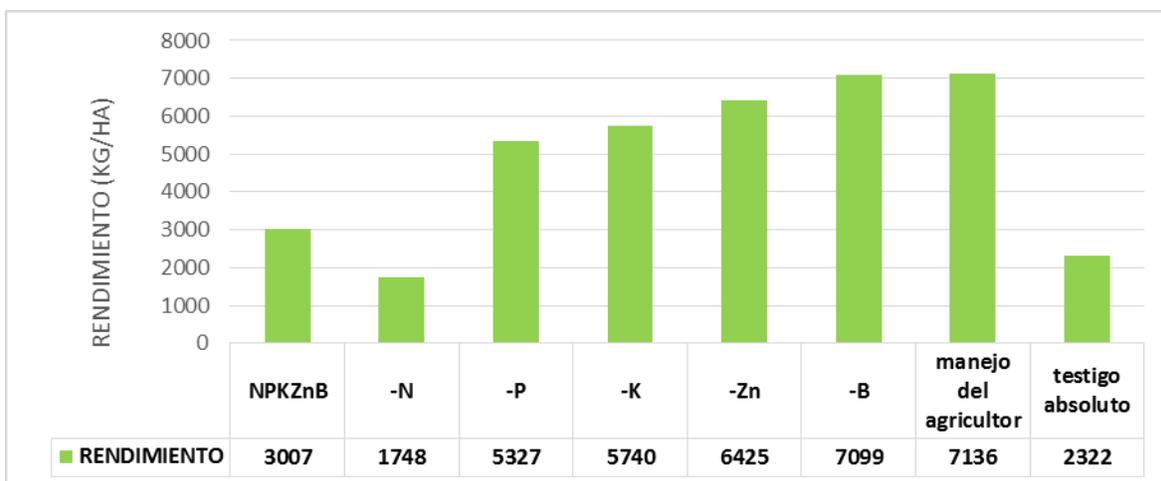


Figura 19. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el Rancho Kikapu, Chiapas del *hub* Trópico en el 2012.

La Figura 19 muestra los rendimientos obtenidos en el Rancho Kikapu, los cuales no contaron con análisis estadístico debido a la falta de repeticiones entre tratamientos, sin embargo, biológicamente se aprecia que, el mayor rendimiento se obtuvo en el manejo del productor ($7\ 136\ \text{kg ha}^{-1}$) y el menor rendimiento en el tratamiento sin nitrógeno ($1\ 748\ \text{kg ha}^{-1}$). Los resultados indican una diferencia aproximada de $6\ \text{ton ha}^{-1}$ entre el mayor y menor rendimiento, lo cual indica por una parte, un déficit de nitrógeno en el suelo que se vio agravado debido a la falta de fertilizante nitrogenado y por otra parte la suspicacia en los resultados debido al mayor rendimiento observado en el manejo del productor superando al tratamiento completo. El análisis químico de suelo en el sitio evaluado mostró un contenido de N-NO_3 de 4.16 ppm y 1.1% de materia orgánica. Teóricamente 1.1% de materia orgánica proporcionaría 22 kg de nitrógeno a la solución del suelo. La suma de nitrógeno inorgánico y materia orgánica, darían una disponibilidad total de $30\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno, sin embargo, la eficiencia del nitrógeno disponible es de 50% aproximadamente, implicando una disponibilidad final de 15 kg de nitrógeno por hectárea. Si se considera que una tonelada de materia seca requiere 10 kg de nitrógeno, esto quiere decir que el suelo en su condición natural pudo abastecer una producción de $1\ 500\ \text{kg ha}^{-1}$ de materia seca o $750\ \text{kg ha}^{-1}$ de grano en maíz. El

rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($1\ 748\ \text{kg ha}^{-1}$) supone un alto grado de disponibilidad de nitrógeno en el sitio evaluado, o bien elevados niveles de suficiencia debidos a una fertilización continua a través del tiempo. La concentración de P-Bray 1 fue de 12.9 ppm, suficiente para una producción de $5\ 327\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 93 ppm, suficiente para una producción de $5\ 740\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

En los Cuadros 26 al 28 se observan las dosis de fertilizaciones aplicadas a los sitios La Concordia, La Ilusión y Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas, pertenecientes al **hub** Trópico en el año 2013. En las Figuras 20 al 22 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos, todos, en un sistema hídrico de temporal, en dicho años

Cuadro 26. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio La Concordia, Chiapas del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	Zn
1	250	100	60	2	2
2	0	100	60	2	2
3	250	0	60	2	2
4	250	100	0	2	2
5	250	100	60	0	2
6	250	100	60	2	0
7	160	90	0	0	0
8	0	0	0	0	0

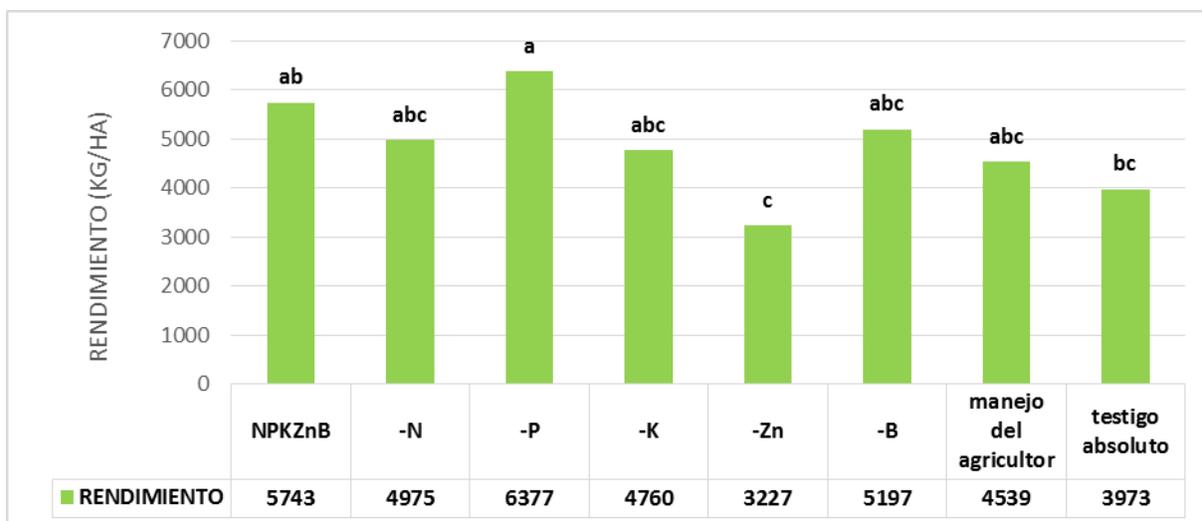


Figura 20. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio La Concordia, Chiapas del *hub* Trópico en el 2013.

En la Figura 20 se aprecian los rendimientos de los tratamientos de fertilización del sitio La Concordia, donde el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin fósforo (6 377 kg ha⁻¹) el cual fue estadísticamente similar al tratamiento completo. Respecto al menor rendimiento, este se observó en el tratamiento sin zinc (3 227 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mínimo y máximo rendimiento fue de aproximadamente 3 ton ha⁻¹, mostrando un déficit de zinc en la parcela. Desafortunadamente, la parcela no contó con análisis químico de suelo que permita confirmar los resultados obtenidos en campo.

Cuadro 27. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio La Ilusión, Chiapas del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	Zn
1	250	100	60	2	2
2	0	100	60	2	2
3	250	0	60	2	2
4	250	100	0	2	2
5	250	100	60	0	2
6	250	100	60	2	0
7	160	90	0	0	0
8	0	0	0	0	0

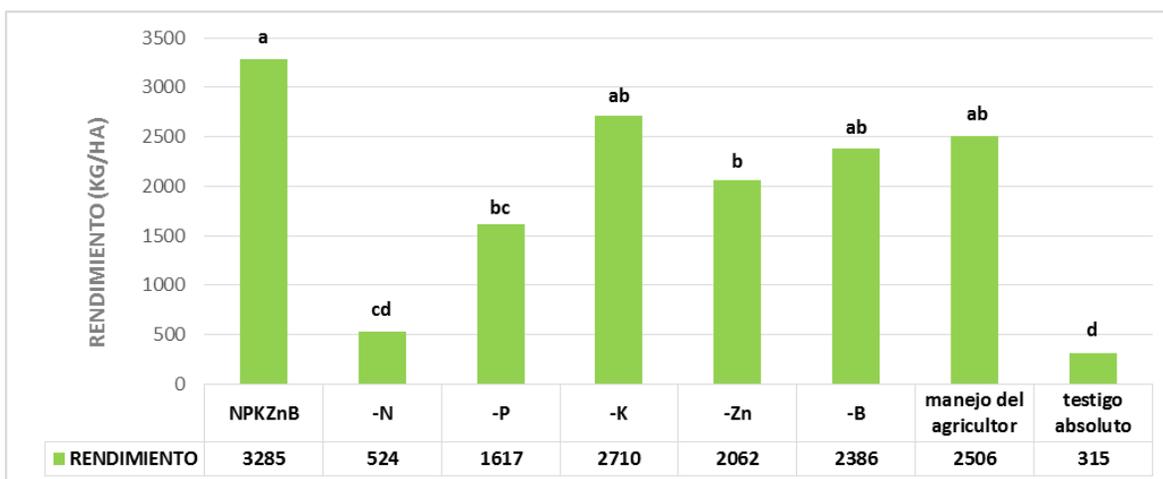


Figura 21. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio La Ilusión, Chiapas del *hub* Trópico en el 2013.

En la Figura 21 se observan los rendimientos así como el análisis estadístico producto de la comparación de medias entre tratamientos del sitio La Ilusión. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento completo ($3\,285\text{ kg ha}^{-1}$), estadísticamente similar a los rendimientos de los tratamientos sin K, B y al manejo del agricultor. El menor rendimiento se observó en el testigo absoluto (315 kg ha^{-1}) estadísticamente similar al rendimiento del tratamiento sin N. Los resultados indican una diferencia de 2.9 ton ha^{-1} , lo cual sugiere un déficit de nitrógeno en el sitio evaluado. El análisis químico de suelos indicó una concentración de N-NO_3 de 8.6 ppm y 3.28% de materia orgánica. Teóricamente 3.28% de materia orgánica proporcionaría 65 kg de nitrógeno por hectárea. La suma del nitrógeno inorgánico más el aporte de la materia orgánica darían una disponibilidad total de 82 kg ha^{-1} , sin embargo, la eficiencia del nitrógeno disponible se estima en 50% , por tanto la disponibilidad de nitrógeno sería de 41 kg ha^{-1} . Se sabe que una tonelada de materia seca de maíz requiere de 10 kg de nitrógeno, esto quiere decir que el suelo en su condición natural podría ser suficiente para abastecer una producción de $4\,140\text{ kg ha}^{-1}$ o $2\,070\text{ kg ha}^{-1}$ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (524 kg ha^{-1}) hace suponer que en este sitio existió una severa deficiencia de

nitrógeno disponible, lo cual concuerda con lo observado en el testigo absoluto. La concentración de P-Bray 1 fue de 47 ppm de P, suficiente para una producción de 1 617 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo) pero hubo una pequeña respuesta a la adición del fertilizante fosfatado en todas las fórmulas –excepto la sin nitrógeno- que llevaron este nutriente por efecto o su interacción.

Cuadro 28. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	Zn
1	250	100	60	2	2
2	0	100	60	2	2
3	250	0	60	2	2
4	250	100	0	2	2
5	250	100	60	0	2
6	250	100	60	2	0
7	160	90	0	0	0
8	0	0	0	0	0

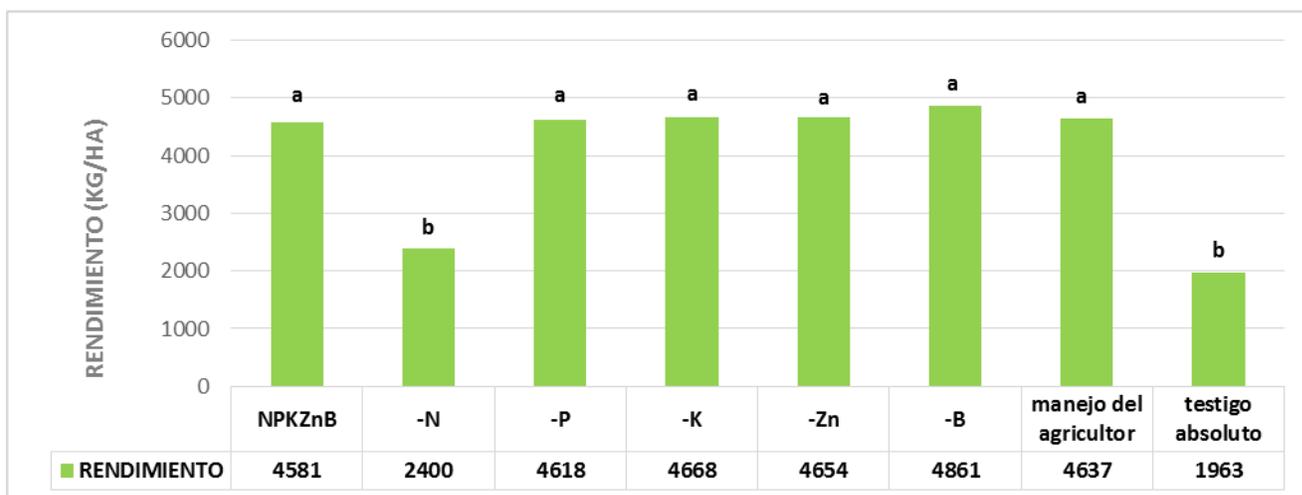


Figura 22. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas del *hub* Trópico en el 2013.

En Ocozocoautla de Espinoza, se formaron dos grupos estadísticos, en el **a** se observaron los rendimientos más altos, donde el tratamiento sin B obtuvo el mayor rendimiento ($4\ 861\ \text{kg ha}^{-1}$) y el grupo **b** se conformó por los menores rendimientos, donde el testigo absoluto, obtuvo el rendimiento más bajo ($1\ 963\ \text{kg ha}^{-1}$) estadísticamente similar al rendimiento del tratamiento sin nitrógeno. Los resultados indican una diferencia de aproximadamente $3\ \text{ton ha}^{-1}$. El análisis químico de suelo indicó una concentración de N-NO_3 de 10 ppm y 1.8% de materia orgánica. Teóricamente 1.8% de materia orgánica proporcionaría 36 kg de nitrógeno a la solución del suelo. La suma del nitrógeno inorgánico más el aporte de la materia orgánica darían una disponibilidad total de $56\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno, si se considera una eficiencia de nitrógeno disponible del 50%, implicaría que las plantas tendrían a su disposición $28\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno. El suelo en su condición natural, pudo abastecer una producción de $2\ 800\ \text{kg ha}^{-1}$ de materia seca o $1\ 400\ \text{kg ha}^{-1}$ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($2\ 400\ \text{kg ha}^{-1}$) supone un alto grado de disponibilidad de nitrógeno. La concentración de P-Bray 1 fue de 2.7 ppm de P, suficiente para una producción de $4\ 618\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 210 ppm de K, suficiente para una producción de $4\ 668\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

A continuación se muestra el Cuadro 29 que contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en los tres años de evaluación, en el estado de Chiapas.

Cuadro 29. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de omisión del estado de Chiapas. MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr> f	r ²
Modelo	11	339879129	30898103	29.69	<.0001	0.7656
Error	100	104061188	1040612			
Total	111	443940317				
Corregido						

Lo que el cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **77%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían dar un porcentaje mayor al modelo.

Como se observa en el Cuadro 30, variables independientes como: dosis de nitrógeno, contenido de fósforo en el suelo, MO, pH y CE tuvieron un efecto sobre el rendimiento con una probabilidad de $F < 0.0001$, para el estado de Chiapas en su conjunto, lo que supone – y en aquellos experimentos con análisis químico de suelo, se confirma- un déficit de nitrógeno.

A continuación, se muestra el Cuadro 30 en el cual se observan las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, con respecto al rendimiento.

Cuadro 30. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de omisión del estado de Chiapas. MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor t	Pr > t
Repetición 1	436.62500	1.71	0.0900
Repetición 2	-54.96875	-0.22	0.8298
Repetición 3	0	.	.
Régimen hídrico	0	.	.
Tipo de semilla	0	.	.
N	7.52173	7.37	<.0001
P	2.01162	0.76	0.4520
K	0.05014	0.01	0.9892
Zn	6.23336	0.34	0.7370
B	-56.25596	-1.59	0.1141
MO	-7799.43813	-7.39	<.0001
P del suelo	379.24206	7.50	<.0001
pH	33203	8.12	<.0001
CE	-102416	-8.85	<.0001

Las dosis de fósforo, en términos generales, representaron rendimientos intermedios en todos los casos evaluados, se sugiere evaluaciones posteriores con dosis diferentes a las evaluadas en este trabajo. El pH de los suelos evaluados indica un pH de alcalinidad, lo que no representa un problema para que el cultivo disponga de nutrientes durante su ciclo. Respecto a la CE, el rango reportado en el análisis químico del suelo fue 0.4-0.5 dS/m, no representando un problema de salinidad en el experimento.

Grupo 6: Guerrero

En el Cuadro 31 y 32 se presentan las dosis de fertilización aplicadas en los sitios experimentales de CEIGUA Y CSAEGRO, Guerrero, perteneciente al *hub* Trópico en el año 2012. En la Figura 23 y 24 se muestran los resultados de rendimiento de ambos experimentos los cuales estuvieron en un sistema hídrico de temporal, en dicho año.

Cuadro 31. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en CEIGUA, Guerrero del *hub* Trópico en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	200	46	50	1	1
2	200	46	50	1	0
3	200	46	50	0	1
4	200	46	0	1	1
5	200	0	50	1	1
6	0	46	50	1	1
7	0	0	0	0	0

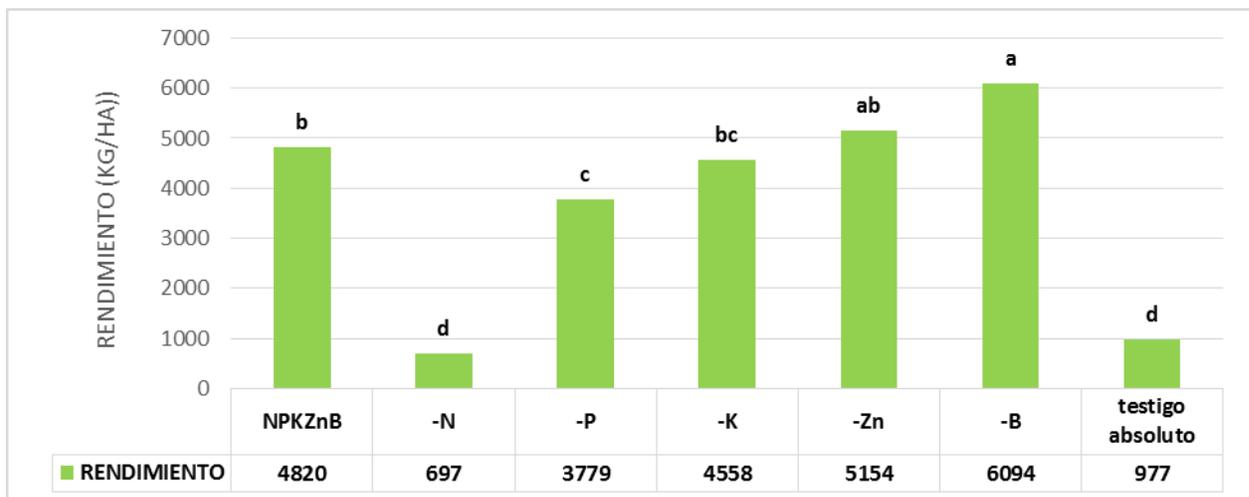


Figura 23. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en CEIGUA, Guerrero del *hub* Trópico en el 2012.

El mayor rendimiento en CEIGUA se obtuvo en el tratamiento sin B (6 094 kg ha⁻¹) (Figura 23), estadísticamente similar al observado en el sin zinc. El tratamiento sin nitrógeno (697 kg ha⁻¹) fue el de menor rendimiento y estadísticamente similar al testigo absoluto. La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de aproximadamente 5.3 ton ha⁻¹, lo que demuestra un severo déficit de nitrógeno en el sitio. El análisis químico de suelos, del sitio en cuestión, mostró una concentración de N-inorgánico de 10 ppm N-NO₃, y un porcentaje de materia orgánica de 2.2%, la cual, aportaría 44 kg de nitrógeno a la solución del suelo. La suma del nitrógeno inorgánico más el aporte de materia orgánica darían una disponibilidad total de 64 kg ha⁻¹. Si se considera una eficiencia de nitrógeno disponible de aproximadamente 50%, significaría que las plantas dispondrían de 32 kg ha⁻¹ de nitrógeno. El suelo evaluado, en su condición natural, pudo abastecer una producción de 3 200 kg ha⁻¹ de materia seca o 1 600 kg ha⁻¹ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (697 kg ha⁻¹) hace suponer que en este suelo había una severa deficiencia de nitrógeno disponible, lo cual concuerda con lo observado en el testigo absoluto. La concentración de P-Olsen fue de 10 ppm P, suficiente para una producción de 3779 kg/ha (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio en suelo fue de 288 ppm de K, considerado como un nivel intermedio, suficiente para producir 4558 Kg/ha de grano de maíz (rendimiento del tratamiento sin potasio), igual al tratamiento completo, pero inferior al sin boro, pero estadísticamente igual al sin zinc. Llama profundamente la atención que el mejor rendimiento se obtuvo en las parcelas sin boro.

Cuadro 32. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en CSAEGRO, Guerrero del *hub* Trópico en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	200	46	50	1	1
2	200	46	50	1	0
3	200	46	50	0	1
4	200	46	0	1	1
5	200	0	50	1	1
6	0	46	50	1	1
7	0	0	0	0	0

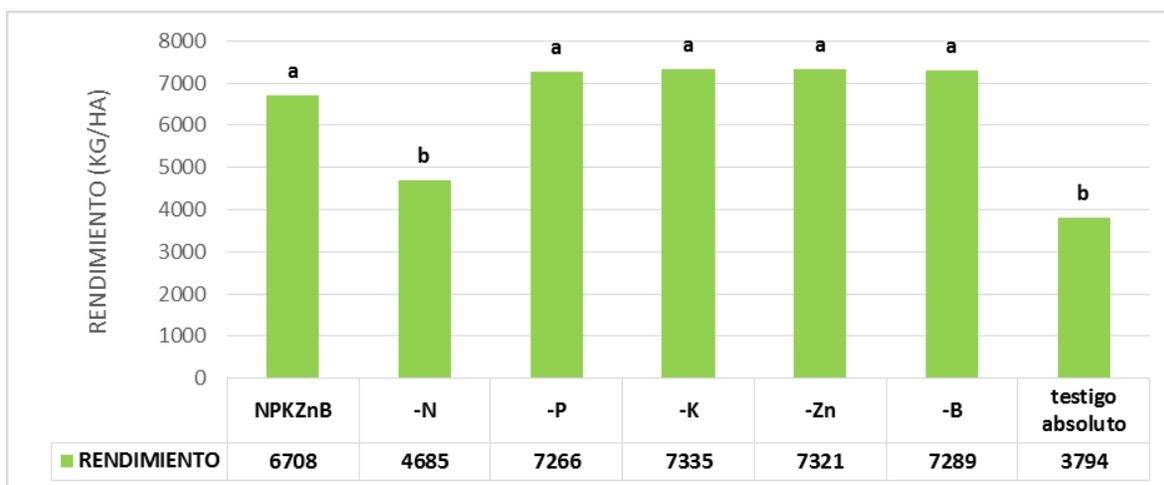


Figura 24. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en CSAEGRO, Guerrero del *hub* Trópico en el 2012.

En la Figura 24 se aprecia que los mayores rendimientos se presentaron en los tratamientos sin K, P, Zn, y B (aproximadamente 7 300 kg ha⁻¹), los que no difirieron estadísticamente entre si y fueron iguales al tratamiento completo (6708 kg/ha). El menor rendimiento se observó en el testigo absoluto (3 794 kg ha⁻¹) que fue similar al tratamiento sin nitrógeno (4 685 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de aproximadamente 3 ton ha⁻¹, lo que muestra un déficit de nitrógeno en el suelo. El análisis químico de suelo mostró una concentración de 12 ppm de N-NO₃ y 2.07% de materia orgánica. Teóricamente, dicha concentración de materia orgánica aportaría a la solución del suelo 41 kg de nitrógeno. La suma de materia orgánica y nitrógeno inorgánico darían una disponibilidad de 66 kg de nitrógeno por hectárea, sin embargo si se considera una eficiencia de nitrógeno disponible del 50%, las plantas tuvieron a su disposición tan solo 33 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Se sabe que una tonelada de materia seca de maíz requiere aproximadamente 10 kg de nitrógeno y que el índice de cosecha es aproximadamente de 0.45 en híbridos y 0.39 en maíces criollos. Esto quiere decir que el suelo en su condición natural pudo abastecer una producción de 3 300 kg ha⁻¹ de materia seca o bien 1 650 kg ha⁻¹ de grano de maíz. El rendimiento del

tratamiento sin nitrógeno ($4\ 685\ \text{kg ha}^{-1}$) supone un alto grado de disponibilidad de nitrógeno en el suelo. La concentración de fósforo Bray-1, fue de 18 ppm P, suficiente para lograr los rendimientos máximos alcanzados en dicha temporada. La concentración de potasio en el suelo fue de 116 ppm de K, suficiente para obtener el máximo rendimiento para ese año en particular.

En el Cuadro 34 se presentan las dosis de fertilización aplicadas a los experimentos de CEIGUA, Guerrero perteneciente al *hub* Trópico en el año 2013. En la Figura 25 se muestran los resultados de rendimiento del experimento en condiciones de temporal, indicado para dicho año.

Cuadro 34. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en CEIGUA, Guerrero del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	200	46	50	1	1
2	200	46	50	1	0
3	200	46	50	0	1
4	200	46	0	1	1
5	200	0	50	1	1
6	0	46	50	1	1
7	0	0	0	0	0

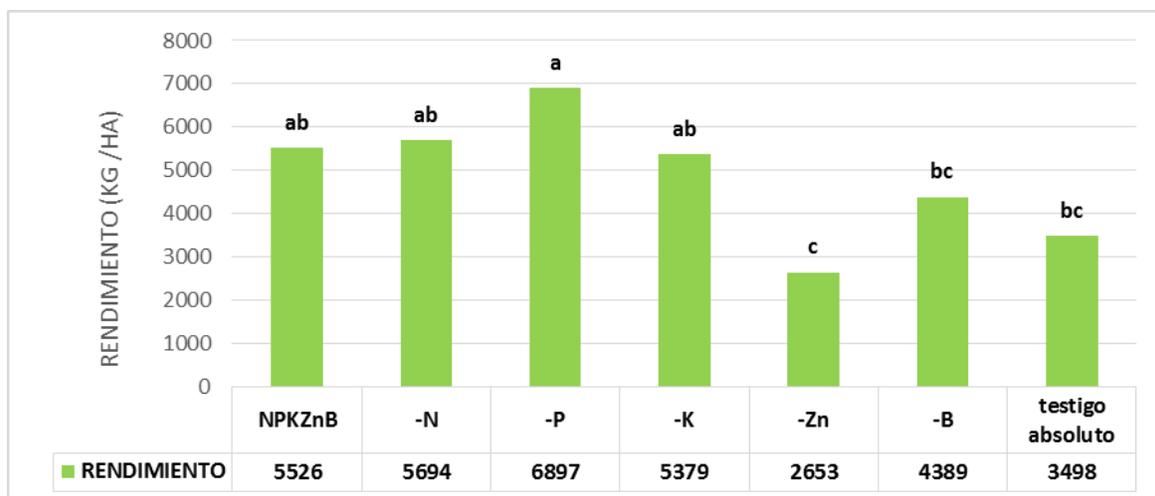


Figura 25. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en CEIGUA, Guerrero del *hub* Trópico en el 2013.

Como se aprecia en la Figura 25, se generaron diferentes grupos estadísticos, donde el mayor rendimiento se identificó con la letra **a**, siendo el tratamiento sin P el mayor rendimiento ($6\ 897\ \text{kg ha}^{-1}$), siendo estadísticamente semejante a los tratamientos sin N, K y tratamiento completo, respecto a los rendimientos más bajos, estos se concentraron en la letra **c**, siendo el tratamiento sin zinc el más bajo ($2\ 653\ \text{kg ha}^{-1}$). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de aproximadamente $4\ \text{ton ha}^{-1}$, lo que mostró una severa deficiencia de zinc en el sitio evaluado. Desafortunadamente los resultados en campo no pudieron ser corroborados con el análisis químico debido a que éste no se realizó.

El Cuadro 35 contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en los dos años de evaluación en el estado de Guerrero.

Cuadro 35. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Guerrero MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr> F	R ²
Modelo	7	57466843	8209549	1.19	0.3269	0.1354
Error	53	366967512	6923915			
Total	60	424434355				
Corregido						

El Cuadro muestra que el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, no es significativo, indicando que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían aportar significancia al modelo.

El Cuadro 36 muestra las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 36. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Guerrero MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor T	Pr > T
Repetición 1	897.71808	1.09	0.2804
Repetición 2	452.85944	0.55	0.5866
Repetición 3	0	.	.
Régimen hídrico	0	.	.
Tipo de semilla	0	.	.
N	5.40367	1.25	0.2182
P	-3.01702	-0.16	0.8737
K	-5.31491	-0.29	0.7708
Zn	1432.34189	1.65	0.1051
B	178.39720	0.20	0.8449

Los experimentos instalados en el estado de Guerrero durante dos años muestran que ninguna de las variables tuvo un efecto sobre el rendimiento. En futuras investigaciones se sugiere el registro de factores climatológicos que permitan elaborar análisis más detallados de lo ocurrido en los experimentos de fertilización.

Grupo 7: Oaxaca

En los Cuadros 37 al 39 se presentan las dosis de fertilización de los sitios Huixtepec, Sinaxtla y Tlacolula, Oaxaca, pertenecientes al *hub* Trópico en el año 2012. En las Figuras 26 a la 28 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos en condiciones de temporal, en dicho año.

Cuadro 37. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Huixtepec, Oaxaca del *hub* Trópico en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	80	40	30	25	10
2	80	40	30	25	0
3	80	40	30	0	10
4	80	40	0	25	10
5	80	0	30	25	10
6	0	40	30	25	10
7	0	0	0	0	0

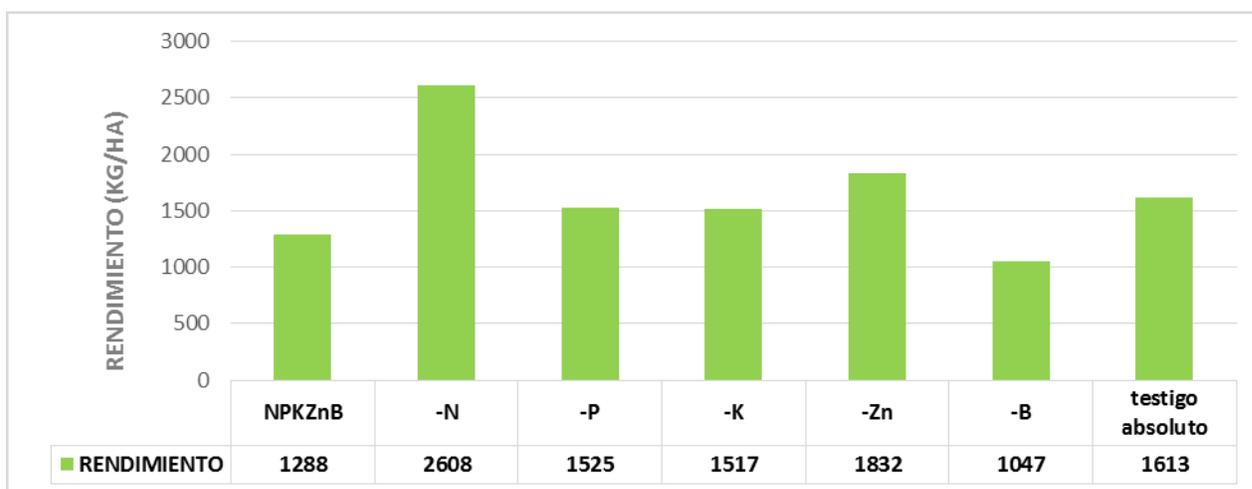


Figura 26. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Huixtepec, Oaxaca del *hub* Trópico en el 2012.

Los resultados en el sitio Huixtepec (Figura 26), no contaron con análisis estadístico debido a la falta de repeticiones entre tratamientos, sin embargo biológicamente, el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin nitrógeno ($2\ 608\ \text{kg ha}^{-1}$) y el menor en el tratamiento sin boro ($1\ 047\ \text{kg ha}^{-1}$), mostrando una diferencia entre ambos de $1.5\ \text{ton ha}^{-1}$. Los resultados indican un déficit de boro y una suficiencia de nitrógeno, misma que no puede ser corroborada por el análisis químico de suelo. Resalta poderosamente que, el mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento sin nitrógeno.

Cuadro 38. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Sinaxtla, Oaxaca del *hub* Trópico en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	80	40	30	25	10
2	80	40	30	25	0
3	80	40	30	0	10
4	80	40	0	25	10
5	80	0	30	25	10
6	0	40	30	25	10
7	0	0	0	0	0

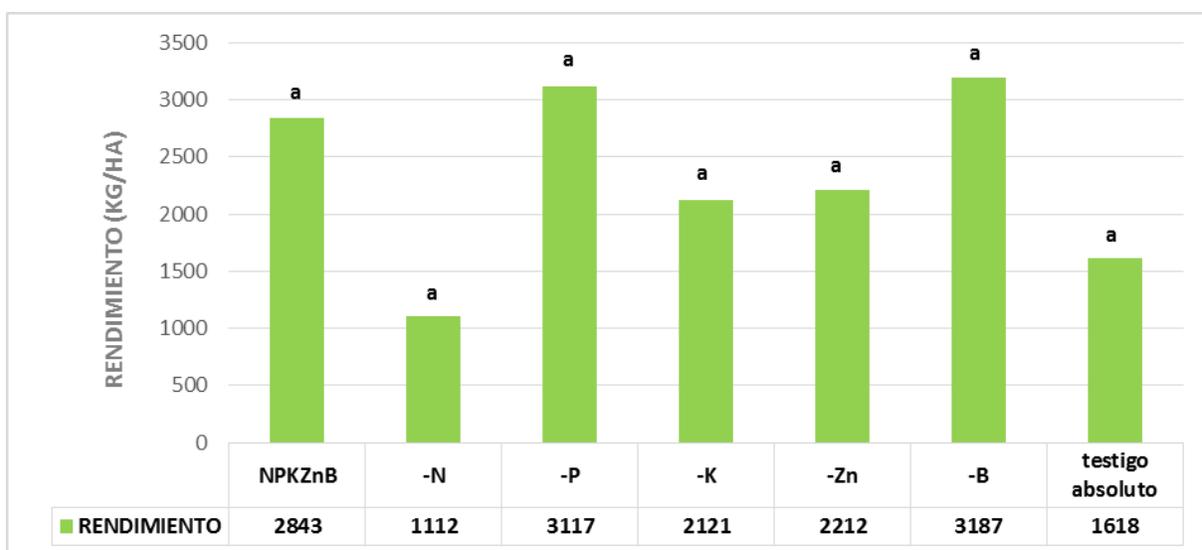


Figura 27. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Sinaxtla, Oaxaca del *hub* Trópico en el 2012.

Los resultados de la Figura 27, muestran la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos, lo cual se puede deber a una considerable heterogeneidad en el sitio, lo que generó desviaciones estándar elevadas en las repeticiones, obstaculizando el análisis estadístico. Sin embargo, biológicamente el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin boro ($3\ 187\ \text{kg ha}^{-1}$) y el menor en el tratamiento sin nitrógeno ($1\ 112\ \text{kg ha}^{-1}$), que fue menor al testigo absoluto. La diferencia entre el tratamiento sin boro y sin nitrógeno fue $2\ \text{ton ha}^{-1}$. Los resultados indican claramente un déficit de nitrógeno en el sitio, que se agudizó al incorporar otros elementos esenciales en la fórmula de fertilización. Resaltan los rendimientos observados en los tratamientos sin P y B, por ser los rendimientos más altos. En el caso del P se sospecha fuertes fertilizaciones con este elemento en el pasado, lo que impide que haya una respuesta. Como no es habitual la fertilización con boro, se supone que se trata de un sustrato que contiene concentraciones elevadas de este elemento. Al igual que en Huixtepec, los experimentos del año 2012, no pueden ser contrastados con los resultados del análisis químico de suelos por no estar disponibles.

Cuadro 39. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Tlacolula, Oaxaca del *hub* Trópico en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	80	40	30	25	10
2	80	40	30	25	0
3	80	40	30	0	10
4	80	40	0	25	10
5	80	0	30	25	10
6	0	40	30	25	10
7	0	0	0	0	0

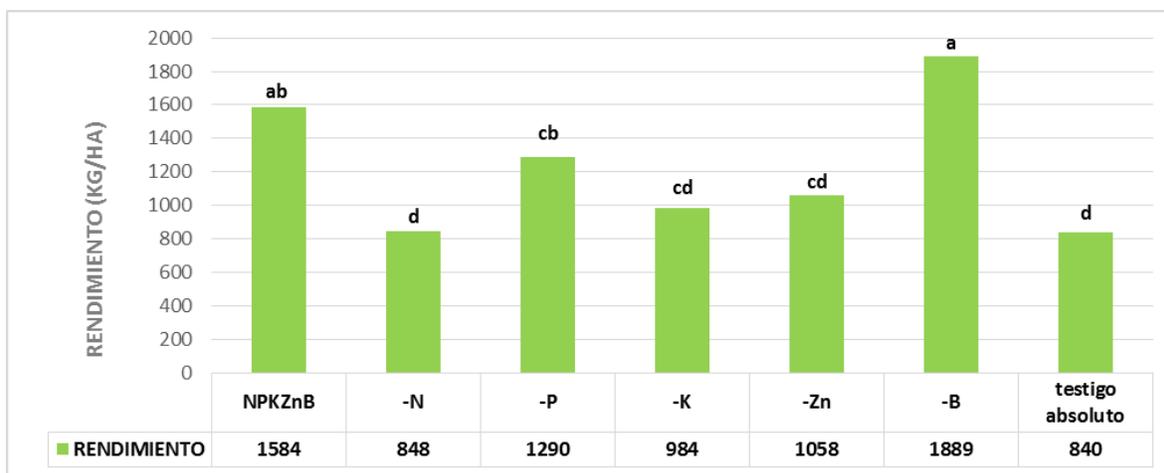


Figura 28. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Tlacolula, Oaxaca del *hub* Trópico en el 2012

El mayor rendimiento biológico en el sitio Tlacolula (Figura 28), se observó en el tratamiento sin boro ($1\ 889\ \text{kg ha}^{-1}$) que fue estadísticamente similar al tratamiento completo. Este fenómeno no es único en esta región ya que tal resultado se ha repetido en otros sitios. El menor rendimiento se observó en el testigo absoluto ($840\ \text{kg ha}^{-1}$) como era de esperarse, pero que resultó estadísticamente similar al tratamiento sin nitrógeno, indicando una gran heterogeneidad en el sitio experimental o malas prácticas de conducción experimental. La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de $1\ \text{ton ha}^{-1}$, lo que hace sospechar un déficit de nitrógeno en el sitio evaluado. El boro se menciona como uno de los micronutrientes capaces de producir disminuciones en rendimiento en condiciones de deficiencia, pero también por exceso. Su déficit se considera relativamente fácil de corregir por medio de fertilizaciones, logrando aumentos económicos de rendimientos (Melgar et al., 2001). Sin embargo, los excesos son difíciles de manejar, particularmente cuando no se dispone de agua de buena calidad y buen drenaje.

En los Cuadros 40 al 44 se presentan las dosis de fertilización aplicadas a los sitios Ayoquezco, Chocani, Quiane, Sinaxtla y Zaachila, del estado de Oaxaca, pertenecientes al *hub* Trópico en el año 2013. En las Figuras 29 a la 33 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos, es importante mencionar que,

en el caso de los sitios Sinaxtla y Zaachila el sistema hídrico fue de riego, a diferencia del resto que fue de temporal, para ese año de evaluación.

Cuadro 40. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Ayoquezco, Oaxaca del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	160	60	60	25	10
2	160	60	60	25	0
3	160	60	60	0	10
4	160	60	0	25	10
5	160	0	60	25	10
6	0	60	60	25	10
7	0	0	0	0	0

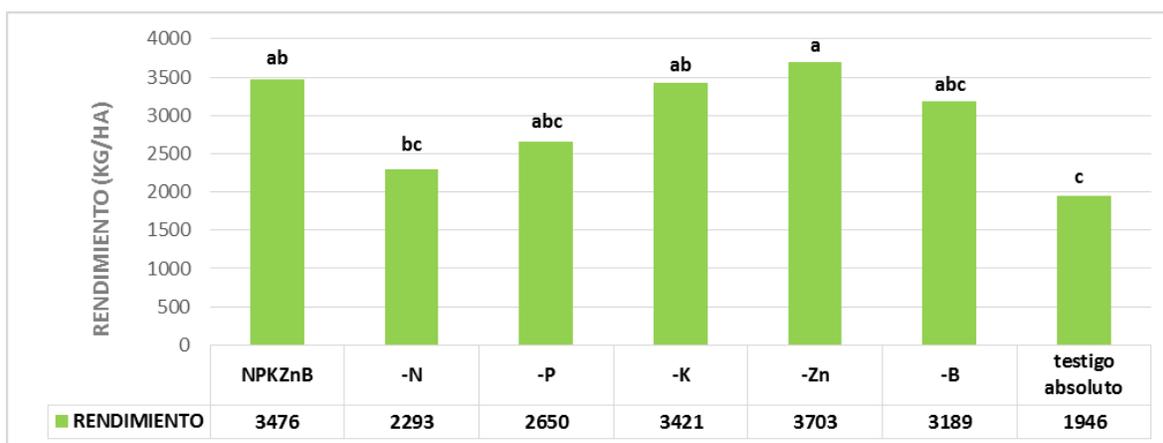


Figura 29. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Ayoquezco, Oaxaca del *hub* Trópico en el 2013.

En Ayoquezco en el año 2013. Los tratamientos completo, sin fósforo, potasio, zinc y boro fueron estadísticamente iguales, Los únicos dos tratamientos que difirieron de la mayoría de los nombrados fueron el sin nitrógeno y el testigo absoluto. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin zinc (3 703 kg ha⁻¹) que sólo

difirió del testigo absoluto y el sin nitrógeno. El menor rendimiento se observó en el testigo absoluto ($1\ 946\ \text{kg ha}^{-1}$), estadísticamente similar al rendimiento del tratamiento sin nitrógeno y sin fósforo. La diferencia entre el rendimiento mayor y el menor, fue de $1.7\ \text{ton ha}^{-1}$, indicando la necesidad del uso de fertilizantes, principalmente nitrogenados y fosfatados, debido al déficit de dichos elementos en el sitio evaluado. El análisis químico de suelos determinó la concentración de N-NO_3 en $24.6\ \text{ppm}$ y de materia orgánica en $0.89\ \%$. Teóricamente $0.89\ \%$ de materia orgánica proporcionarían $18\ \text{kg}$ de nitrógeno a la solución de suelo. La suma del nitrógeno inorgánico más el aporte de la materia orgánica darían un disponibilidad total de $68\ \text{kg ha}^{-1}$. La eficiencia del nitrógeno disponible es de aproximadamente 50% , lo que significa que las plantas tendrían a su disposición $34\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno. El suelo en su condición natural podría ser suficiente para abastecer una producción de $3400\ \text{kg}$ de materia seca por hectárea o una producción de $1700\ \text{kg ha}^{-1}$ de grano muy similar al rendimientos del tratamiento absoluto ($1946\ \text{kg ha}^{-1}$) El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($2\ 293\ \text{kg ha}^{-1}$), hace suponer que en este suelo había una sería deficiencia de nitrógeno disponible, lo cual concuerda con lo observado en el testigo absoluto. La concentración de P Bray-1 fue de $18\ \text{ppm}$, suficiente para una producción de $2650\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin fósforo), pero hubo una pequeña respuesta a la adición del fertilizante fosfatado en todas las fórmulas que llevaron este nutriente por efecto o su interacción. La concentración de potasio que reporta el análisis químico de suelo fue de $113\ \text{ppm}$, suficiente para una producción de $3421\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin potasio) y prácticamente igual al del tratamiento completo.

Nuevamente en este sitio se observó que el mayor rendimiento de grano se obtuvo en el tratamiento sin boro ($2\ 161\ \text{kg ha}^{-1}$). El menor rendimiento se observó en el tratamiento sin nitrógeno ($1\ 005\ \text{kg ha}^{-1}$). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de $1.1\ \text{ton ha}^{-1}$, lo que mostró rendimientos relativamente homogéneos entre tratamientos excepto en el caso de la parcela sin nitrógeno, lo que sugiere posibles niveles de suficiencia de los elementos evaluados en el sitio experimental, excepto un déficit de nitrógeno en el lugar.

Cuadro 41. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Chocani, Oaxaca del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	160	60	60	25	10
2	160	60	60	25	0
3	160	60	60	0	10
4	160	60	0	25	10
5	160	0	60	25	10
6	0	60	60	25	10
7	0	0	0	0	0

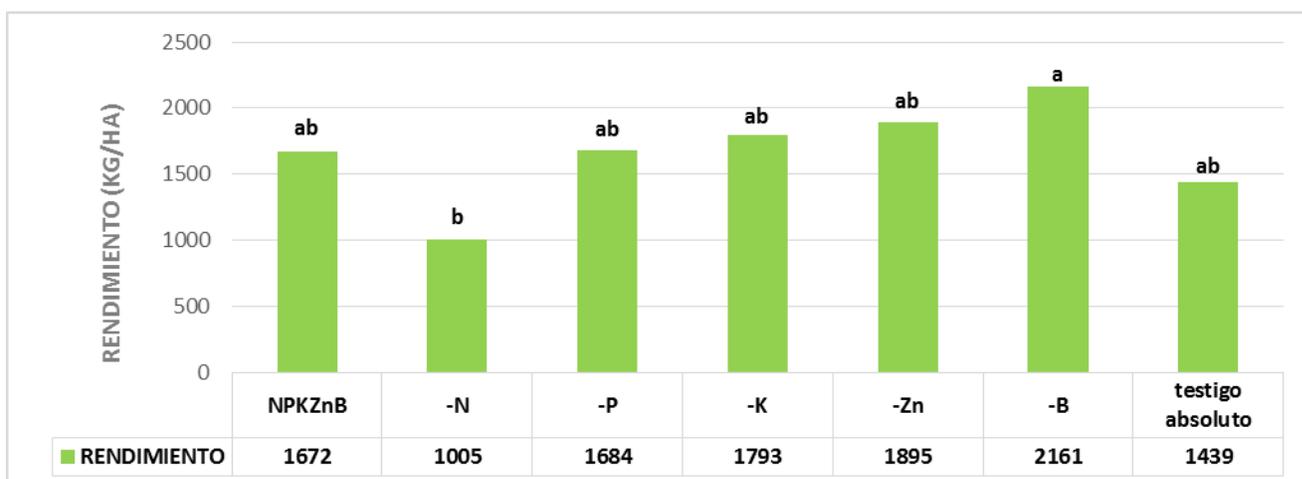


Figura 30. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Chocani, Oaxaca del *hub* Trópico en el 2013.

La confirmación independiente del supuesto no se puede realizar debido a la falta del análisis químico del suelo que permita identificar el estado nutrimental del suelo.

Cuadro 42. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Quiane, Oaxaca del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	160	60	60	25	10
2	160	60	60	25	0
3	160	60	60	0	10
4	160	60	0	25	10
5	160	0	60	25	10
6	0	60	60	25	10
7	0	0	0	0	0

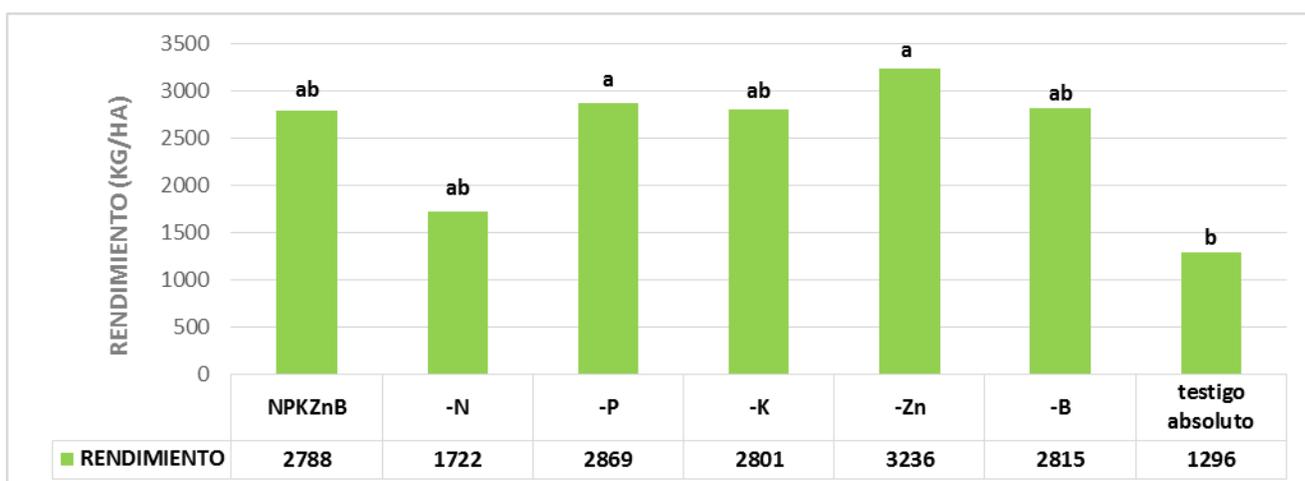


Figura 31. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Quiane, Oaxaca del *hub* Trópico en el 2013.

En Quiane, el mayor rendimiento agronómico se observó en el tratamiento sin zinc ($3\,236\text{ kg ha}^{-1}$) que fue estadísticamente similar a todos los tratamientos, excepto el testigo absoluto. Sin embargo, las diferencias de rendimientos agronómicos no se pueden pasar por alto, a pesar de no haber diferencias estadísticas. El menor rendimiento se tuvo en el testigo absoluto ($1\,296\text{ kg ha}^{-1}$). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 1.9 ton ha^{-1} . El análisis químico de suelo en el sitio en cuestión, mostró un contenido de N-NO_3 de 5.5 ppm y un porcentaje de

materia orgánica de 1.84 % lo que proporcionaría 37 kg de nitrógeno a la solución del suelo. Por tanto, la suma del nitrógeno inorgánico más el aporte de materia orgánica darían una disponibilidad total de 48 kg ha⁻¹. La eficiencia del nitrógeno disponible es de aproximadamente 50%, lo que significa que las plantas tendrían a su disposición 24 kg ha⁻¹ de nitrógeno. El suelo evaluado, en su condición natural podría ser suficiente para abastecer una producción de 4 700 kg de materia seca por hectárea o una producción de 2 390 kg de grano por hectárea. La concentración de P Bray-1 fue de 6.1 ppm de P, fue suficiente para una producción de 2 869 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo) sin respuesta aparente la adición del fertilizante fosfatado en el resto de las fórmulas. La concentración de potasio en suelo fue de 151 ppm de K, suficiente para una producción de 2 801 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio). La concentración de zinc en suelo fue 1.45 ppm por lo que al omitir este elemento de la fórmula de fertilización se alcanzó un rendimiento que agronómicamente fue el mayor de todos. La ausencia de zinc se menciona frecuentemente entre los micronutrientes que generan disminuciones de rendimientos y a su vez, relativamente fáciles de corregir por medio de fertilizaciones logrando aumentos económicos en rendimientos (Melgar *et al.*, 2001). No se tienen antecedentes que en este sitio se hayan hecho aplicaciones previas de zinc.

Cuadro 43. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Sinaxtla, Oaxaca del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	160	60	60	25	10
2	160	60	60	25	0
3	160	60	60	0	10
4	160	60	0	25	10
5	160	0	60	25	10
6	0	60	60	25	10
7	0	0	0	0	0

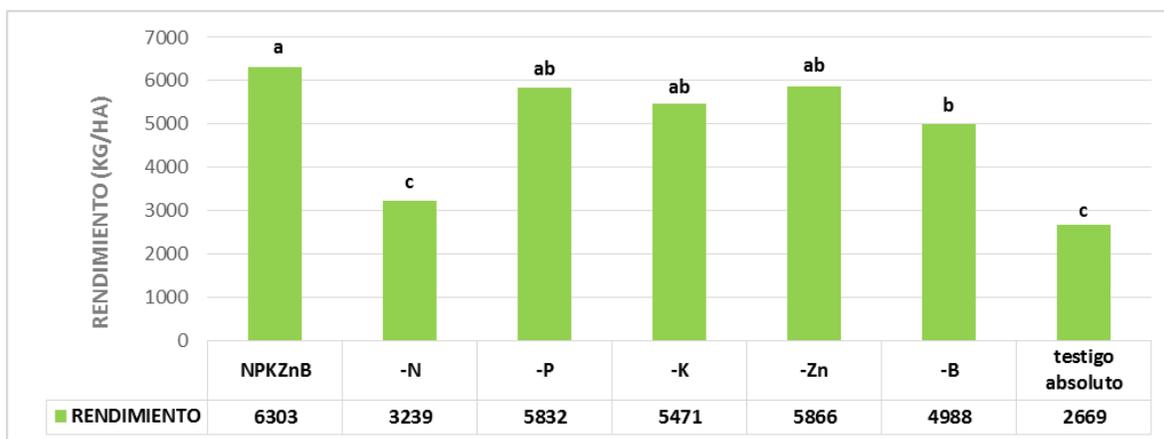


Figura 32. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Sinaxtla, Oaxaca del *hub* Trópico en el 2013.

El menor rendimiento se observó en el testigo absoluto ($2\ 669\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$), estadísticamente similar al rendimiento observado en el tratamiento sin nitrógeno. La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de $3.6\ \text{ton}\ \text{ha}^{-1}$, lo que indica claramente un déficit de nitrógeno en el sitio evaluado. El porcentaje de materia orgánica fue de 0.82%, y la concentración de N-NO_3 de 11 ppm. En teoría 0.82% de materia orgánica proporcionaría 18 kg de nitrógeno a la solución del suelo. La suma del nitrógeno inorgánico más el aporte de la materia orgánica darían una disponibilidad total de $40\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$, considerando una eficiencia del nitrógeno disponible de 50%, las plantas tendrían a su disposición $20\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$. El suelo evaluado, en su condición natural, pudo abastecer una producción de $4\ 000\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$ de materia seca y $2\ 000\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$ de grano, lo que en campo concuerda con lo observado en el testigo absoluto ($2\ 669\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$). La concentración de P-Olsen fue de 10 ppm de P, suficiente para obtener un rendimiento de $5\ 832\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio en suelo fue de 439 ppm, considerado como moderadamente alto, lo cual concuerda con lo observado en campo en el tratamiento sin potasio con un rendimiento mayor a $5\ \text{ton}\ \text{ha}^{-1}$.

Cuadro 44. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Zaachila, Oaxaca del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	160	60	60	25	10
2	160	60	60	25	0
3	160	60	60	0	10
4	160	60	0	25	10
5	160	0	60	25	10
6	0	60	60	25	10
7	0	0	0	0	0

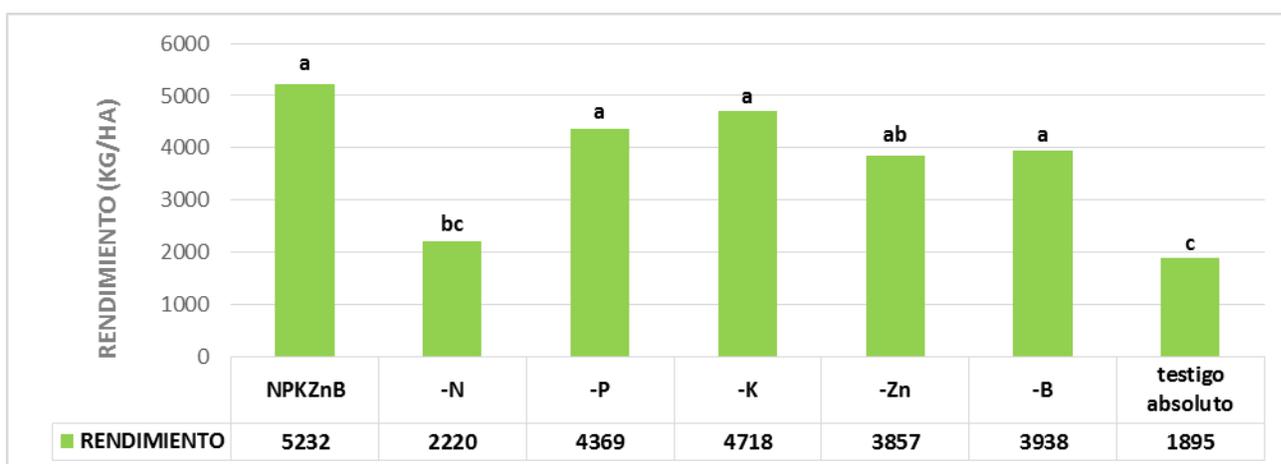


Figura 33. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Zaachila, Oaxaca del *hub* Trópico en el 2013.

El mayor rendimiento en Zaachila (Figura 33), se observó en el tratamiento completo (5 232 kg ha⁻¹), que fue estadísticamente similar a todos los tratamiento excepto el testigo absoluto y el menos nitrógeno, que resultaron ser iguales entre sí. El menor rendimiento lo presentó el testigo absoluto (1 895 kg ha⁻¹), muy parecido al tratamiento sin nitrógeno (2 220 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 3.3 ton ha⁻¹. Los resultados sugieren una severa deficiencia de nitrógeno en Zaachila, donde la falta de dicho elemento, redujo en más de la mitad el rendimiento máximo alcanzado en el periodo de evaluación.

El análisis químico de suelo mostró un contenido de N-NO₃ de 31 ppm, lo cual permite inferir una disponibilidad total de 64 kg de N en el suelo, suficiente para abastecer aproximadamente una demanda de 10 toneladas de materia seca/ha. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (2 220 kg ha⁻¹), hace suponer que en este suelo había una severa deficiencia de nitrógeno disponible, lo cual concuerda con lo observado en el testigo absoluto. La concentración de P- Bray 1 fue de 27 ppm de P, lo cual fue suficiente para producir 4 369 kg ha⁻¹(rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio en suelo fue 261 ppm de K, lo cual fue suficiente para obtener un rendimiento de 4 718 kg ha⁻¹(rendimiento del tratamiento sin potasio).

El Cuadro 45 que muestra el resultado del análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en los dos años de evaluación – tres en el 2012 y cinco en el 2013- en el estado de Oaxaca.

Cuadro 45. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Oaxaca. MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr> F	R ²
Modelo	12	232773393	19397783	21.63	<.0001	0.6985
Error	112	100456910	896937			
Total	124	333230303				
Corregido						

Lo que el Cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **70%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento. Más allá del manejo de la fertilización (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) hacen que la explicación no sea lo suficientemente alta.

En el Cuadro 46 se reportan las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 46. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Oaxaca. MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor T	Pr > T
Repetición 1	289.36684	1.12	0.2654
Repetición 2	131.97359	0.50	0.6168
Repetición 3	0	.	.
Régimen hídrico	1947.60261	6.18	<.0001
Tipo de semilla	208.25063	0.64	0.5235
N	10.61493	7.11	<.0001
P	1.30232	0.34	0.7346
K	2.03117	0.51	0.6109
Zn	0.81840	0.10	0.9227
B	8.70353	0.42	0.6751
MO	361.07450	2.87	0.0049
pH	2265.91161	2.32	0.0222
CE	1085.76547	2.28	0.0246

El régimen hídrico y la ausencia de nitrógeno, tuvieron un gran efecto sobre el rendimiento $F < 0.0001$ para el estado de Oaxaca en su conjunto. Los resultados de los análisis químicos disponibles señalan la existencia de bajos niveles de nitrógeno inorgánico en los sitios experimentales, lo que ocasionan la necesidad del usar fertilizantes nitrogenados en los sitios evaluados. Los experimentos se realizaron en condiciones de temporal, lo que explica los bajos rendimientos independientemente de la fórmula de fertilización aplicada. En futuras investigaciones se sugiere el registro de factores climatológicos que permitan elaborar análisis más detallados de lo ocurrido en los experimentos de fertilización.

Grupo 8: Quintana Roo

En los Cuadros 47 y 48 se presentan las dosis de fertilización que se aplicaron en los sitios de Xul-Ha y Juan Sarabia, Quintana Roo, pertenecientes al *hub* Trópico en el año 2013. En las Figuras 34 y 35 se muestran los resultados de rendimiento de ambos experimentos en el año indicado.

Cuadro 47. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Xul-Ha, Quintana Roo del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	Fe
1	40	80	40	1.6	1.8	1.6
2	0	80	40	1.6	1.8	1.6
3	40	0	40	1.6	1.8	1.6
4	40	80	0	1.6	1.8	1.6
5	40	80	40	0	1.8	1.6
6	40	80	40	1.6	0	1.6
7	0	0	0	0	0	0
8	40	80	40	1.6	1.8	0

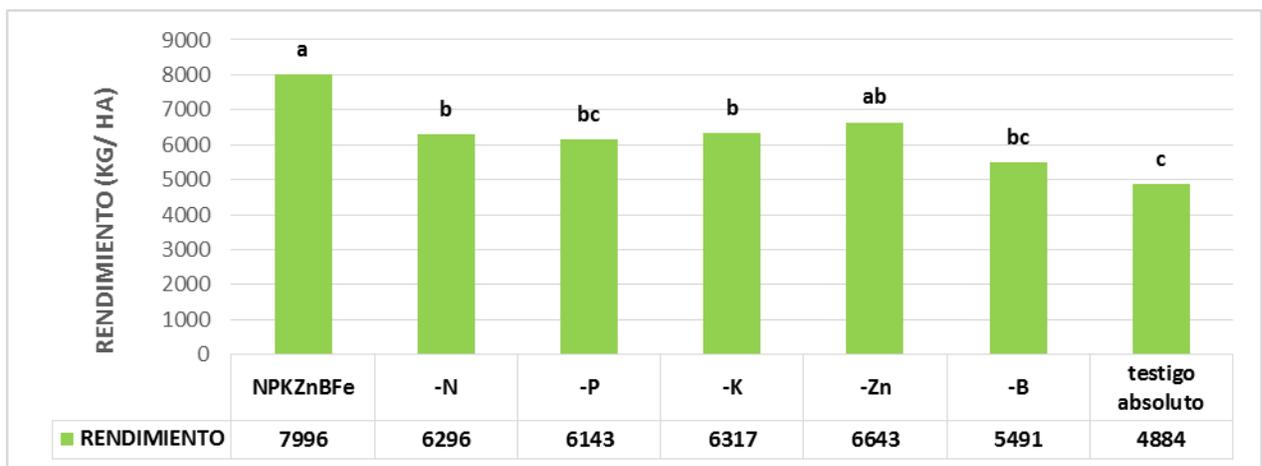


Figura 34. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Xul-Ha, Quintana Roo del *hub* Trópico en el 2013.

En la Figura 34 se muestra los rendimientos y el análisis estadístico de los tratamientos instalados en el sitio Xul-Ha. El mayor rendimiento lo obtuvo el tratamiento completo (7996 kg ha⁻¹) el cual resultó ser estadísticamente similar al tratamiento sin zinc. El rendimiento más bajo se observó en el testigo absoluto (4884 kg ha⁻¹). La diferencia observada entre los tratamientos con mayor y menor rendimiento fue de aproximadamente 3.1 ton ha⁻¹, lo que evidenció un déficit generalizado de los elementos evaluados en el sitio del experimento. Complementariamente, se hace mención que el sitio no contó con análisis químicos, lo que impidió la comparación entre el aporte del suelo y los tratamientos evaluados y por consiguiente el efecto en los rendimientos obtenidos.

Cuadro 48. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Juan Sarabia, Quintana Roo del *hub* Trópico en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	40	80	40	1.6	1.8
2	0	80	40	1.6	1.8
3	40	0	40	1.6	1.8
4	40	80	0	1.6	1.8
5	40	80	40	0	1.8
6	40	80	40	1.6	0
7	0	0	0	0	0

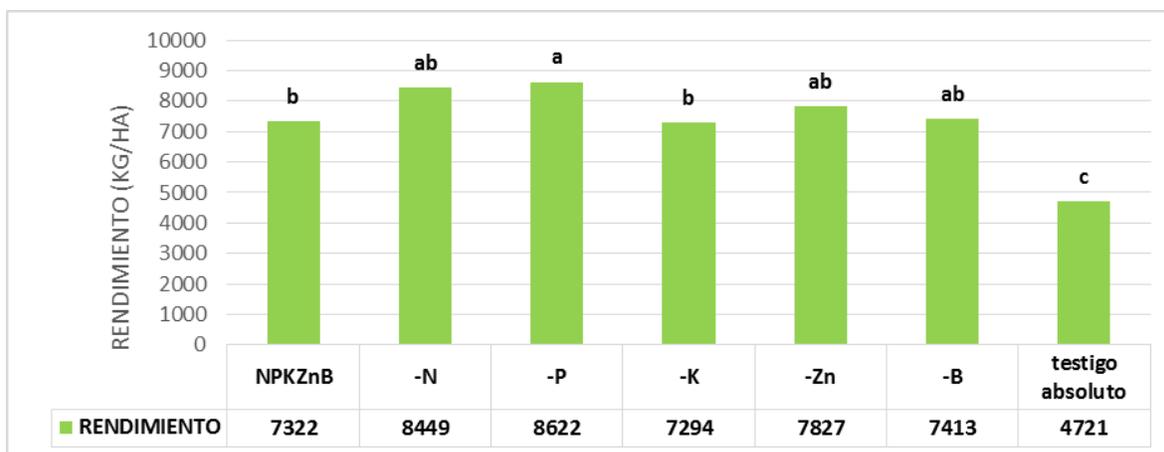


Figura 35. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Juan Sarabia, Quintana Roo del *hub* Trópico en el 2013.

En el sitio Juan Sarabia (Cuadro 48 y Figura 35), el mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento sin P ($8\,622\text{ kg ha}^{-1}$), el cual fue estadísticamente semejante a los rendimientos observados en los tratamientos sin N, Zn y B. El menor rendimiento se observó en el testigo absoluto ($4\,721\text{ kg ha}^{-1}$), esto representó una diferencia de aproximadamente 3.9 ton ha^{-1} con respecto al mayor rendimiento. El resultado del análisis químico de suelo indicó que el contenido de N-NO_3 fue de 21.1 ppm y 4.2% de materia orgánica. Teóricamente 4.2% de materia orgánica aportaría al suelo 85 kg de nitrógeno a la solución del suelo. La suma del nitrógeno inorgánico más el aporte de la materia orgánica darían una disponibilidad total de 118 kg ha de nitrógeno, sin embargo, se considera que el nitrógeno disponible es del 50% , lo que implica que las plantas sólo tuvieron un aporte total de 56 kg ha^{-1} de nitrógeno. Se sabe que una tonelada de materia seca requiere aproximadamente 10 kg de nitrógeno y que el índice de cosecha del cultivo de maíz es de 0.45 en híbridos y 0.39 en maíces criollos. Esto quiere decir que el suelo en su condición natural podría ser suficiente para abastecer una producción de $5\,600\text{ kg ha}^{-1}$ de materia seca o $2\,800\text{ kg ha}^{-1}$ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($8\,449\text{ kg ha}^{-1}$) supone un alto grado de disponibilidad de nitrógeno en el sitio evaluado. La concentración P-Olsen fue de 6.3 ppm , suficiente para una producción

de 8 622 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 595 ppm de K, suficiente para una producción de 7 294 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

A continuación se presenta el Cuadro 49, el cual contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en el año 2013 – dos experimentos en total- en el estado de Quintana Roo.

Cuadro 49. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Quintana Roo. MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr> F	R ²
Modelo	8	53234134	6654267	7.59	<.0001	0.6089
Error	39	34188650	876632			
Total	47	87422784				
Corregido						

Lo que el Cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **61%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían dar un porcentaje mayor al modelo.

En el Cuadro 50, se muestran las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión con el objetivo de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 50. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Quintana Roo. MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor T	Pr > T
Repetición 1	-190.43750	-0.58	0.5684
Repetición 2	-187.00000	-0.56	0.5754
Repetición 3	0	.	.
Régimen hídrico	0	.	.
Tipo de semilla	0	.	.
N	6.68036	0.76	0.4547
P	3.21518	0.73	0.4717
K	20.85119	2.36	0.0235
Zn	252.84226	1.14	0.2599
B	659.74868	3.36	0.0018
MO	2811.57407	3.74	0.0006
N inorgánico del suelo	0	.	.

En el estado de Quintana Roo se instalaron dos experimentos de omisión, los resultados obtenidos de este proceso se analizaron y se concluyó que ninguna de las variables independientes, tuvieron un efecto sobre el rendimiento con una probabilidad de $F < 0.0001$. Valdría la pena indicar la necesidad de considerar variables como las climatológicas a fin de obtener respuestas más detalladas de lo ocurrido en campo a fin de definir variables con efecto sobre el rendimiento.

Grupo 9: EDOMEX

En el Cuadro 51 se presentan las dosis de fertilización aplicadas en la localidad de Ayapango, estado de México, perteneciente al *hub* valles altos en el año 2011. En la Figura 36 se muestran los resultados de rendimiento del experimento en condiciones de temporal, en dicho año.

Cuadro 51. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Ayapango, Estado de México del *hub* Valles Altos en 2011.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	155	28	134	9	1
2	0	28	134	9	1
3	155	0	134	9	1
4	155	28	0	9	1
5	155	28	134	0	1
6	155	28	134	9	0
7	92	63	0	0	0
8	0	0	0	0	0

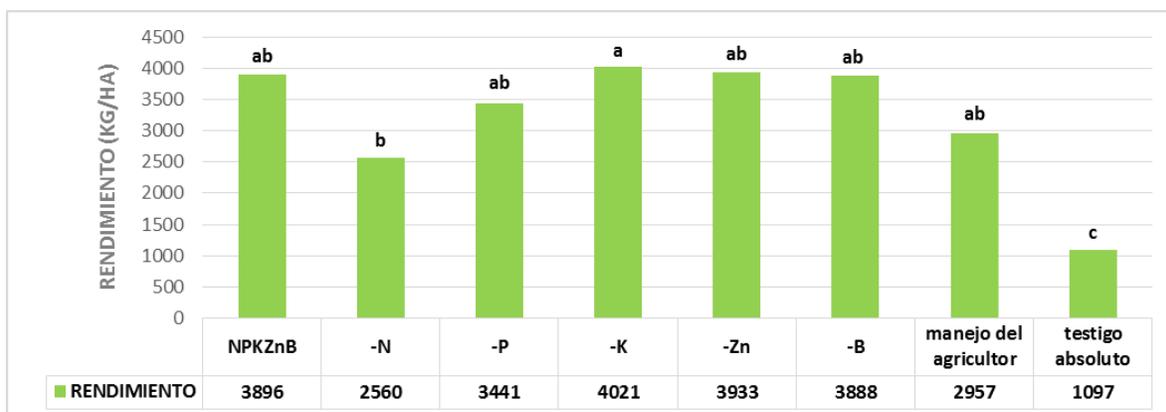


Figura 36. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Ayapango, Estado de México del *hub* Valles Altos en el 2011.

Como se aprecia en la Figura 36, de la comparación de medias, se generaron diferentes grupos estadísticos, en el caso de los mayores rendimientos, estos se concentraron en el grupo **a**, donde el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin K ($4\ 021\ \text{kg ha}^{-1}$), estadísticamente similar a los tratamientos sin P, Zn, B, manejo del productor y el tratamiento completo. Respecto al menor rendimiento, éste se concentró en el grupo **c**, cuyo único integrante fue el testigo absoluto ($1\ 097\ \text{kg ha}^{-1}$). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de $2.9\ \text{ton ha}^{-1}$. A pesar de no contar con análisis químicos de suelos que permitan corroborar lo obtenido en campo, resulta evidente una severa deficiencia de nitrógeno en el sitio evaluado, así como un manejo del agricultor en condiciones de ser mejorado.

En el Cuadro 52 y 53 se presentan las dosis aplicadas en los sitios Santa Lucía y Cocotitlán, del estado de México, pertenecientes al **hub** valles altos, en el año 2012. En las Figuras 37 y 38 se muestran los resultados de rendimiento del experimento con sistema hídrico de temporal.

Cuadro 52. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Sta. Lucia, Estado de México del *hub* Valles Altos en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	40	46	50	3	1.5
2	40	46	50	3	0
3	40	46	50	0	1.5
4	40	46	0	3	1.5
5	40	0	50	3	1.5
6	0	46	50	3	1.5
7	0	0	0	0	0

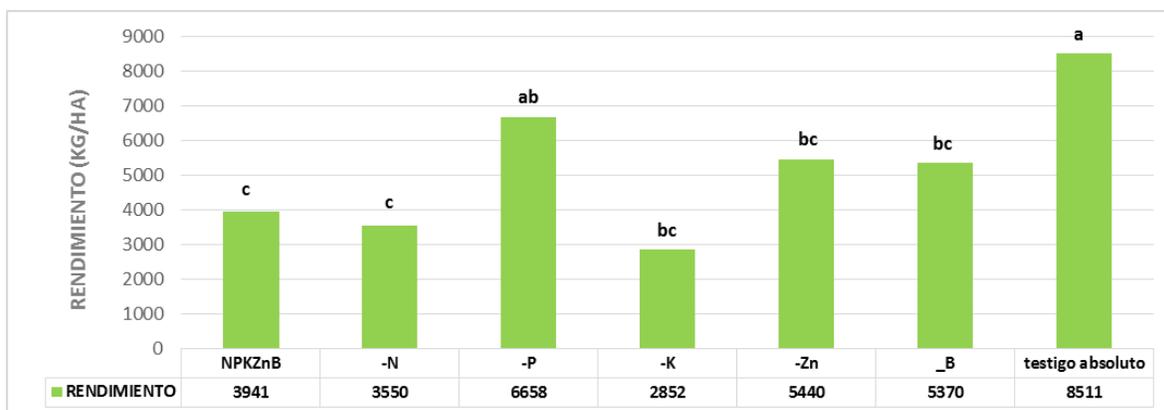


Figura 37. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Santa Lucía, Estado de México del *hub* Valles Altos en el 2012.

Como se aprecia en la Figura 37, el mayor rendimiento se observó en el testigo absoluto ($8\ 511\ \text{kg ha}^{-1}$), estadísticamente similar al rendimiento observado en el tratamiento sin fósforo ($6\ 658\ \text{kg ha}^{-1}$). El menor rendimiento se observó en el tratamiento sin potasio ($2\ 852\ \text{kg ha}^{-1}$), estadísticamente similar a los rendimientos obtenidos en los tratamientos completo y sin nitrógeno. La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de $5.6\ \text{ton ha}^{-1}$. Los resultados indican que, el mejor tratamiento fue aquel que no requirió ningún tipo de fertilizante, lo que teóricamente no resulta válido. Se puede suponer que el sitio contaba con una fertilidad capaz de generar altos rendimientos, pero si se parte de dicho supuesto, los rendimientos de los tratamientos: completo y sin nitrógeno – por ejemplo- no debieron ser de los más bajos. Desafortunadamente el experimento no contó con análisis químico de suelos, por tanto la discusión de lo ocurrido en campo no se puede validar.

Cuadro 53. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Cocotitlán Estado de México del *hub* Valles Altos en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	155	28	134	9	1
2	0	28	134	9	1
3		0	134	9	1
4	155	28	0	9	1
5	155	28	134	0	
6	155	28	134	9	0
7	0	0	0	0	0

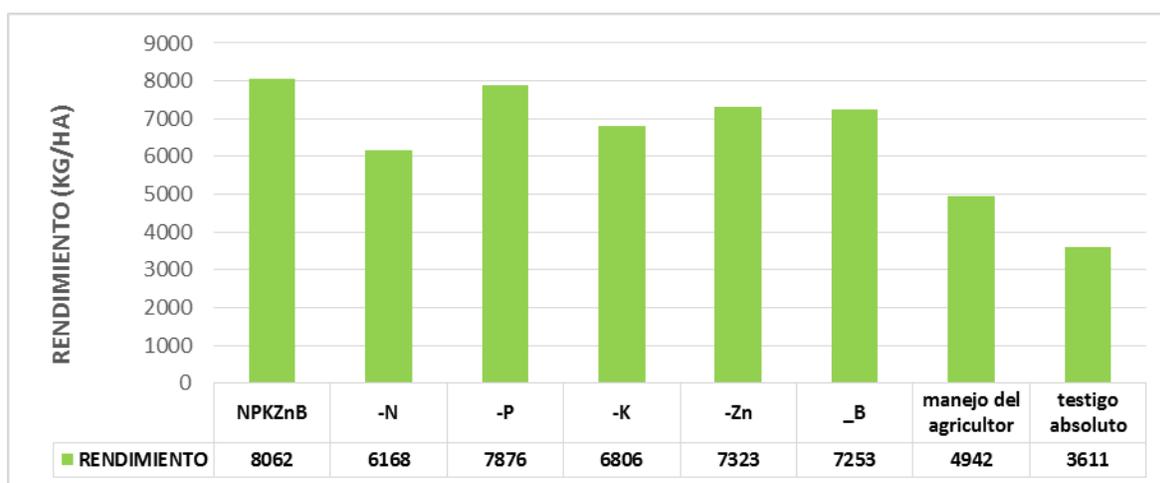


Figura 38. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Cocotitlán, Estado de México del *hub* Valles Altos en el 2012.

Como se observa en la Figura 38, los rendimientos del sitio Cocotitlán, no contaron con análisis estadístico debido a la falta de repeticiones entre tratamientos, sin embargo, biológicamente se aprecia que el mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento completo (8 062 kg ha⁻¹) y el menor rendimiento en el testigo absoluto (3 611 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 4.4 ton ha⁻¹, lo que indica la necesidad del uso de fertilizantes nitrogenados. También destaca el manejo del agricultor, el cual tiene un déficit – en ese año – de 3.1 ton

ha⁻¹, indicando la posibilidad de optimizar su sistema de producción, al menos en las dosis de fertilización. El sitio no contó con análisis químico de suelos, por tanto, la discusión de los resultados no podrá ser comparada entre lo obtenido en campo y las determinaciones químicas del suelo.

En el Cuadro 54 y 55 se aprecian las dosis de fertilización aplicadas a los sitios Juchitepec y Temamatla, del estado de México, pertenecientes al **hub** valles altos, en el año 2013. En las Figuras 39 y 40 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos, ambos con un sistema hídrico de temporal.

Cuadro 54. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Juchitepec Estado de México del *hub* Valles Altos en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	185	80	70	0.80	0.25
2	0	80	70	0.80	0.25
3	185	0	70	0.80	0.25
4	185	80	0	0.80	0.25
5	185	80	70	0	0.25
6	185	80	70	0.80	0
7	0	0	0	0	0

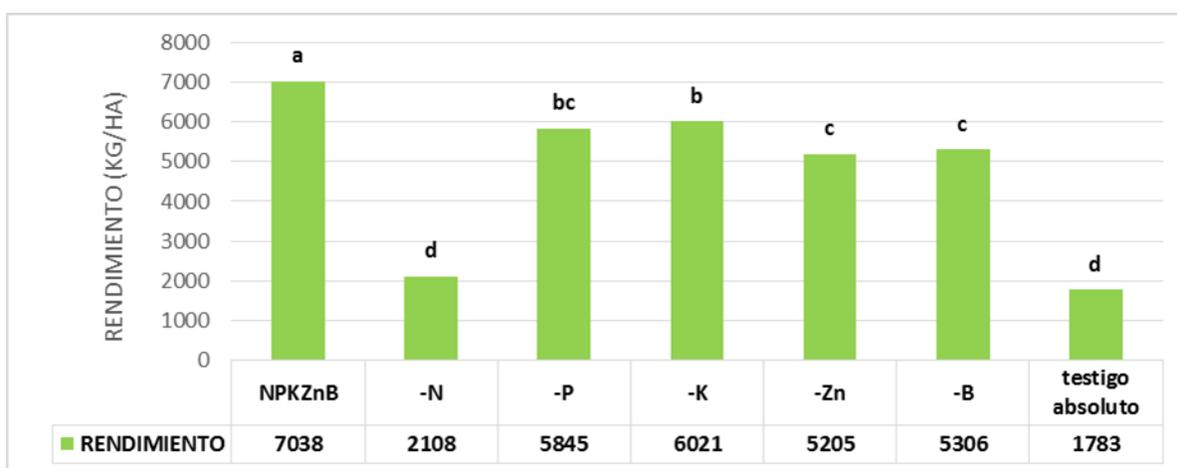


Figura 39. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Juchitepec, Estado de México del *hub* Valles Altos en el 2013.

En la Figura 39 se aprecian los rendimientos así como el análisis estadístico. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento completo ($7\,038\text{ kg ha}^{-1}$). El menor rendimiento se observó en el testigo absoluto ($1\,783\text{ kg ha}^{-1}$) estadísticamente similar al rendimiento observado en el tratamiento sin nitrógeno ($2\,108\text{ kg ha}^{-1}$). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 5.2 ton ha^{-1} , lo que indica un déficit de nitrógeno en el sitio evaluado. El análisis químico de suelo indicó una concentración de N-NO_3 de 11 ppm y 1.6% de materia orgánica. En teoría, el porcentaje de materia orgánica señalada debería aportar a la solución del suelo 32 kg ha^{-1} de nitrógeno, por tanto la suma de nitrógeno inorgánico más materia orgánica darían una disponibilidad total de 56 kg ha^{-1} . La eficiencia del nitrógeno disponible es de aproximadamente 50% , lo que significa que las plantas tendrían a su disposición 28 kg de nitrógeno. El suelo evaluado en su condición natural, pudo abastecer una producción de $2\,800\text{ kg ha}^{-1}$ de materia seca o $1\,400\text{ kg ha}^{-1}$ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($2\,108\text{ kg ha}^{-1}$) supone un alto grado de disponibilidad de nitrógeno a la solución del suelo. La concentración de P-Bray 1 fue 17 ppm de P, suficiente para una producción de $5\,845\text{ kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 145 ppm de K, suficiente para una producción de $6\,021\text{ kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 55. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Temamatla, Estado de México del *hub* Valles Altos en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	180	85	75	0.8	0.25
2	0	85	75	0.8	0.25
3	180	0	75	0.8	0.25
4	180	85	0	0.8	0.25
5	180	85	75	0	0.25
6	180	85	75	0.8	0
7	0	0	0	0	0

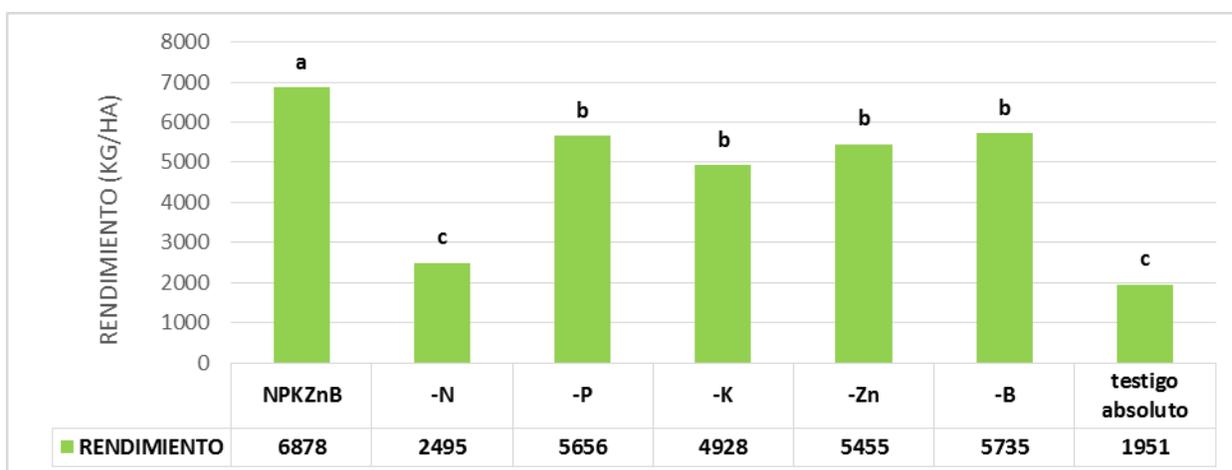


Figura 40. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Temamatla, Estado de México del *hub* Valles Altos en el 2013.

En la Figura 40 se muestran los rendimientos y el análisis estadístico de los tratamientos instalados en el sitio Temamatla. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento completo (6 878 kg ha⁻¹) y el menor rendimiento se observó en el testigo absoluto (1 951 kg ha⁻¹), el cual fue estadísticamente similar al rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (2 495 kg ha⁻¹). En un rango intermedio se concentraron los rendimientos de los tratamientos sin P, K, Zn y B en un rango de

4 928 a 5 735 kg ha⁻¹. La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 4.9 ton ha⁻¹, lo que sugiere un déficit de nitrógeno en el sitio. El análisis químico de suelo mostró una concentración de 16.8 ppm de N-NO₃ y 0.72% de materia orgánica ésta última, daría un aporte de 14 kg ha⁻¹ de nitrógeno a la solución del suelo. La suma de materia orgánica y nitrógeno inorgánico darían una disponibilidad total de 48 kg ha⁻¹, sin embargo, se considera una eficiencia de nitrógeno disponible del 50%, por tanto, las plantas, sólo contaron con 24 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Por tanto, el suelo en su condición natural pudo abastecer una producción de 2 400 kg ha⁻¹ de materia seca o 1 200 kg ha⁻¹ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (2 495 kg ha⁻¹), indica un alto grado de disponibilidad de nitrógeno en la solución del suelo. La concentración de P-Bray 1 fue de 9.1 ppm de P, suficiente para una producción de 5 656 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 82 ppm de K, suficiente para una producción de 4 928 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

A continuación se muestra el Cuadro 56 que contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en los tres años de evaluación – uno en 2011 y 2012 y dos en 2013 - en el estado de México.

Cuadro 56. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de México. MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr> F	R ²
Modelo	8	123945058	15493132	8.70	<.0001	0.5248
Error	63	112220889	1781284			
Total	71	236165947				

Corregido

Lo que el Cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **52%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión),

factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían dar un porcentaje mayor al modelo.

A continuación, se muestra el Cuadro 57 que reporta las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 57. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de México MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor T	Pr > T
Repetición 1	662.77447	1.44	0.1552
Repetición 2	416.49861	0.90	0.3694
Repetición 3	0	.	.
Régimen hídrico	0	.	.
Tipo de semilla	2233.87735	4.22	<.0001
N	14.64489	6.53	<.0001
P	5.93082	1.13	0.2613
K	0.24093	0.06	0.9554
Zn	23.07128	0.28	0.7780
B	483.25683	1.37	0.1761

Como se observa en el Cuadro 57, tanto la variable tipo de semilla y dosis de nitrógeno, tuvieron un efecto sobre el rendimiento con una probabilidad de $F > 0.001$ para el estado de México en su conjunto, lo que hace suponer que la diferencia en el uso de semillas híbridas o criollas tuvo un impacto en el rendimiento del Estado, se recuerda que, los dos primeros experimentos usaron semillas criollas, las que mostraron en promedio un rendimiento de 3 ton ha^{-1} , a diferencia de los dos últimos experimentos, los cuales en promedio mostraron un rendimiento de 7 ton ha^{-1} , mostrando, éstos últimos mayor potencial de producción. Respecto a las dosis de nitrógeno, los cuatro experimentos mostraron deficiencias de dicho elemento en suelo, por lo que las dosis de nitrógeno mostraron ser necesarias en los sitios evaluados.

Grupo 10: Hidalgo

En el Cuadro 58 se presentan las dosis de fertilización aplicadas al sitio Atotonilco, Hidalgo, perteneciente al *hub* valles altos, en el año 2011. En la Figura 41 se muestran los resultados de rendimiento del experimento con un sistema hídrico de temporal.

Cuadro 58. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Atotonilco, Hidalgo del *hub* Valles Altos en 2011.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	60	60	30	25	1
2	0	60	30	25	1
3	60	0	30	25	1
4	60	60	0	25	1
5	60	60	30	0	1
6	60	60	30	25	0
7	BOCASHI				
8	0	0	0	0	0

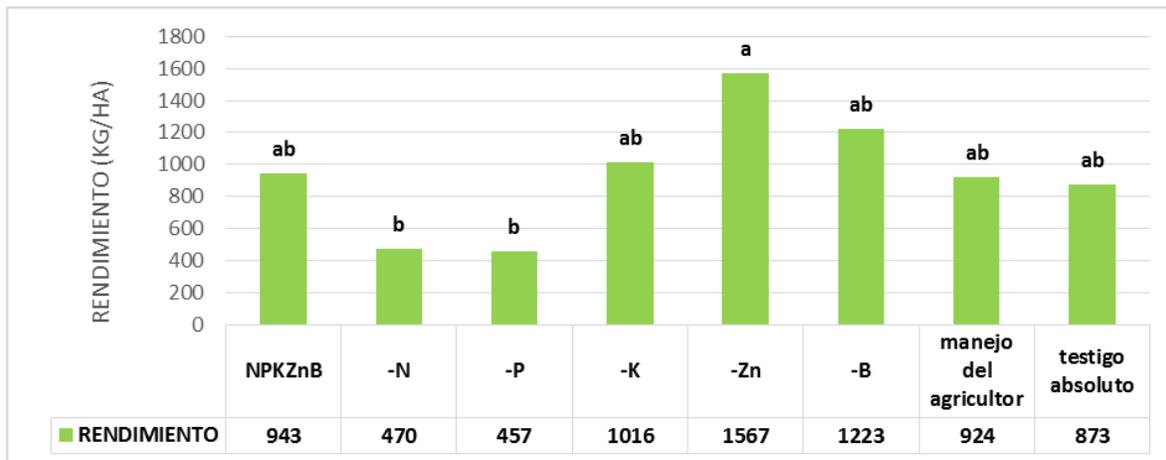


Figura 41. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Atotonilco, Hidalgo del *hub* Valles Altos en el 2011.

Tal como se observa en la Figura 41, se realizó un análisis estadístico, del cual se generaron diferentes grupos. En el grupo **a** se concentraron los rendimientos altos, donde el tratamiento sin zinc ($1\ 567\ \text{kg ha}^{-1}$) fue el más alto, en el mismo grupo se concentraron los tratamientos completo y aquellos sin K, B, manejo del productor y el testigo absoluto. Los rendimientos más bajos, se concentraron en la letra **b**, siendo el tratamiento sin fósforo ($457\ \text{kg ha}^{-1}$) estadísticamente semejante al tratamiento sin nitrógeno ($470\ \text{kg ha}^{-1}$). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de $1.1\ \text{ton ha}^{-1}$, lo que sugiere una deficiencia de nitrógeno y fósforo en el sitio evaluado. El análisis químico de suelo, indicó un contenido de N-NO_3 de 40 ppm y 2.71% de materia orgánica. El porcentaje de materia orgánica, supone un aporte de 54 kg de nitrógeno a la solución del suelo. La suma del nitrógeno inorgánico más la materia orgánica darían una disponibilidad total de $135\ \text{kg ha}^{-1}$, sin embargo, la eficiencia del nitrógeno disponible se considera de 50%, por tanto las plantas dispusieron tan solo de $67\ \text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno. El suelo evaluado, en su condición natural, pudo abastecer una producción de $6\ 750\ \text{kg ha}^{-1}$ de materia seca o $3\ 375\ \text{kg ha}^{-1}$ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($470\ \text{kg ha}^{-1}$) hace suponer que en este suelo había una seria deficiencia de nitrógeno disponible. La concentración de P-Bray 1, fue de 24 ppm de P, suficiente para una producción de $457\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 169 ppm, suficiente para una producción de $1\ 016\ \text{kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

En el Cuadro 59 al 61 se presentan las dosis de fertilización aplicadas a los sitios Atotonilco, Huajomulco y Acaxochitlán, Hidalgo, pertenecientes al **hub** valles altos, en el años 2012. En las Figuras 42 a la 44 se muestran los resultados de rendimiento del experimento, todos ellos en condiciones de temporal.

Cuadro 59. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Atotonilco, Hidalgo del *hub* Valles Altos en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	30	60	30	100	1
2	0	60	30	100	1
3	30	0	30	100	1
4	30	60	0	100	1
5	30	60	30	0	
6	30	60	30	100	0
7	0	0	0	0	0

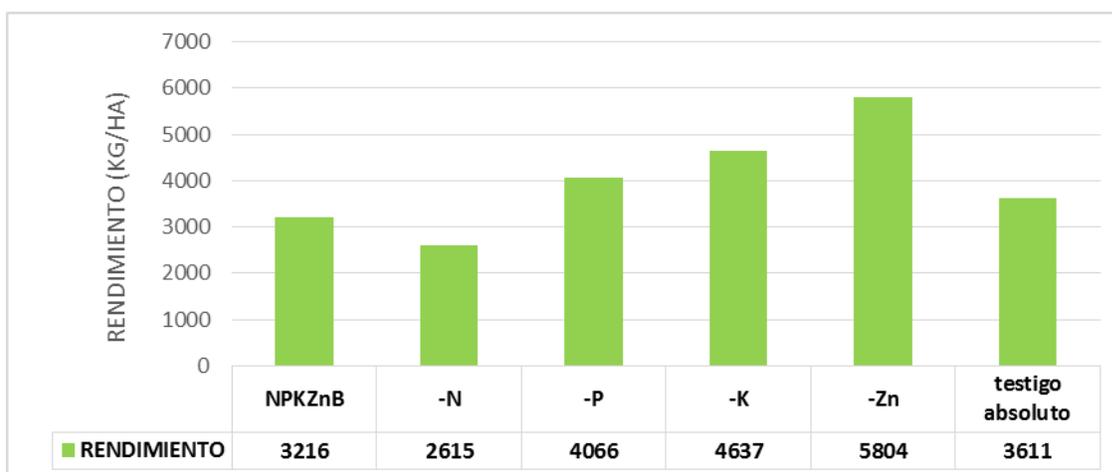


Figura 42. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Atotonilco, Hidalgo del *hub* Valles Altos en el 2012.

La Figura 42, muestra los rendimientos de los tratamientos del sitio Atotonilco, los cuales no contaron con análisis estadístico debido a la falta de repeticiones entre tratamientos, sin embargo, biológicamente, el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin zinc ($5\ 804\ \text{kg ha}^{-1}$) y el menor rendimiento en el tratamiento sin nitrógeno ($2\ 615\ \text{kg ha}^{-1}$). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de $3.1\ \text{ton ha}^{-1}$, indicando una deficiencia de nitrógeno en el sitio evaluado. Los resultados también muestran al testigo absoluto con mejor rendimiento respecto al tratamiento completo, lo cual teóricamente es difícil de explicar, debido al déficit nutrimental observado en el sitio en tratamientos como el nitrógeno y fósforo. La

falta de análisis químico de suelos, impide corroborar lo obtenido en campo, se sugiere en evaluaciones posteriores la elaboración de análisis químicos de suelo que permitan obtener mayor información del experimento.

Cuadro 60. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Huajomulco, Hidalgo del *hub* Valles Altos en 2012

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	30	60	30	100	1
2	0	60	30	100	1
3	30	0	30	100	1
4	30	60	0	100	1
5	30	60	30	0	
6	30	60	30	100	0
7	0	0	0	0	0

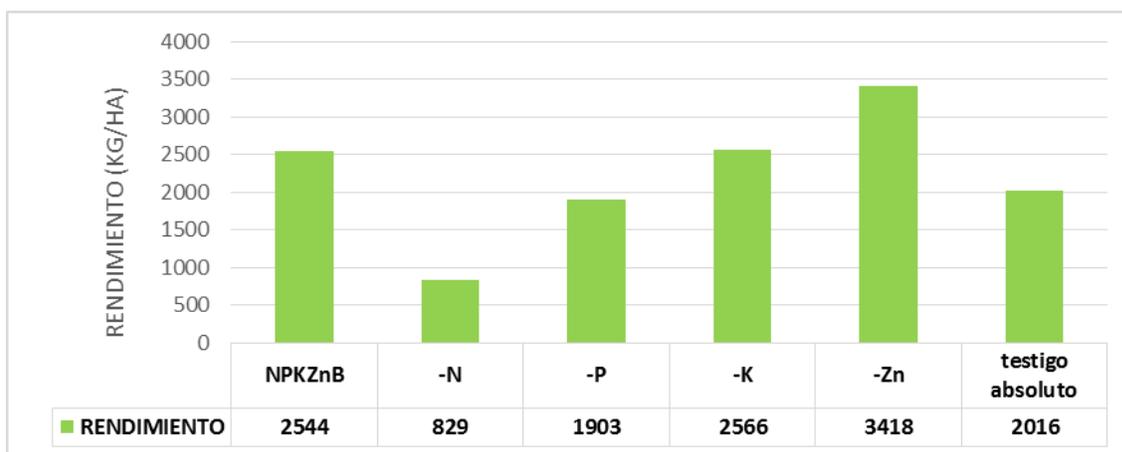


Figura 43. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Huajomulco, Hidalgo del *hub* Valles Altos en el 2012.

En la Figura 43 se observan los rendimientos obtenidos en el sitio Huajomulco en el año 2012. Estadísticamente no se puede analizar debido a la falta de repeticiones entre tratamientos, sin embargo, biológicamente se aprecia que, el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin zinc ($3\,418\text{ kg ha}^{-1}$) y el menor rendimiento se observó en el tratamiento sin nitrógeno (829 kg ha^{-1}). La diferencia

entre el mayor y el menor rendimiento fue de 2.5 ton ha⁻¹, lo que muestra un déficit de nitrógeno en campo. La falta de análisis químico de suelo impide realizar un análisis más profundo de lo ocurrido en el sitio. Se sugiere la incorporación del análisis químico de suelo para futuras evaluaciones.

Cuadro 61. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Acaxochitlán, Hidalgo del *hub* Valles Altos en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	30	60	30	100	1
2	0	60	30	100	1
3	30	0	30	100	1
4	30	60	0	100	1
5	30	60	30	0	
6	30	60	30	100	0
7	0	0	0	0	0

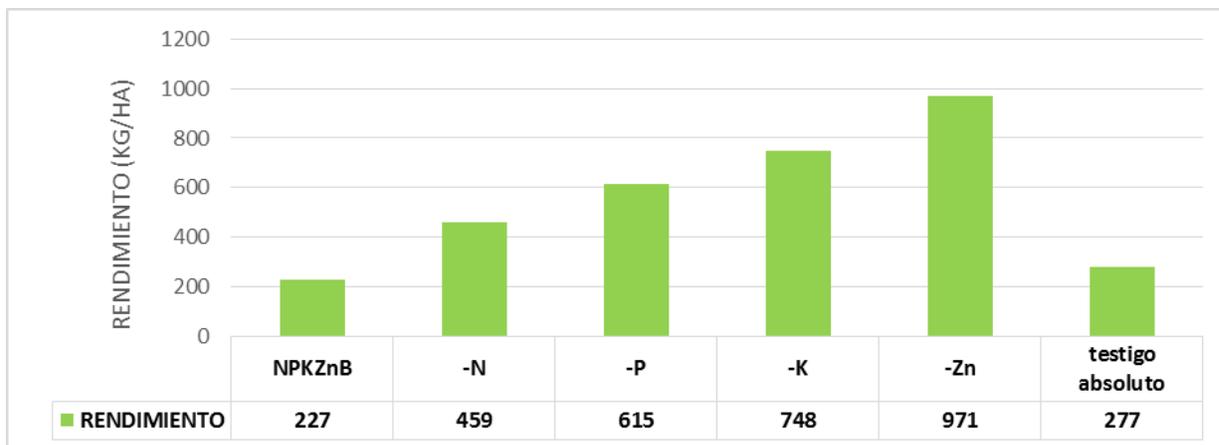


Figura 44. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Acaxochitlán, Hidalgo del *hub* Valles Altos en el 2012.

La Figura 44 muestra los rendimientos obtenidos en el sitio Acaxochitlán en el año 2012. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin Zn (971 kg ha⁻¹) y el menor rendimiento en el tratamiento completo (227 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 744 kg ha⁻¹. Destaca el sitio por ser el de

rendimientos más bajos en todos los experimentos instalados en el estado de Hidalgo, lo cual sugiere dos cosas. La primera es un déficit nutrimental tal, que impide alcanzar rendimientos como los observados en otros sitios y segundo, la necesidad del uso de fertilizantes orgánicos o inorgánicos que le permitan al productor obtener mayores potenciales de producción. En ambos casos, el análisis químico de suelo resultaría de gran utilidad para definir la fertilidad del suelo y las dosis de fertilización adecuadas.

En los Cuadros 62 al 65 presentan las dosis de fertilización aplicadas a los sitios Acaxochitlán, Atotonilco, Huajomulco y Metepec de Hidalgo, pertenecientes al **hub** valles altos, en el año 2013. En las Figuras 45 a la 48 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos en dicho año, todos ellos en condiciones de temporal.

Cuadro 62. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Acaxochitlán, Hidalgo del *hub* Valles Altos en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	60	60	30	1	1
2	0	60	30	1	1
3	60	0	30	1	1
4	60	60	0	1	1
5	60	60	30	0	1
6	60	60	30	1	0
7	0	0	0	0	0

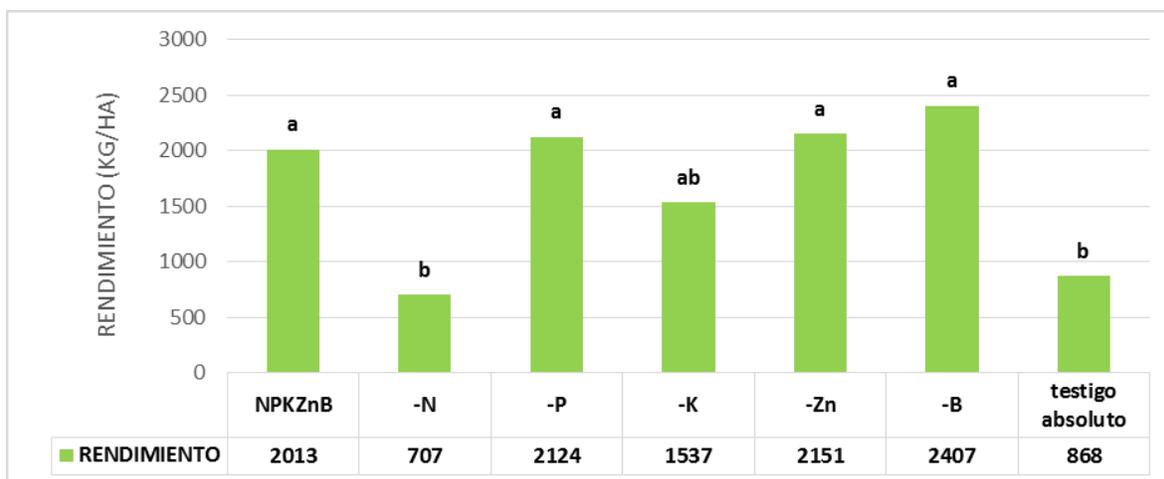


Figura 45. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Acaxochitán, Hidalgo del *hub* Valles Altos en el 2013.

La comparación entre el año 2012 y el 2013 en el sitio Acaxochitlán respecto a la dosis de fertilización muestra que, en el segundo año, la dosis de nitrógeno fue el doble (30 y 60 kg ha⁻¹, respectivamente), dejando igual las dosis de P₂O₅ y K₂O. Los rendimientos del experimento instalado en Acaxochitlán, en el año 2013 (Figura 45) muestran que el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin zinc (2 151 kg ha⁻¹), estadísticamente semejante a los rendimientos de los tratamientos: completo, sin P y B. El menor rendimiento se observó en el tratamiento sin nitrógeno (707 kg ha⁻¹) estadísticamente similar al rendimiento observado en el testigo absoluto. La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 1.4 ton ha⁻¹. El análisis químico de suelos mostró un contenido de N-NO₃ de 7.7 ppm y 1.8% de materia orgánica. Teóricamente 1.8% de materia orgánica supone un aporte de 36 kg de nitrógeno, por tanto, la suma de materia orgánica y nitrógeno inorgánico darían una disponibilidad total de 51 kg ha⁻¹ de nitrógeno, sin embargo, se considera una eficiencia del 50% de nitrógeno disponible para las plantas de maíz, restando sólo 25.5 kg de nitrógeno. Por tanto el suelo en su condición natural, pudo abastecer una producción de 2 580 kg ha⁻¹ de materia seca o 1 291 kg ha⁻¹ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (707 kg ha⁻¹) indica un severo problema de disponibilidad de nitrógeno en el sitio evaluado. La concentración de P-Bray 1

fue de 10 ppm de P, suficiente para una producción de 2 124 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 117 ppm de K, suficiente para una producción de 1 537 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 63. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Atotonilco, Hidalgo del *hub* Valles Altos en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	60	60	30	1	1
2	0	60	30	1	1
3	60	0	30	1	1
4	60	60	0	1	1
5	60	60	30	0	1
6	60	60	30	1	0
7	0	0	0	0	0

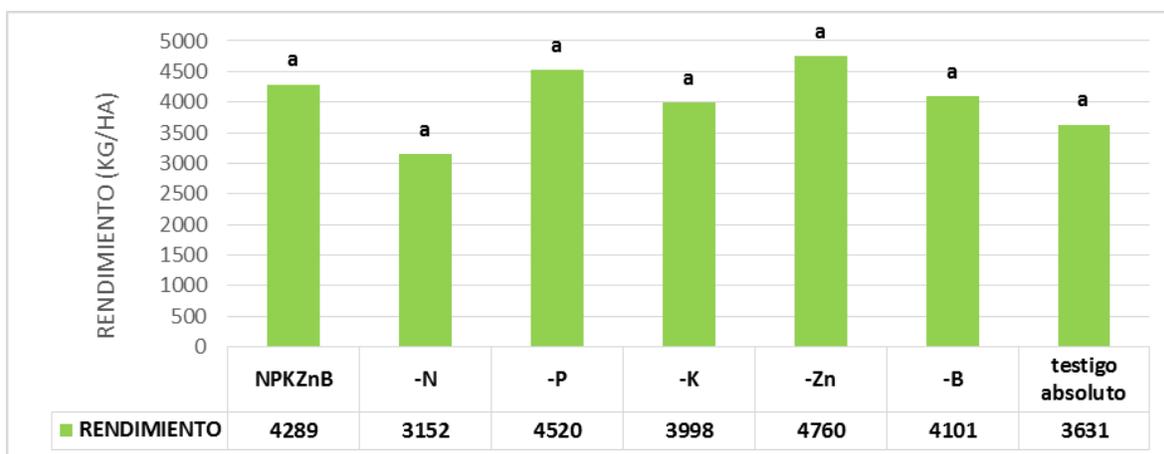


Figura 46. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Atotonilco, Hidalgo del *hub* Valles Altos en el 2013.

En la Figura 46 se muestran los rendimientos obtenidos en el sitio Atotonilco en el año 2013. Se observa que, no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas

entre tratamientos, sin embargo, biológicamente, el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin Zn (4 760 kg ha⁻¹) y el menor rendimiento se observó en el testigo absoluto (3 631 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 1.1 ton ha⁻¹. La falta de diferencias estadísticas entre tratamientos sugiere la presencia de nutrimentos en condiciones de suficiencia, lo que impidió evaluar deficiencias en el sitio experimental. Sin embargo, el análisis químico de suelo mostró una concentración de N-NO₃ de 14 ppm y 1.6% de materia orgánica, éste último, proporcionaría a la solución del suelo 32 kg de nitrógeno, entonces la suma de materia orgánica y nitrógeno inorgánico daría una disponibilidad total de 60 kg ha⁻¹ de nitrógeno, si se considera una eficiencia del nitrógeno disponible de 50%, las plantas tendrían a su disposición tan sólo 30 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Por tanto, el suelo, en su condición natural pudo abastecer una producción de 6 000 kg ha⁻¹ de materia seca o 3 000 kg ha⁻¹ de grano. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (3 152 kg ha⁻¹), concuerda con lo discernido en el análisis químico de suelo y concuerda con lo observado en el testigo absoluto. La concentración de P-Bray 1, fue de 8.3 ppm de P, suficiente para una producción de 4 520 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 348 ppm de K, suficiente para una producción de 3 998 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 64. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Huajomulco, Hidalgo del *hub* Valles Altos en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	60	60	30	1	1
2	0	60	30	1	1
3	60	0	30	1	1
4	60	60	0	1	1
5	60	60	30	0	1
6	60	60	30	1	0
7	0	0	0	0	0

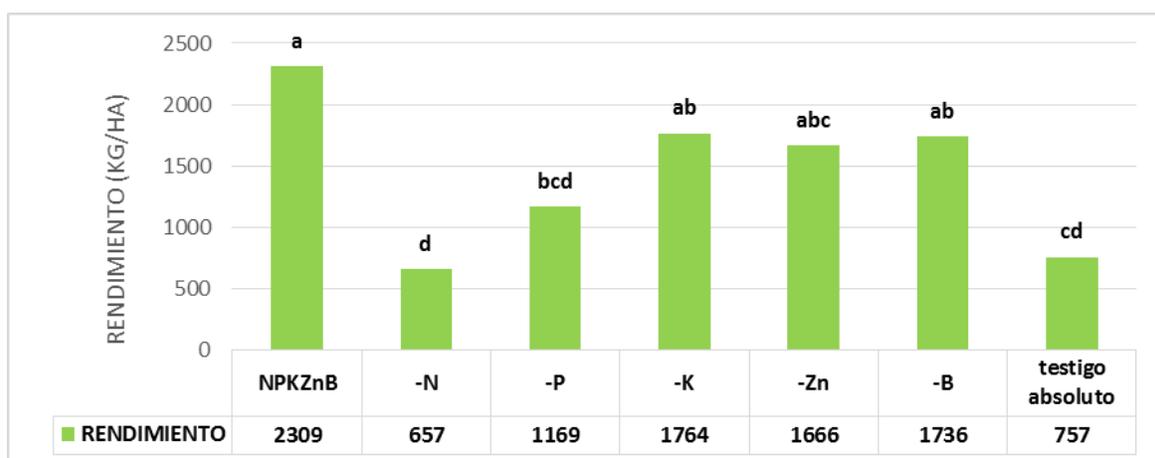


Figura 47. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Huajomulco, Hidalgo del *hub* Valles Altos en el 2013.

En la Figura 47 se muestran los rendimientos obtenidos en el sitio Huajomulco en el año 2013. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento completo (2 309 kg ha⁻¹), el cual fue estadísticamente similar a los rendimientos de los tratamientos sin K, Zn y B. Respecto al menor rendimiento, éste se observó en el tratamiento sin N (657 kg ha⁻¹), estadísticamente fue similar al testigo absoluto (757 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 1.6 ton ha⁻¹, indicando la necesidad de fertilización, particularmente, nitrogenada. El análisis químico de suelo mostró una concentración de N-NO₃ de 13 ppm 1.9% de materia orgánica. Teóricamente 1.9% de materia orgánica proporcionaría 38 Kg de nitrógeno a la solución del suelo. La suma de nitrógeno inorgánico más materia orgánica darían una disponibilidad total de 65 kg ha⁻¹, sin embargo, la eficiencia del nitrógeno disponible es aproximadamente del 50%, lo que significa que las plantas sólo tuvieron a su disposición 32.5 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Esto indica que el suelo, en su condición natural, pudo abastecer una producción de 3 200 kg ha⁻¹ de materia seca o 1 600 kg ha⁻¹ de grano. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (657 kg ha⁻¹), supone una severa deficiencia de nitrógeno disponible, lo cual concuerda con lo observado en el testigo absoluto. La concentración de P-Bray 1 fue de 8.1 ppm de

P, suficiente para una producción de 1 169 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 259 ppm de K, suficiente para una producción de 1 764 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 65. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Metepec, Hidalgo del *hub* Valles Altos en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	60	60	30	1	1
2	0	60	30	1	1
3	60	0	30	1	1
4	60	60	0	1	1
5	60	60	30	0	1
6	60	60	30	1	0
7	0	0	0	0	0

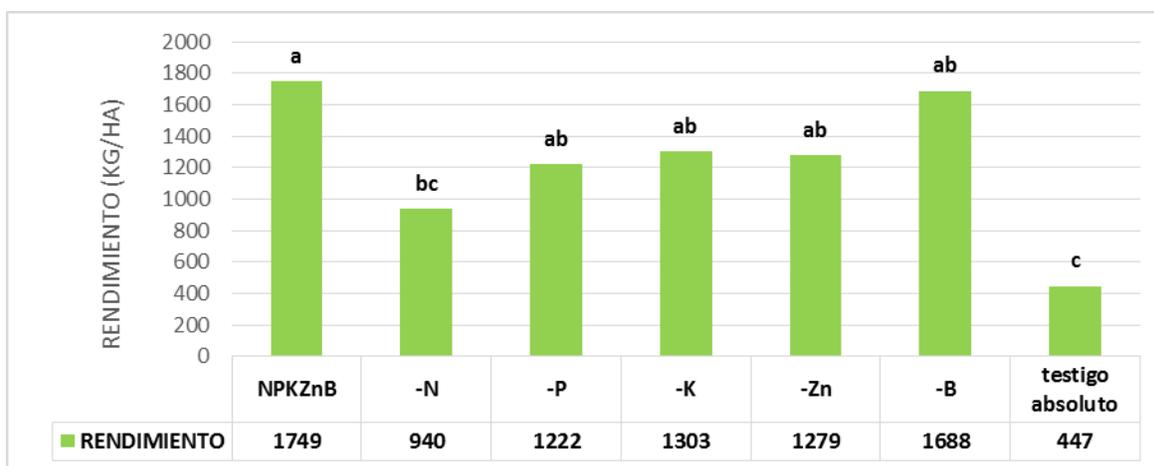


Figura 48. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Metepec, Hidalgo del *hub* Valles Altos en el 2013s.

La Figura 48 muestra los rendimientos obtenidos en el sitio Metepec, en el año 2013. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento completo (1 749 kg ha⁻¹) el cual

fue estadísticamente similar a los rendimientos observados en los tratamientos sin P, K, Zn y B. Respecto al menor rendimiento, éste se observó en el testigo absoluto (447 kg ha⁻¹) similar al rendimiento del tratamiento sin N (940 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 1.3 ton ha⁻¹. El análisis químico de suelo indicó una concentración de N-NO₃ de 7 ppm y 0.34% de materia orgánica. El porcentaje de materia orgánica indicado supondría un aporte de 6.8 kg ha⁻¹ de nitrógeno. La suma de nitrógeno inorgánico más materia orgánica, darían una disponibilidad total de 22 kg ha⁻¹ de nitrógeno, sin embargo, si se considera una eficiencia de nitrógeno disponible del 50%, las plantas sólo dispusieron de 11 kg ha⁻¹ de nitrógeno. El suelo evaluado, en su condición natural, pudo abastecer una producción de 1 100 kg ha⁻¹ de materia seca o 550 kg ha⁻¹ de grano de maíz. La concentración de P-Olsen fue de 38 ppm de P, suficiente para una producción de 1 222 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 1180 ppm de K, suficiente para una producción de 1 303 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

A continuación se muestra el Cuadro 66 que contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en los tres años de evaluación – uno en el 2011, tres en el 2012 y cuatro experimentos en el 2013- en el estado de Hidalgo.

Cuadro 66. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Hidalgo. MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr> F	R ²
Modelo	8	63845518	7980690	3.20	0.0025	0.1757
Error	120	299595206	2496627			
Total	128	363440724				
Corregido						

Lo que el Cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, no es significativo, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico

(considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían dar respuesta a lo sucedido en campo.

A continuación, se muestra el Cuadro 67 que indica las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 67. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Hidalgo. MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor T	Pr > T
Repetición 1	414.31465	1.16	0.2492
Repetición 2	-409.27778	-1.10	0.2740
Repetición 3	0	.	.
Régimen hídrico	0	.	.
Tipo de semilla	710.39485	2.49	0.0142
N	9.06679	1.53	0.1276
P	4.02640	0.70	0.4826
K	2.60465	0.23	0.8202
Zn	9.99111	1.98	0.0498
B	88.63790	0.24	0.8099

En el estado de Hidalgo se instalaron experimentos de omisión por tres años, los resultados obtenidos de éste proceso se analizaron y se concluyó que las variables independientes evaluadas, no tuvieron un efecto sobre el rendimiento con una probabilidad de $F > 0.0001$. Valdría la pena indicar la necesidad de considerar variables como las climatológicas a fin de obtener respuestas más detalladas de lo ocurrido en campo y así definir variables con efecto sobre el rendimiento.

Grupo 11: Puebla

En los Cuadros 68 y 69 se muestran las dosis de fertilización empleadas en la localidad de San Pedro Tlaltenango en 2011 y San Pedro Huejotzingo en 2013, respectivamente; ambas localidades pertenecientes al estado de Puebla, incluido en el *hub* valles altos. En las Figuras 49 y 50 se observan los resultados de rendimiento de cada experimento (ambas en condiciones de temporal) en su respectivo año.

Cuadro 68. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio San Pedro Tlaltenango, Puebla del *hub* Valles Altos en 2011.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	140	60	30	25	1
2	0	60	30	25	1
3	140	0	30	25	1
4	140	60	0	25	1
5	140	60	30	0	1
6	140	60	30	25	0
7	140	60	30	0	0
8	0	0	0	0	0

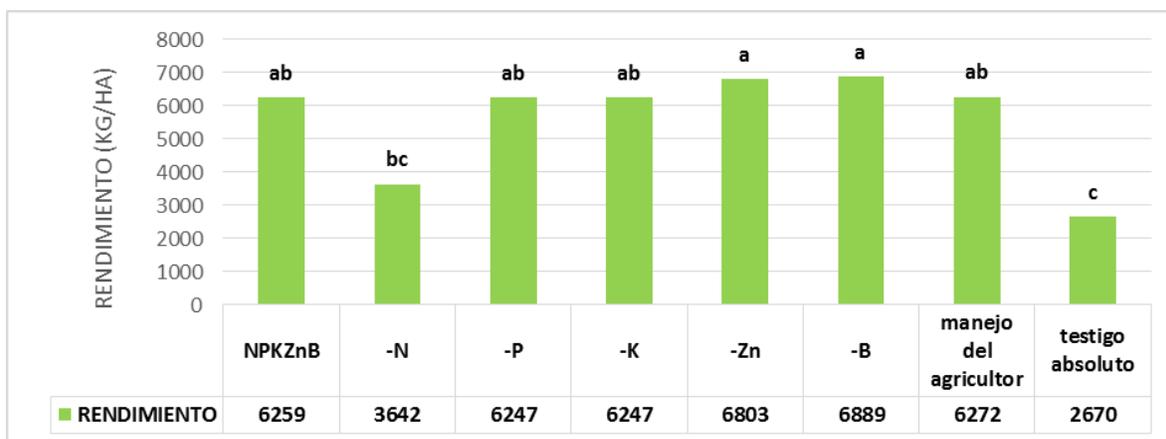


Figura 49. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio San Pedro Tlaltenango, Puebla del *hub* Valles Altos en el 2011.

En la Figura 49 se observa que los mayores rendimientos se obtuvieron en los tratamientos sin zinc y sin boro, cuyos rendimientos fueron de 6803 kg ha⁻¹ y 6889 kg ha⁻¹, respectivamente; mientras que el rendimiento más bajo se observó en el testigo absoluto (2670 kg ha⁻¹), la diferencia entre el tratamiento con el mayor y el de menor rendimiento fue de 4.2 ton ha⁻¹. Lo anterior indicó que el sitio experimental tuvo un déficit de nitrógeno, dado que el tratamiento en el que se omitió dicho elemento resultó estadísticamente similar al testigo absoluto. El análisis químico de suelos indicó una concentración de N-NO₃

6.47 ppm y 0.40% de materia orgánica. La materia orgánica – en teoría- debería proporcionar 8 kg de nitrógeno a la solución del suelo y la suma de nitrógeno inorgánico más materia orgánica darían una disponibilidad total de 21 kg ha⁻¹ de nitrógeno, sin embargo la disponibilidad de nitrógeno está calculada en aproximadamente 50%, por tanto, las plantas sólo dispusieron de 10.5 kg ha⁻¹ de nitrógeno. El suelo en su condición natural pudo abastecer una producción de 1 500 kg ha⁻¹ de materia seca o 750 kg ha⁻¹ de grano. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (3 642 kg ha⁻¹) supone un alto grado de disponibilidad de nitrógeno en el sitio evaluado. La concentración de P-Bray 1, fue de 16.2 ppm de P, suficiente para una producción de 6 247 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 55.7 ppm de K, suficiente para una producción de 6 247 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 69. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio San Pedro Huejotzingo, Puebla del *hub* Valles Altos en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	140	60	30	15	1
2	0	60	30	15	1
3	140	0	30	15	1
4	140	60	0	15	1
5	140	60	30	0	1
6	140	60	30	15	0
7	0	0	0	0	0

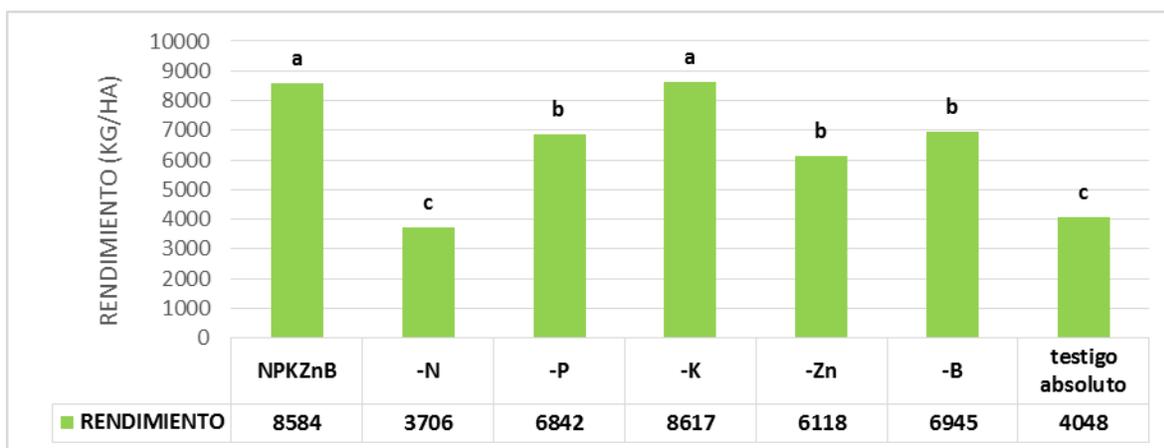


Figura 50. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Huejotzingo, Puebla del *hub* Valles Altos en el 2013.

En la Figura 50 se muestra que, el mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin potasio ($8\ 617\ \text{kg ha}^{-1}$), el cual resultó ser estadísticamente igual al rendimiento del tratamiento completo. Con respecto al menor rendimiento, éste se observó en el tratamiento sin nitrógeno ($3\ 706\ \text{kg ha}^{-1}$), el cual resultó estadísticamente igual al rendimiento del testigo absoluto. Estos resultados muestran que el sitio experimental presentó una severa deficiencia de nitrógeno en el sitio, dado que la diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de prácticamente $4.9\ \text{ton ha}^{-1}$. Los resultados antes expuestos no pudieron ser comparados con el resultado del análisis químico de suelo, dado que no se contó con estos últimos, sin embargo, se hizo muy evidente que la deficiencia de nitrógeno afectó significativamente el rendimiento en comparación con los tratamientos que no carecieron del citado elemento.

A continuación se muestra el Cuadro 70 que contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en los dos años de evaluación – uno en 2011 y otro en 2013- en el estado de Puebla.

Cuadro 70. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Puebla. MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr > F	R ²
Modelo	7	107306296	15329471	8.07	<.0001	0.6044
Error	37	70245551	1898528			
Total	44	177551847				
Corregido						

Lo que el cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **60%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían dar un porcentaje mayor al modelo.

A continuación, se muestra el Cuadro 71 que reporta las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 71. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Puebla. MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor T	Pr > T
Repetición 1	632.46667	1.26	0.2166
Repetición 2	281.80000	0.56	0.5788
Repetición 3	0	.	.
Régimen hídrico	0	.	.
Tipo de semilla	0	.	.
N	23.71671	6.51	<.0001
P	7.49732	0.88	0.3838
K	-14.59425	-0.86	0.3965
Zn	-0.10327	-0.00	0.9963
B	290.78924	0.61	0.5479

Los resultados obtenidos en el estado de Puebla indican que la variable independiente con un valor significativo respecto al rendimiento con un valor de significancia de $F < 0.0001$, en el periodo de evaluación comprendido de dos años fue: la dosis de nitrógeno, lo cual se comprueba en campo, debido a un déficit de nitrógeno en los sitios evaluados. La falta de análisis químico impide un análisis más preciso de lo ocurrido en Puebla, por tanto, se sugiere evaluaciones posteriores que incluyan análisis químico de suelos.

Grupo 12: TLAXCALA

En el Cuadro 72 se presentan las dosis de fertilización aplicadas al sitio San Juan, Tlaxcala, perteneciente al *hub* valles altos, en el año 2012. La Figura 51 muestra los resultados de rendimiento del experimento en dicho año, en condiciones de temporal.

Cuadro 72. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio San Juan, Huamantla del *hub* Valles Altos en 2012.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B
1	40	46	50	3	1.5
2	40	46	50	3	0
3	40	46	50	0	1.5
4	40	46	0	3	1.5
5	40	0	50	3	1.5
6	0	46	50	3	1.5
7	0	0	0	0	0

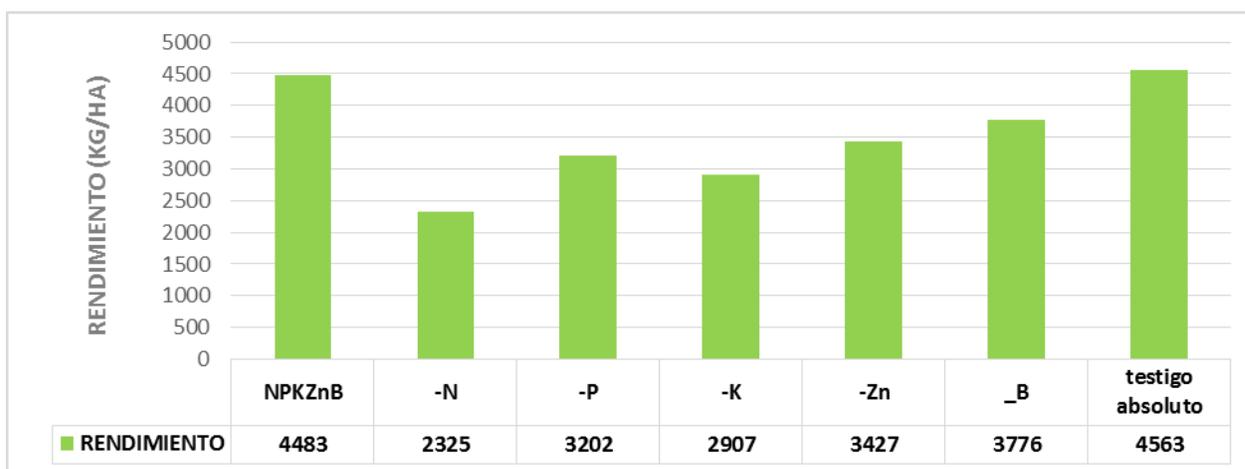


Figura 51. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio San Juan, Huamantla del *hub* Valles Altos en el 2012.

Tal como se observa en la Figura 51, no se realizó análisis estadístico debido a la falta de repeticiones entre tratamientos; no obstante, se aprecia que el mayor rendimiento se obtuvo en el testigo absoluto (4 563 kg ha⁻¹), ligeramente superior al observado en el tratamiento completo (4 483 kg ha⁻¹). El menor rendimiento se observó en el tratamiento sin nitrógeno (2 325 kg ha⁻¹), lo que indica una diferencia entre el mayor y el menor rendimiento de 2.1 ton ha⁻¹, señalando un déficit de nitrógeno en el sitio evaluado. Destaca la similitud en rendimientos entre el tratamiento completo y el testigo absoluto, lo que sugiere un manejo agronómico poco confiable, así como los resultados. El trabajo realizado en campo, no estuvo respaldado por el análisis químico de suelos, por tanto, se sugiere en trabajos posteriores, considerar el uso del análisis químico de suelos.

A continuación se muestra el Cuadro 73 que contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en un año de evaluación – seis experimentos en 2012- en el estado de Tlaxcala.

Cuadro 73. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Tlaxcala. MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr> F	R ²
Modelo	10	178493007	17849301	8.85	<.0001	0.7405
Error	31	62548053	2017679			
Total	41	241041060				

Lo que el Cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **74%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían dar un porcentaje mayor al modelo.

A continuación, se muestra el Cuadro 74 que reporta las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 74. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Tlaxcala. MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor T	Pr > T
Repetición 1	0	.	.
Repetición 2	0	.	.
Repetición 3	0	.	.
Régimen hídrico	0	.	.
Tipo de semilla	0	.	.
N	1.79629	1.95353	0.3649
P	0.17926	1.50531	0.9060
K	3.81152	1.76744	0.0389
Zn	74.87441	336.58320	0.8254
B	47.02198	481.50326	0.9228
MO	3644.60022	1543.94494	0.0247
N inorgánico del suelo	365.01371	134.35161	0.0107
P del suelo	118.97740	38.55743	0.0043
pH	2681.02600	931.87427	0.0072

En el estado de Tlaxcala, los resultados obtenidos de éste proceso se analizaron y se concluyó que las variables independientes evaluadas, no tuvieron un efecto sobre el rendimiento con una probabilidad de $F < 0.0001$. Valdría la pena considerar aspectos como los climatológicos a fin de obtener respuestas más detalladas de lo ocurrido en campo y así definir variables con efecto sobre el rendimiento.

Grupo 13: San Luis Potosí

Las dosis de fertilización aplicadas a los experimentos instalados en las localidades de Ébano y Tamuín en San Luis Potosí, pertenecientes al hub Intermedio, en el año 2013, se pueden observar en los Cuadros 75 y 76. En las Figuras 52 y 53 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos en dicho año, ambos experimentos instalados en un sistema hídrico de riego.

Cuadro 75. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Ébano, San Luis Potosí del *hub* Intermedio en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	S	Fe
1	240	120	30	0.25	0.25	40	2
2	240	120	30	0.25	0	40	2
3	240	120	30	0	0.25	40	2
4	240	120	0	0.25	0.25	40	2
5		0	30	0.25	0.25	40	2
6	0	120	30	0.25	0.25	40	2
7	240	120	30	0.25	0.25	0	2
8	240	120	30	0.25	0.25	40	0
9	0	0	0	0	0	0	0

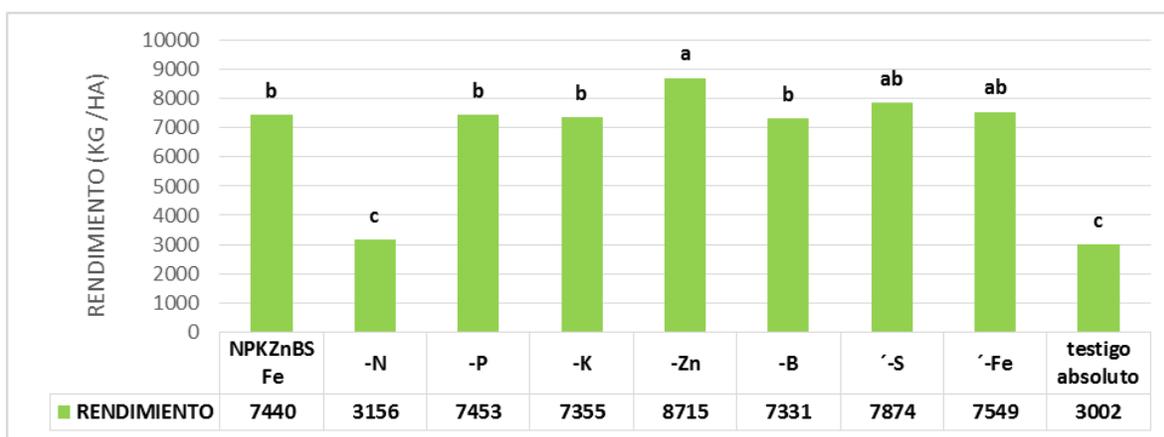


Figura 52. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Ébano, San Luis Potosí del *hub* Intermedio en el 2013.

En el sitio Ébano (Figura 52), el mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento fue sin zinc ($8\,715\text{ kg ha}^{-1}$), mientras que el testigo absoluto tuvo el menor rendimiento con $3\,002\text{ kg ha}^{-1}$, además resultó ser estadísticamente igual al testigo sin nitrógeno ($3\,156\text{ kg ha}^{-1}$). Por su parte, el resto de los tratamientos obtuvieron rendimientos en un rango de $7\,331\text{ kg ha}^{-1}$ y $7\,874\text{ kg ha}^{-1}$. La diferencia que se obtuvo entre el rendimiento mayor y el menor fue de 7.5 ton ha^{-1} , lo que supone un déficit de nitrógeno en el sitio experimental. Con respecto al análisis de suelo, la concentración de N-NO₃ fue de 11.9 ppm y 3% de materia orgánica. Teóricamente 3% de materia orgánica aportaría 60 kg ha^{-1} de nitrógeno a la solución del suelo, considerando la suma de materia orgánica y nitrógeno inorgánico darían una disponibilidad total de 84 kg ha^{-1} de nitrógeno, sin embargo, se considera que la eficiencia del nitrógeno disponible es aproximadamente de 50%, lo que implica una disponibilidad total de 42 kg ha^{-1} de nitrógeno. El suelo en su condición natural podría abastecer una producción de $4\,200\text{ kg ha}^{-1}$ de materia seca o $2\,100\text{ kg ha}^{-1}$ de grano. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno ($3\,156\text{ kg ha}^{-1}$) supone una considerable disponibilidad de nitrógeno. La concentración de P-Olsen fue de 47.8 ppm de P, suficiente para una producción de $7\,453\text{ kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio en el suelo fue de 595 ppm de K, suficiente para una producción de $7\,355\text{ kg ha}^{-1}$ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

Cuadro 76. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Tamuín, San Luis Potosí del *hub* Intermedio en 2013.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	S	Fe
1	240	120	30	0.25	0.25	40	2
2	240	120	30	0.25	0	40	2
3	240	120	30	0	0.25	40	2
4	240	120	0	0.25	0.25	40	2
5		0	30	0.25	0.25	40	2
6	0	120	30	0.25	0.25	40	2
7	240	120	30	0.25	0.25	0	2
8	240	120	30	0.25	0.25	40	0
9	0	0	0	0	0	0	0

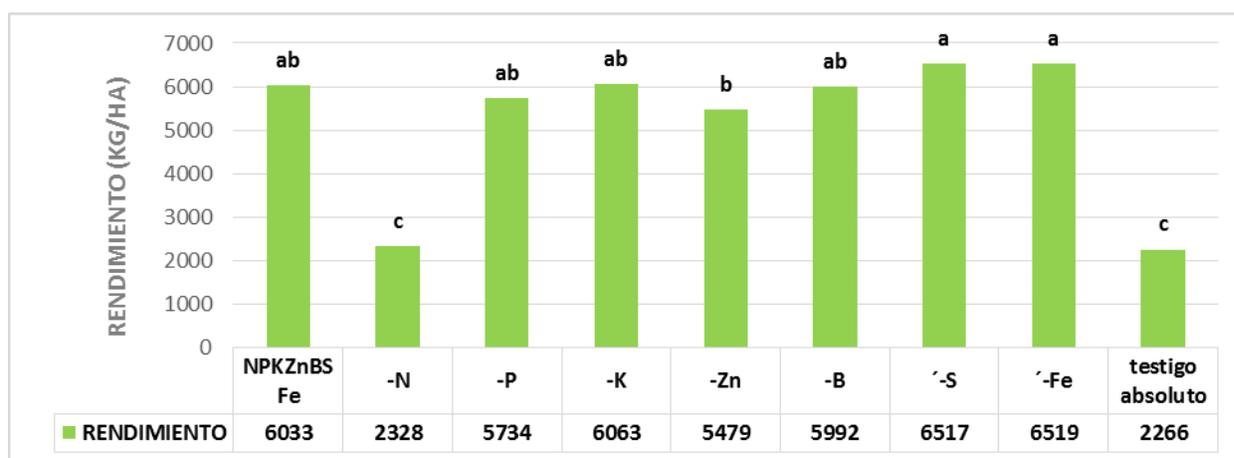


Figura 53. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Tamuín, San Luis Potosí del *hub* Intermedio en el 2013.

En la Figura 53, se indican los rendimientos obtenidos para los tratamientos evaluados en el sitio Tamuín, en el año 2013. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin hierro (6 519 kg ha⁻¹), el cual fue estadísticamente igual al rendimiento observado en el tratamiento sin azufre. Respecto al menor rendimiento, éste se observó en el testigo absoluto (2 266 kg ha⁻¹) siendo estadísticamente igual

al rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (2 328 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mayor y menor rendimiento fue de 4.3 ton ha⁻¹. Los resultados indican un déficit de nitrógeno en el sitio evaluado, mostrando una reducción en rendimiento del 62%, si se le compara con el tratamiento completo. El análisis químico de suelo indicó una concentración de N-NO₃ 31 ppm y 1.6% de materia orgánica. Teóricamente, 1.6% de materia orgánica debería aportar 33 kg ha⁻¹ de nitrógeno, considerando la suma del aporte de materia orgánica y nitrógeno inorgánico daría una disponibilidad de total de 96 kg ha⁻¹, sin embargo, se considera una eficiencia del nitrógeno disponible del 50%, por tanto, las plantas sólo dispondrían de 48 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Se sabe que una tonelada de materia seca de maíz requiere aproximadamente 10 kg de nitrógeno, por tanto, el suelo en su condición natural podría abastecer una producción de 4 800 kg ha⁻¹ de materia seca o 2 400 kg ha⁻¹ de grano de maíz. El rendimiento del tratamiento sin nitrógeno (2 328 kg ha⁻¹) corrobora lo anteriormente expuesto. La concentración de P-Bray 1 fue de 20.2 ppm de P, suficiente para una producción de 5 734 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin fósforo). La concentración de potasio fue de 602 ppm, suficiente para una producción de 6 063 kg ha⁻¹ (rendimiento del tratamiento sin potasio).

A continuación se muestra el Cuadro 76 que contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en un año de evaluación – dos en 2013- en el estado de San Luis Potosí.

Cuadro 76. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de San Luis Potosí. MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr> F	R ²
Modelo	9	258981630	28775737	47.93	<.0001	0.8743
Error	62	37225741	600415			
Total	71	296207370				
Corregido						

Lo que el Cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **87%** la relación de las variables

independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían dar un porcentaje mayor al modelo.

A continuación, se muestra el Cuadro 77 que reporta las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 77. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de San Luis Potosí. MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor T	Pr > T
Repetición 1	79.33333	0.50	0.6177
Repetición 2	286.50000	1.81	0.0749
Repetición 3	260.61111	1.65	0.1045
Régimen hídrico	0	0	.
Tipo de semilla	0	0	.
N	16.96112	16.18	<.0001
P	1.82432	0.87	0.3875
K	8.76855	1.02	0.3134
Zn	1312.19966	1.26	0.2134
B	603.17131	0.60	0.5511
MO	1027.60308	7.81	<.0001
N inorgánico del suelo	0	.	.
P suelo	0	.	.

Del trabajo de un año en dos parcelas en el estado de San Luis Potosí, se identificaron las variables independientes con valores significativos, los cuales fueron: dosis de nitrógeno y contenido de materia orgánica en el suelo con una probabilidad de $F < 0.0001$. Los resultados concuerdan con lo observado en campo, donde el tratamiento con el menor rendimiento fue el tratamiento sin nitrógeno, lo que supone por una parte, un déficit de dicho elemento en suelo, así como la necesidad del uso de fertilizantes nitrogenados orgánicos o inorgánicos y por otra parte, prácticas de manejo agronómico que permitan incrementar y sostener niveles de materia orgánica capaces de proveer al sistema de nutrientes y mejorar la estructura del suelo.

Grupo 14: SINALOA

Los Cuadros 78, 79 y 80 presentan las dosis de fertilización aplicadas en las localidades de Enrique Meza, INIFAP CEVAF y Felipe Ibarra, Sinaloa, pertenecientes al *hub* Pacífico, en el año 2012. En las Figuras 54, 55 y 56 se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos en los sitios indicados para el año 2012, todos ellos en condiciones de riego.

Cuadro 78. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Enrique Meza, Sinaloa del *hub* Pacífico en 2012.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	B	Zn
1	350	100	100	40	6	5
2	0	100	100	40	6	5
3	350	0	100	40	6	5
4	350	100	0	40	6	5
5	350	100	100	0	6	5
6	350	100	100	40	0	5
7	350	100	100	40	6	0
8	0	0	0	0	0	0
9	230	0	0	0	0	0

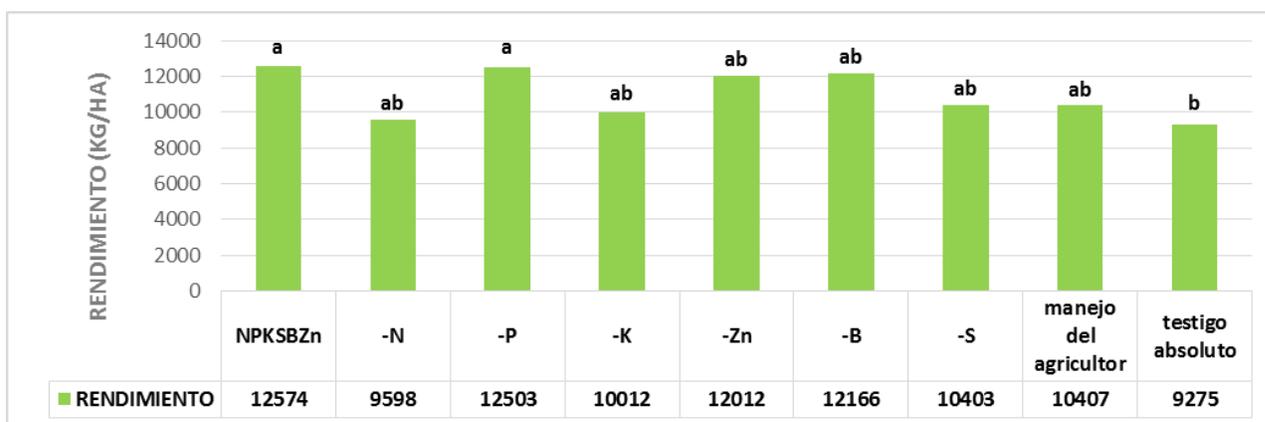


Figura 54. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Enrique Meza, Sinaloa del *hub* Pacífico en el 2012.

Para el sitio Enrique Meza (Figura 54) el mayor rendimiento se observó en el tratamiento completo (12 574 kg ha⁻¹), el cual resultó estadísticamente igual al tratamiento sin fósforo (12 503 kg ha⁻¹). Por otro lado, el menor rendimiento se obtuvo en el testigo absoluto (9 275 kg ha⁻¹) lo que representó una diferencia con respecto al tratamiento con el mayor rendimiento de aproximadamente 3.3 ton ha⁻¹. El sitio Enrique Meza no contó con el resultado del análisis de suelo, lo que limitó la comparación del efecto de los tratamientos en contraste con el contenido nutrimental del suelo.

Cuadro 79. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio INIFAP CEVAF, Sinaloa del *hub* Pacífico en 2012.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	B	Zn
1	350	100	100	40	6	5
2	0	100	100	40	6	5
3	350	0	100	40	6	5
4	350	100	0	40	6	5
5	350	100	100	0	6	5
6	350	100	100	40	0	5
7	350	100	100	40	6	0
8	0	0	0	0	0	0

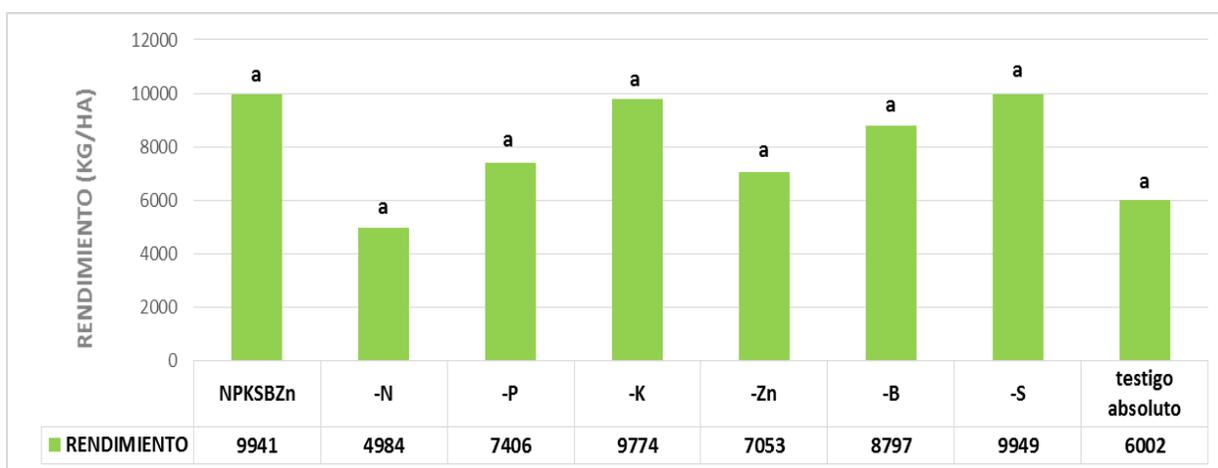


Figura 55. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio INIFAP CEVAF, Sinaloa del *hub* Pacífico en el 2012.

En la Figura 55 se presentan los rendimientos obtenidos en los tratamientos evaluados en el sitio INIFAP CEVAF, el análisis estadístico no identificó diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, biológicamente se tuvo una diferencia de prácticamente 5.0 ton ha⁻¹, dado que el mayor rendimiento obtenido en el tratamiento sin azufre fue de 9 949 kg ha⁻¹ y el menor rendimiento fue el del tratamiento sin nitrógeno con 4 984 kg ha⁻¹. Así mismo, se hace la aclaración que para este sitio no se contó con los resultados del análisis químico de suelo, lo que limitó la comparación del contenido de nutrientes del suelo y el efecto de los tratamientos evaluados.

Cuadro 80. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Felipe Ibarra, Sinaloa del *hub* Pacífico en 2012.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	B	Zn
1	350	100	100	40	6	5
2	0	100	100	40	6	5
3	350	0	100	40	6	5
4	350	100	0	40	6	5
5	350	100	100	0	6	5
6	350	100	100	40	0	5
7	350	100	100	40	6	0
8	0	0	0	0	0	0
9	284	0	0	0	0	0

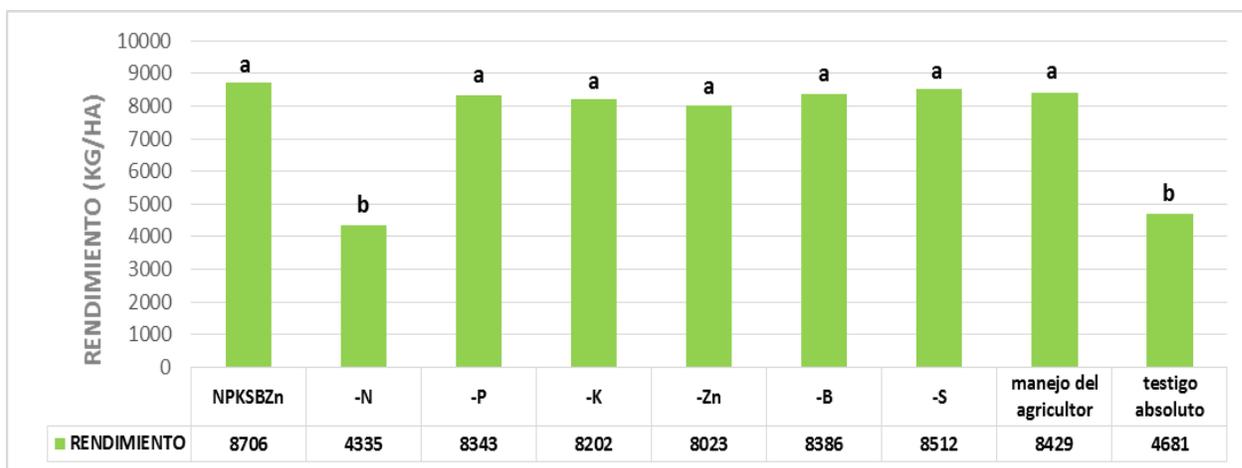


Figura 56. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Felipe Ibarra, Sinaloa del *hub* Pacífico en el 2012.

En el sitio Felipe Ibarra (Figura 56), el mayor rendimiento se observó en el tratamiento completo ($8\ 706\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$), el cual fue estadísticamente igual a los tratamientos sin P, K, Zn, B, S y el manejo del productor. Con respecto al menor rendimiento, éste se observó en el tratamiento sin nitrógeno ($4\ 335\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$), rendimiento estadísticamente igual al observado en el testigo absoluto. Se observa que en el sitio, existe una marcada deficiencia de nitrógeno toda vez que se compara el rendimiento del tratamiento sin nitrógeno y el máximo alcanzado, mostrando una reducción de poco más del 50%, o lo que es lo mismo, una diferencia de aproximadamente $4.4\ \text{ton}\ \text{ha}^{-1}$. Al igual que para los sitios de Enrique Meza e INIFAP CEVAF, el sitio de Felipe Ibarra no contó con análisis químico de suelo, por lo que no se abundó en la comparación del efecto de los tratamientos en contraste con el contenido nutrimental del suelo.

A continuación se muestra el Cuadro 81, el cual contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en un año de evaluación – tres experimentos en 2012- en el estado de Sinaloa.

Cuadro 81. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Sinaloa. MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr> F	R ²
Modelo	8	688183215	86022902	18.52	<.0001	0.5546
Error	119	552750205	4644960			
Total	127	1240933419				

Corregido

Lo que el Cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **55%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían dar un porcentaje mayor al modelo.

El Cuadro 82, reporta las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 82. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Sinaloa. MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor T	Pr > T
Repetición 1	-2360.12817	-3.08	0.0025
Repetición 2	-2641.01706	-3.45	0.0008
Repetición 3	-3412.35039	-4.46	<.0001
Régimen hídrico	0	.	.
Tipo de semilla	0	.	.
N	4.52488	3.17	0.0019
P	6.86592	6.86	<.0001
K	5.18693	1.05	0.2963
Zn	-94.32491	-0.95	0.3459
B	-28.92992	-0.35	0.7239

El Cuadro 82 indica que, tanto la repetición 3, así como la dosis de fertilización de fósforo, tuvieron un efecto sobre el rendimiento con una probabilidad de $F < 0.0001$, para el estado de Sinaloa en su conjunto, lo que hace suponer por un lado que, las repeticiones de los experimentos mostraron probablemente un alto grado de heterogeneidad en campo, lo que condujo a desviaciones estándar elevadas lo que ocasionó que las repeticiones fueran significativas en los experimentos. Respecto a las dosis de fósforo, en campo se observó que, los tratamientos sin fósforo generaron rendimientos considerados como intermedios a altos, lo que sugiere un estado de suficiencia en suelo capaz de generar dichos rendimientos.

Grupo 15: Sonora

En los Cuadros 83 al 86 se presentan las dosis de fertilización aplicadas a los sitios Bacame 1, Benito Juárez, Huatabampo y Bacame 2, del Sonora, pertenecientes al *hub* Pacífico, en 2012. En las Figuras 57 a la 60, se muestran los resultados de rendimiento de los experimentos en dicho año.

Cuadro 83. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Bacame 1, Sonora del *hub* Pacífico en 2012.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	S
1	0	0	0	0	0	0
2	250	52	40	5.375	25	1.2
3	0	52	40	5.375	25	1.2
4	250	0	40	5.375	25	1.2
5	250	52	0	5.375	25	1.2
6	250	52	40	0	25	1.2
7	250	52	40	5.375	0	1.2
8	250	52	40	5.375	25	0
9	180	52	0	0	0	0

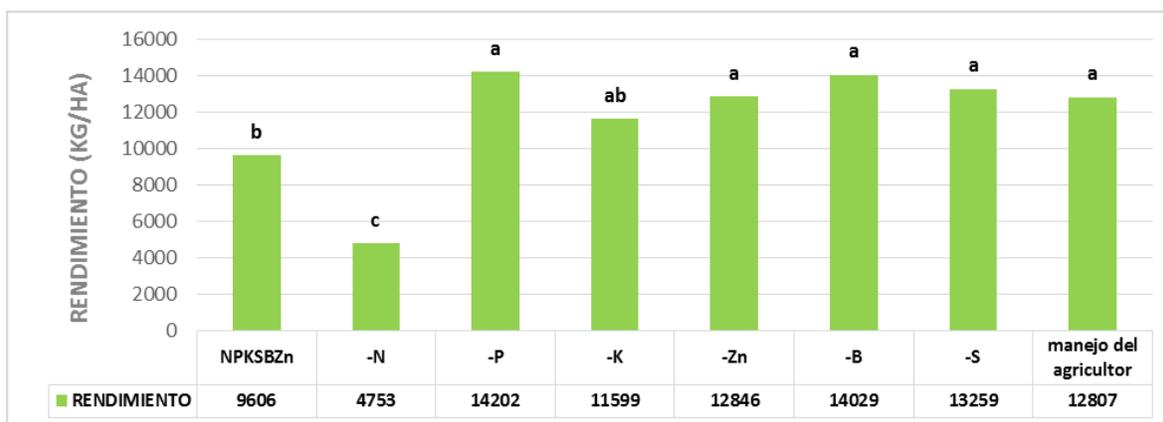


Figura 57. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Bacame 1, Sonora del *hub* Pacífico en el 2012.

En la Figura 57 se muestran los rendimientos así como el análisis estadístico de los tratamientos instalados en Bacame 1, en el año 2012. El mayor rendimiento se

observó en el tratamiento sin P (14 202 kg ha⁻¹), estadísticamente similar a los rendimientos de los tratamientos sin Zn, B y S. El menor rendimiento se observó en el tratamiento sin nitrógeno (4 753 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 9.4 ton ha⁻¹, lo que indica un déficit de nitrógeno en el suelo. En los resultados mostrados en la Figura 57 destacan los rendimientos entre el manejo del agricultor y el tratamiento completo, siendo este último inferior al primero, con un a diferencia de rendimiento de 3.2 ton ha⁻¹, lo que indicaría dosis de fertilización que probablemente no permitieron alcanzar el máximo potencial de producción en el sitio. El experimento no contó con análisis químico de suelos, lo que limita la discusión de los resultados, se sugiere que en futuras investigaciones se elaboren análisis de suelo que den mayor precisión a los resultados obtenidos en campo.

Cuadro 84. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Benito Juarez, Sonora del *hub* Pacífico en 2012.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	S
1	0	0	0	0	0	0
2	250	52	40	5.375	25	1.2
3	0	52	40	5.375	25	1.2
4	250	0	40	5.375	25	1.2
5	250	52	0	5.375	25	1.2
6	250	52	40	0	25	1.2
7	250	52	40	5.375	0	1.2
8	250	52	40	5.375	25	0
9	161	31.2	0	0	0	0

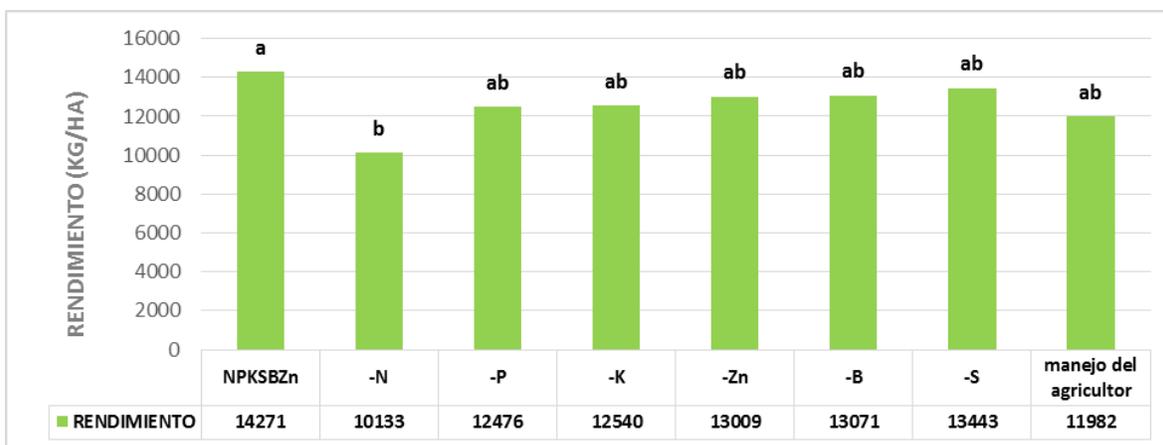


Figura 58. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Benito Juárez, Sonora del *hub* Pacífico en el 2012.

La Figura 58 muestra los rendimientos así como el análisis estadístico de los tratamientos instalados en el sitio Benito Juárez en el año 2012. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento completo ($14\,271\text{ kg ha}^{-1}$), estadísticamente similar a los rendimientos observados en los tratamientos sin P, K, Zn, B, S y manejo del agricultor. El menor rendimiento se observó en el tratamiento sin nitrógeno ($10\,133\text{ kg ha}^{-1}$), mostrando una diferencia de más de 4 ton ha^{-1} entre el mayor y el menor rendimiento. El alto grado de homogeneidad entre rendimientos sugiere condiciones de suficiencia de los elementos evaluados en el sitio experimental. Sin embargo, la evaluación de los resultados no puede ser más específica debido a la ausencia de análisis químicos del suelo. Se sugiere para futuras evaluaciones, incorporar el análisis del estado nutrimental del suelo.

Cuadro 85. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Huatabampo, Sonora del *hub* Pacífico en 2012.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	S
1	0	0	0	0	0	0
2	250	52	40	5.375	25	1.2
3	0	52	40	5.375	25	1.2
4	250	0	40	5.375	25	1.2
5	250	52	0	5.375	25	1.2
6	250	52	40	0	25	1.2
7	250	52	40	5.375	0	1.2
8	250	52	40	5.375	25	0
9	161	31.2	0	0	0	0

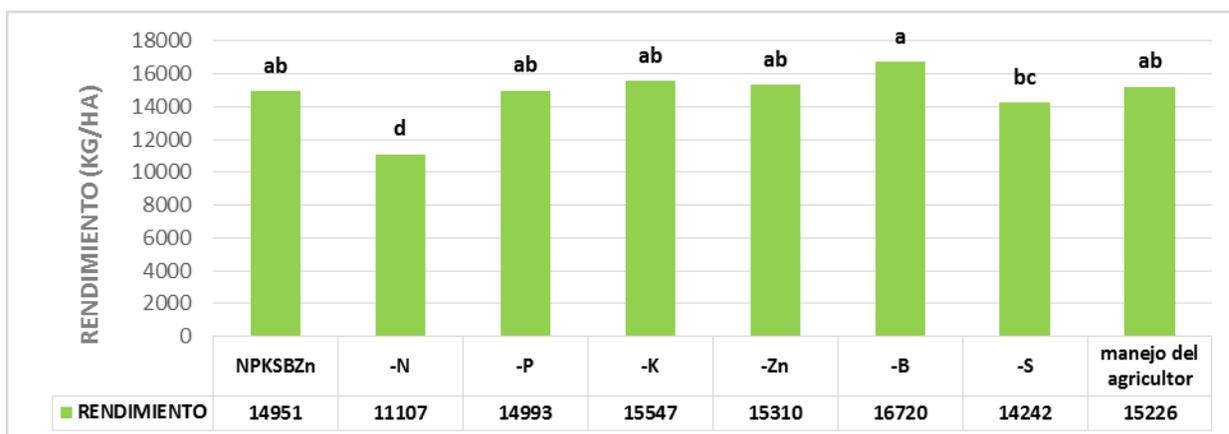


Figura 59. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Huatabampo, Sonora del *hub* Pacífico en el 2012.

En la Figura 59 se observan los rendimientos así como el análisis estadístico de los tratamientos instalados en el sitio Huatabampo en el año 2012. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento sin B ($16\,720\text{ kg ha}^{-1}$), estadísticamente similar a los rendimientos observados en los tratamientos sin P, K, Zn, manejo del agricultor y el testigo absoluto. El menor rendimiento se observó en el tratamiento sin nitrógeno ($11\,107\text{ kg ha}^{-1}$), indicando una diferencia de aproximadamente 5 ton ha^{-1} entre el mayor y el menor rendimiento.

La homogeneidad entre rendimientos sugiere un abasto de los nutrientes en el suelo, de modo tal que fue imposible señalar deficiencias de alguno de los nutrientes evaluados. La comprobación de lo obtenido en campo a partir del análisis químico de suelos, no es posible, toda vez que estos datos no fueron proporcionados a la autora de este informe. Se sugieren determinaciones nutrimentales en suelo para futuras evaluaciones y obtener mayor precisión de lo ocurrido en campo.

Cuadro 86. Dosis de fertilización aplicada a los experimentos conducidos en el sitio Bacame 2, Sonora del *hub* Pacífico en 2012.

Tratamientos	Dosis (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	B	S
1	0	0	0	0	0	0
2	250	52	40	5.375	25	1.2
3	0	52	40	5.375	25	1.2
4	250	0	40	5.375	25	1.2
5	250	52	0	5.375	25	1.2
6	250	52	40	0	25	1.2
7	250	52	40	5.375	0	1.2
8	250	52	40	5.375	25	0
9	180	52	0	0	0	0

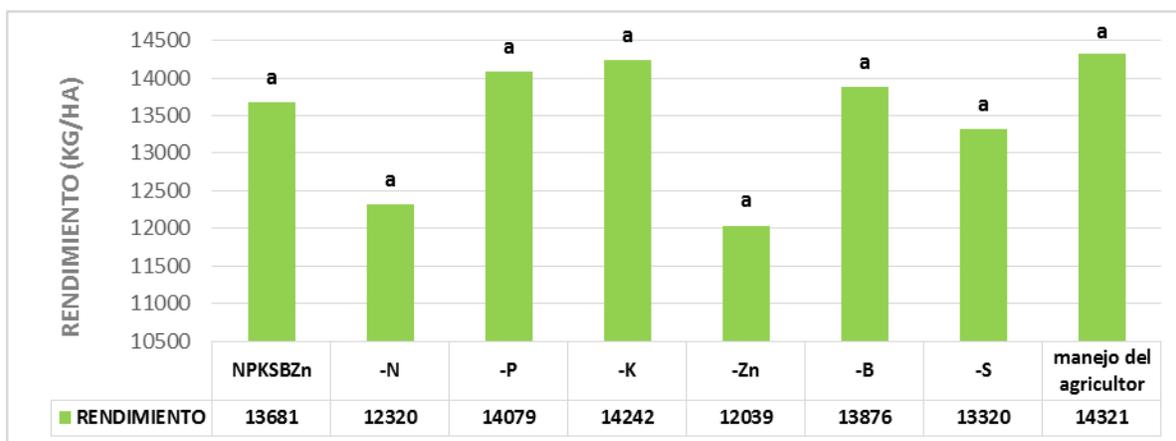


Figura 60. Rendimiento de maíz en los tratamientos de fertilización en el experimento conducido en el sitio Bacame 2, Sonora del *hub* Pacífico en el 2012.

La Figura 60 muestra los rendimientos y el análisis estadístico de los rendimientos obtenidos en Bacame 2, en el año 2012. En la comparación de medias entre tratamientos, no se registraron diferencias estadísticas significativas, sin embargo, biológicamente, el mayor rendimiento se observó en el manejo del productor (14 321 kg ha⁻¹) y el menor rendimiento en el tratamiento sin zinc (12 039 kg ha⁻¹). La diferencia entre el mayor y el menor rendimiento fue de 2.2 ton ha⁻¹, lo que indica que, en este sitio el elemento deficiente fue el zinc. También destaca el hecho de obtener el máximo rendimiento en el manejo del productor, lo cual supone, prácticas agrícolas apropiadas para el lugar, o bien dosis de fertilización que probablemente no fueron suficientes para demostrar el potencial de producción del sitio. En la literatura se indica que elementos como el zinc son capaces de producir disminuciones de rendimiento en situaciones de deficiencia y a su vez, relativamente fáciles de corregir por medio de fertilizaciones, logrando aumentos económicos de rendimientos (Melgar *et al.*, 2001).

A continuación se muestra el Cuadro 87 que contiene el análisis de varianza del promedio de los tratamientos de cada experimento instalado en un año de evaluación – cuatro experimentos en 2012 - en el estado de Sonora.

Cuadro 87. Análisis de varianza del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Sonora. MasAgro 2011-2013.

Fuente	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr> F	R ²
Modelo	10	442103093	44210309	10.01	<.0001	0.5078
Error	97	428445546	4416964			
Total	107	870548639				

Corregido

Lo que el cuadro indica es que, el modelo obtenido a partir de los datos evaluados, es significativo y es capaz de explicar en un **51%** la relación de las variables independientes respecto al rendimiento, lo cual nos indica que más allá del manejo

agronómico (considerado en el protocolo de instalación de parcelas de omisión), factores como clima y suelo (variables no consideradas en el protocolo) podrían dar un porcentaje mayor al modelo.

A continuación, se muestra el Cuadro 88, en el cual se indican las variables independientes que fueron sometidas a un análisis de regresión a fin de establecer su grado de significancia, respecto al rendimiento.

Cuadro 88. Análisis de regresión del promedio de los tratamientos de los experimentos de las parcelas de Omisión del estado de Sonora. MasAgro 2011-2013.

Variable	Parámetro	Valor T	Pr > T
Repetición 1	-814.80556	-1.64	0.1032
Repetición 2	-349.44444	-0.71	0.4822
Repetición 3	0	.	.
Régimen hídrico	0	.	.
Tipo de semilla	0	.	.
N	15.58921	7.07	<.0001
P	-6.78531	-0.66	0.5092
K	-3.50316	-0.26	0.7929
Zn	7.60437	0.08	0.9390
B	-43.28839	-2.03	0.0448
MO	-719.23109	-0.65	0.5146
N inorgánico del suelo	206.95327	5.66	<.0001
P suelo	-7.72430	-0.38	0.7045
pH	0	.	.
CE	0	.	.

Como se observa en el Cuadro 88, tanto la variable dosis de nitrógeno como el nitrógeno inorgánico del suelo, tuvieron un efecto sobre el rendimiento con una probabilidad de $F < 0.0001$, para el estado de Sonora en su conjunto, lo que supone deficiencias de nitrógeno en los sitios evaluados, así como dosis de fertilización que podrían ser sustituidas por otras que permitan obtener potenciales de producción probablemente mayores a los observados en esta investigación.

CONCLUSIONES

En el cuadro 89 se observa el resumen de los 15 grupos que se formaron para analizar los datos de los ensayos de omisión correspondiente a los años 2011, 2012 y 2013, se presentan los elementos que influyeron estadísticamente sobre el comportamiento del rendimiento para los diferentes *hubs*.

Se puede confirmar que el nitrógeno sigue siendo el nutriente con mayor importancia a nivel nacional ya que su ausencia repercute en un bajo rendimiento en todos los *hubs* evaluados debido a la alta movilidad de este nutriente en el suelo que se debe a su composición química y su ciclo biogeoquímico; los resultados confirman la importancia que el nitrógeno tiene a nivel mundial por su alta demanda en el cultivo de maíz y en una gran variedad de cultivos los cuales necesitan grandes cantidades de este nutriente para obtener un buen rendimiento. El fósforo, solo presentó influencia en los estados de Guanajuato, Chiapas, Tlaxcala y Sinaloa. Esto en cierta medida se debe a que la mayoría de los productores cada ciclo de producción aplican fósforo y una de las propiedades de este nutriente es la limitada movilidad y degradación que tiene en el suelo; el potasio influyó en el rendimiento en los estados de Jalisco, Quintana Roo y Tlaxcala, demostrando respuesta en el rendimiento a este nutriente. El hierro no influyó sobre el rendimiento en ninguno de los *hubs*, cabe señalar que solo se evaluó en los grupos 2, 3, 7, 12 y 15 debido a que solo se manifiesta su presencia como deficiencia, en estos Estados; en Querétaro la presencia de síntomas relacionados con Fe son muy marcados y localizados es por esto que se decidió trabajar en ensayos localizados para comprobar problemas de deficiencias de Fe; En los micronutrientes Zn y B se planteó la hipótesis, si estos nutrientes podrían ser importantes en limitar el rendimiento lo cual con los resultados obtenidos se demuestra que el Zn y B pueden incrementar o limitar el rendimiento cuando estos están ausentes para el caso de Zn los estados donde su ausencia influyó en el rendimiento fueron Hidalgo y Guanajuato; para el nutriente B los estados que presentaron rendimientos bajos causados a la omisión de este nutriente fueron Guanajuato, Quintana Roo y Sonora. En función de los resultados, se aprecia que el B es más importante que el Zn.

Cuadro 89. Clasificación de elementos por *hub* que influyeron en el rendimiento de Maíz en los ensayos de Omisión en los años 2011, 2012 y 2013.

Grupo	Hub	Estado	Elementos
1	BAJIO	JALISCO	Potasio
2	BAJIO	MICHOACAN	
3	BAJIO	GUANAJUATO	Fósforo, Zinc y Boro
4	TROPICO	CHIAPAS	Nitrógeno y Fósforo
5	TROPICO	GUERRERO	
6	TROPICO	OAXACA	Nitrógeno
7	TROPICO	QUINTANA ROO	Potasio y Boro
8	VALLES ALTOS	ESTADO DE MEXICO	Nitrógeno.
9	VALLES ALTOS	HIDALGO	Zinc.
10	VALLES ALTOS	PUEBLA	Nitrógeno
11	VALLES ALTOS	TLAXCALA	Potasio, Nitrógeno inorgánico del suelo y fósforo del suelo
12	INTERMEDIO	SAN LUIS POTOSI	Nitrógeno
13	PACIFICO	SINALOA	Nitrógeno y fósforo.
14	PACIFICO	SONORA	Nitrógeno, Boro y Nitrógeno inorgánico en el suelo.
15	BAJIO	QUERETARO	Nitrógeno

En el cuadro 33 se presentan las propiedades del suelo, donde se observa que aparte de los nutrientes, en el rendimiento influyen las propiedades del suelo como son el potencial de hidrogeno (pH), Materia Orgánica (MO) y conductividad Eléctrica (CE). El pH, tuvo un papel importante para estados como Chiapas, Oaxaca y Tlaxcala lo que indica problemas con suelos ácidos o alcalinos, los resultados obtenidos indican problema de suelos ácidos en los estados evaluados donde aparece la variable pH. La Materia orgánica influyo en el rendimiento ya que en la mayoría de los estados evaluados presento valores bajos a excepción de Quintana Roo y Chiapas.

RERERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Advisory Panel on Food Security Agriculture Forestry and Environment World Commission on Environment and Development. 1987. Food 2000: Global Policies for sustainable agricultura. Zed Books. London and New Jersey. Pp. 131.
- Alcántar, G.G. y Trejo-Téllez L. 2007. Nutrición de cultivos. Introducción. Edit. Mundi-Prensa.
- Cortés, F.I. y Turrent F.A. 2012. Una tecnología multiobjetivo para pequeñas unidades de producción. Políticas agropecuarias, forestales y pesqueras. Consejo Nacional de Universitarios.
- Financiera Nacional de Desarrollo (FND). 2014. Panorama del Maíz. Consultado en:
[http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Ma%C3%ADz%20\(may%202014\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Ma%C3%ADz%20(may%202014).pdf)
- GEO. 2004. Perspectivas del medio ambiente en México. Instituto Nacional de Ecología.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2012. 4R de la nutrición de plantas. Un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas.
- Jiménez, S.L. 2012. Modalidades de la agricultura y desarrollo sustentable con campesinos. Políticas agropecuarias, forestales y pesqueras. Consejo Nacional de Universitarios.
- Obrador, O.J. 1994. Validación de parámetros de planta y clima que se utilizan en un modelo simplificado destinado a determinar dosis de fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio para maíz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Rodríguez, S.J. 1987. Normas de fertilización para el cultivo de la cebada y el maíz en el estado de Tlaxcala, México. Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología. Informe técnico.

- Turrent, F.A., Laird, J.R., Cortés, F.J. y Volke, H.V. 2005. Un reencuentro con la productividad de agrosistemas: I. Fundamentos y herramientas. *Agrociencia*. 39:29-39.

USO DEL SENSOR REMOTO GREEN SEEKER PARA IDENTIFICAR DEFICIENCIAS DE NITRÓGENO EN MAÍZ EN PREDIOS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES.

MARIANA M. SÁNCHEZ ROLDÁN¹, ANDRÉS MARIA RAMÍREZ², CLAUDIA I. HIDALGO MORENO³, REMIGIO GUZMÁN PLAZOLA³, HERMILIO NAVARRO GARZA³ y JORGE D. ETCHEVERS BARRA³

¹Estudiante de doctorado en Edafología, Colegio de Postgraduados.

²Profesor de El Colegio de Tlaxcala

³Profesor del Colegio de Posgraduados. Edafología

³Profesor del Colegio de Postgraduados, Agroecología

³Profesor del Colegio de Postgraduados, Desarrollo Rural

³Profesor del Colegio de Posgraduados. Edafología

RESUMEN

El nitrógeno naturalmente disponible en los suelos cultivados, en general, no satisface la demanda nutrimental de las plantas. Ello hace necesario el uso de fertilizantes para satisfacer los requerimientos internos de los cultivos y para que se alcancen los rendimientos posibles según las características del agroecosistema. El nitrógeno es el nutrimento más deficitario en los suelos, debido a que no hay minerales que lo contengan y porque las reservas orgánicas en los agroecosistemas de México son bajas o se han perdido por erosión natural o mal manejo del suelo. Para determinar las necesidades nutrimentales de nitrógeno en el cultivo de maíz, se requiere entender claramente cómo funciona el ciclo de nitrógeno en el suelo. Una idea aproximada de la oferta de nitrógeno inorgánico del suelo, previo a la siembra, se puede obtener a partir de un análisis químico en muestras colectadas a profundidades mayores (hasta 90 a 150 cm) que la habitual (15-30 cm) debido a una mayor acumulación de nitratos en el subsuelo. Un inconveniente de esta técnica es que es cara y difícil de implementar en terrenos con geografía accidentada donde el muestreo no se puede mecanizar. Por esta razón se han buscado procedimientos alternativos como lo es medir la concentración de nitratos en las hojas durante el desarrollo temprano del cultivo. Uno de estos procedimientos el que emplea sensores remotos, como el SPAD, el cual determina de forma indirecta la concentración de nitrógeno en un cultivo mediante la medición de la clorofila y refiriéndola al estatus nutrimental de las plantas con desarrollo normal. También existen sensores que miden un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), como el Green Seeker®, cuya interpretación puede contribuir al diagnóstico oportuno de las condiciones nutrimentales (principalmente nitrógeno) de cultivos como el maíz. El uso de los sensores remotos supone un aumento de la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados aplicados, debido a que un diagnóstico oportuno puede contribuir a reducir el uso excesivo del insumo y así mitigar los efectos ambientales negativos por una aplicación excesiva. El presente documento evalúa la posibilidad de incorporar herramientas –como el sensor remoto Green Seeker®– pertenecientes a los nuevos desarrollos de la agricultura de precisión, a las condiciones imperantes en la agricultura de temporal, que practican productores poseedores de pequeños predios y con bajo nivel de apropiación tecnológica. Para finalmente comparar estos resultados con los obtenidos con una técnica tradicional ya empleada, como lo es el análisis químico de suelos.

PALABRAS CLAVE: Agricultura de precisión, Milpa, diagnóstico nutrimental.

ABSTRACT

Nitrogen naturally available in cultivated soils, in general, does not satisfy the nutrient demand of the plants. This makes it necessary to use fertilizers to satisfy the internal requirements of the crops and to reach the yields possible given the characteristics of the agroecosystem. Nitrogen is the most deficient nutrient in soils since there are no minerals that contain it and because the organic reserves in the agroecosystems in Mexico are low or have been lost to natural erosion or poor soil management. To determine the nutrient nitrogen needs of maize crops, we need to clearly understand how the nitrogen cycle functions in the soil. We can obtain an approximate idea of the available inorganic nitrogen in the soil before sowing by making a chemical analysis with samples collected at greater depths (60 to 150 cm) than usual (15 – 30 cm), because of a higher accumulation of nitrates in the sub-soil. One inconvenience of this technique is that it is expensive and hard to implement in terrains with rough geography, where sampling cannot be mechanized. Because of this, alternative methods, such as measuring the nitrate concentration in leaves during the early development of the crop, have been searched. One of these procedures makes use of remote sensors like the SPAD, which indirectly determines the nitrogen concentration in a crop by measuring chlorophyll and referencing it to the nutrimental state of plants with normal development. There are also sensors that measure a normalized difference vegetation index (NDVI) like the Green Seeker, whose interpretation can contribute to timely diagnosis of the nutrimental conditions (mainly nitrogen) of crops like maize. The use of remote sensors implies an increase in the effectiveness of the nitrogen fertilizers applied, given that a timely diagnosis can contribute to decrease the excessive use of this material and thus mitigate the negative environmental effects from excessive application. The present paper evaluates the possibility of incorporating tools, like the Green Seeker remote sensor, belonging to new developments in precision agriculture, to the prevailing conditions in rainfed agriculture, which is practiced by small farm owners and with low level of technological appropriation. Finally, these results are to be compared against those obtained with traditional agriculture, like chemical soil analysis

Key words. Precision agriculture, maize field, nutritional diagnosis.

INTRODUCCIÓN

Generalmente el nitrógeno disponible o que se mineraliza en el suelo no es suficiente para satisfacer la demanda que impone un cultivo durante la estación de crecimiento. Para asegurar los rendimientos máximos posibles del grano de maíz en un agroecosistema determinado se debe recurrir, entre otros factores manejables, a la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Cuando no se cuenta con análisis químicos debidamente correlacionados ni calibrados en campo, información que es escasa o inexistente en México, la fertilización de nitrógeno en maíz debería basarse en criterios más generales como: contenido de materia orgánica del suelo, historial de cultivos previos, registro histórico de rendimientos de grano, historial de fertilización que ha resultado efectiva, ePC., es decir, con base en información básica que en manos de un experto que domine el funcionamiento del sistema permita generar una recomendación aproximada. La variabilidad espacial del suelo hace difícil distribuir el fertilizante de manera homogénea en el terreno, lo que no se considera al formular una recomendación de fertilización, excepto en el caso de la agricultura de precisión. Esto es más grave en el caso de los pequeños agricultores que siembran bajas densidades y aplican el fertilizante a las “matas o golpes” de su siembra de maíz, en proporciones no muy definidas: puños, dos dedos, tres dedos, ePC. Como consecuencia hay incertidumbre de la cantidad de fertilizante aplicado por hectárea de terreno.

Por lo general se recurre a recomendar dosis generalizadas de fertilización para los sistemas de producción. Frecuentemente estas dosis de fertilización recomendadas corresponden a una media regional, es decir al promedio de las respuestas obtenidas a la aplicación de dosis crecientes de fertilizantes en ensayos de respuesta conducidos en parcelas de productores, lo cual hace que su precisión sea baja y no correspondan a las necesidades específicas del sitio cultivo. La variabilidad espacial del suelo atribuida al tipo de éste, pendiente, historial de

prácticas de manejo, factores climáticos, entre otros, genera diferentes potenciales de producción, lo cual debería implicar diferentes manejos dentro del agroecosistema, no obstante el manejo se ha basado en el promedio de las condiciones edáficas de toda la parcela.

El uso del análisis químico de suelos como método para establecer recomendaciones de fertilización, requiere de la selección de un procedimiento analítico adecuado y de una calibración de campo para establecer las clases de fertilidad, información que es escasa para la mayoría de las regiones del país. Por anterior frecuentemente se recurre a extrapolar información de otras partes del mundo, lo cual no asegura un nivel aceptable de confianza en las dosis de fertilización. No debe olvidarse también que el éxito de un análisis de suelo se basa en contar con una muestra de calidad. Para ello se necesita realizar un muestreo del suelo, proceso que incluso siendo riguroso, difícilmente podría establecer la variabilidad espacial de indicadores como: materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, los cuales se emplean en la determinación de características asociadas a la fertilidad del suelo, pero que no muestran la disponibilidad real o capacidad de entrega de ningún nutriente esencial a la planta. Siendo el muestreo una parte fundamental del análisis químico del suelo, se deberían evaluar procedimientos alternativos para la ejecución del proceso y obtener muestras más representativas de los sitios evaluados.

Para mejorar la calidad del muestreo, Han *et al.* (1994) propusieron la caracterización de una parcela en subdivisiones, cuyas características edáficas establecieran subgrupos de fertilización. Este fue el inicio de lo que hoy conocemos como agricultura de precisión, que se ha perfeccionado con la introducción de tecnologías modernas, como son los sensores remotos, los programas computacionales, ePC. La agricultura de precisión considera la evaluación y comprensión de la variabilidad espacial y temporal dentro de una parcela para tomar decisiones basadas en dicha variabilidad (Hedley, 2014).

La agricultura de precisión emerge como una disciplina en la década de los 80 y se ha focalizando principalmente a optimizar la nutrición de los cultivos, generando

recomendaciones sitio específicos (Hedley, 2014). A finales del siglo pasado adquirió relevancia entre productores con alto nivel adquisitivo quienes al poseer tecnología para optimizar su sistema de producción aplicaron dosis de fertilización definidas por las propiedades edáficas de la parcela.

La agricultura de precisión es una realidad debido a nuevas tecnologías, tales como: sistemas de posicionamiento geográfico, sensores remotos, sistemas de información geográfica y programas de cómputo que permiten precisión en la información, logrando la optimización en el uso de fertilizantes, irrigación, densidad de siembra, entre otros (Hedley, 2014).

La fertilización nitrogenada en la agricultura de precisión se define por el uso de sensores remotos, ya que se piensa que esta tecnología permite incrementar la eficiencia de dicha fertilización (Bragagnolo *et al.*, 2013). Dentro de este enfoque se considera que las propiedades del cultivo (reflectancia, por ejemplo) son más eficientes para determinar la fertilización nitrogenada que el análisis químico del suelo (Povh *et al.*, 2008).

El uso de sensores remotos permite evaluar el estatus nutrimental del cultivo de forma indirecta, no destructiva y no contaminante a diferencia del análisis químico de suelo y planta, por lo que representa una tecnología innovadora en la determinación de dosis de fertilización (Raun *et al.*, 2001, 2002, 2005; Argenta *et al.*, 2003; Berntsen *et al.*, 2006).

Los sensores remotos se basan en la radiación electromagnética, entiéndase como la energía que proviene del sol, de la cual, la luz visible forma la parte más conocida. La energía puede ser transferida de un punto a otro de tres maneras posibles: conducción, convección o radiación. Esta última es de especial interés en percepción remota. La energía radiada se comporta básicamente acorde con la teoría ondulatoria de la luz: es un continuo de ondas que se caracterizan por su tamaño, es decir longitud de onda (λ) que se mide en nanómetros (nm) y frecuencia (ν , que se mide en hertz, Hz), el número de ondas por unidad de tiempo. Ambas propiedades se encuentran relacionadas, la longitud de onda es la distancia entre

cresta y cresta de la onda y la frecuencia es el número de ciclos, mientras más pequeña es la longitud de onda más alta es la frecuencia.

La radiación electromagnética que llega a un objeto, puede ser reflejada, absorbida o transmitida. Si la proporción del flujo radiante que es reflejado, absorbido o transmitido es muy diferente para los distintos rasgos de la superficie terrestre, entonces es posible identificar objetos de acuerdo a sus propiedades espectrales. La cantidad de energía que refleja, transmite o absorbe cada objeto es diferente para cada longitud de onda. Este es el sustento teórico básico para la percepción remota.

Las radiaciones de longitudes de onda corta, absorbidas por las plantas son reguladas por la interacción molecular dentro del tejido vegetal, donde los electrones de las moléculas absorben longitudes de onda controladas por estructuras y enlaces químicos (Jones, 1997).

Las firmas espectrales de los cultivos obtenidas con los sensores remotos permiten tener información del estado fisiológico de las plantas en tiempo real asociando esta señal espectral con la concentración de nitrógeno, contenido de clorofila, área foliar y biomasa (Brizuela *et al.*, 2007). Las firmas espectrales obtenidas corresponden a la reflectancia generada por el contenido de clorofila de los cultivos en la región espectral comprendida entre el infrarrojo cercano ($\lambda = 700 - 1300$ nm) y el visible ($\lambda = 550 - 700$ nm) del espectro electromagnético (Kumar y Silva, 1973) (Verhulst y Govaerts, 2010).

La clorosis producto de una absorbancia decreciente de la luz visible por la clorofila y en consecuencia un incremento de la reflectancia del espectro visible, resultando visualmente en el amarillamiento de la planta. La eficiencia de la absorbancia por la clorofila decrece en la región del infrarrojo cercano (NIR) (de la Cruz-Durán *et al.*, 2009)

Sin embargo, la superficie de la planta y la estructura celular de las hojas son afectadas por factores ambientales como la humedad del suelo, estatus nutricional, salinidad del suelo, etapa de crecimiento del cultivo (Ma *et al.*, 2001), condiciones que generan variaciones en las firmas espectrales. El contraste entre vegetación y

suelo tiene su máximo en la región del rojo y del infrarrojo cercano, por tanto, la firma espectral tanto de la vegetación como del suelo en la región visible ($\lambda = 550-700$ nm) y en el infrarrojo cercano ($\lambda = 700 - 1300$ nm) puede ser utilizada para calcular una variedad de índices de vegetación que pueden ser correlacionados con parámetros agronómicos y biofísicos de las plantas como la actividad fotosintética y la productividad (Ma *et al.*, 2001; Adamsen *et al.*, 1999).

Uno de los índices más empleados es el índice vegetativo de diferencia normalizada (NDVI), el cual tiene una relación directa con los atributos del cultivo como biomasa y rendimiento de grano (Martin *et al.*, 2007). Este índice se desarrolló para dos bandas del espectro: el rojo y el infrarrojo cercano.

La reflectancia de la longitud de onda del espectro visible rojo es conocida como la correlación negativa con el área de hoja verde, mientras que la reflectancia del espectro del infrarrojo cercano es la correlación positiva con el área foliar (Martin *et al.*, 2007).

El índice está dado por:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Donde ρ_{NIR} es la fracción de radiación emitida por el espectro del infrarrojo cercano que regresa del área detectada (reflectancia) y ρ_{RED} es la fracción de radiación emitida del espectro visible rojo que regresa del área detectada (reflectancia) (Martin *et al.*, 2007).

Blackmer *et al.* (1994) sugirieron que la reflectancia puede ser utilizada para detectar deficiencias de nitrógeno en hojas de maíz en crecimiento. Experimentos realizados por Raun *et al.* (2001) mostraron que el uso de valores de NDVI colectados durante la estación de crecimiento de maíz puede ser usado para predecir el potencial de rendimiento del cultivo.

Un estudio que comparó recomendaciones de fertilización nitrogenada basadas en el uso del NDVI y mediciones de rendimientos en maíz mostró que, en el estado de crecimiento V8 y V9, las recomendaciones de fertilización basadas en el uso del índice, fueron más precisas que los modelos basados en el rendimiento (Clay *et al.* 2006).

Esto es significativo, debido a que, si el rendimiento del cultivo puede ser predicho con exactitud, la aplicación de fertilizante nitrogenado podría ser adaptada para cada sitio específico, ya que la demanda de nitrógeno por un cultivo está dada por la biomasa asociada a la producción máxima de un producto de interés económico (que puede ser la propia biomasa, grano, fruto, ePC.). Esto es, que la biomasa permite inferir en cualquier estado de desarrollo, si está debidamente calibrado el NDVI, el estatus de nitrógeno que guarda éste en la planta y si se conoce la producción máxima alcanzable (con cierta probabilidad asociada), se puede calcular la necesidad de nitrógeno del cultivo para alcanzar dicha producción.

Por tanto, el motivo de esta investigación fue evaluar el uso del sensor remoto Green Seeker para establecer las deficiencias de nitrógeno en parcelas de pequeños productores del estado de Tlaxcala y definir recomendaciones de fertilización sitio específico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el año 2013 en Huamantla, estado de Tlaxcala. Las coordenadas geográficas de la parcela de calibración ubicada en Huamantla son: 2158126 y 511856 en longitud y latitud, respectivamente.

El cultivo fue maíz criollo; el materia genético con el que se trabajó se identificó como cónico, de acuerdo al “Informe final de actividades 2008-2010. Biodiversidad y distribución actual de los maíces nativos en Tlaxcala” (María *et al.*, 2010). El sistema de producción de los productores cooperantes se identificó como milpa, es decir, usan su terreno para la siembra simultánea de maíz, frijol, frutales y

herbáceas (quelites y quintoniles). La densidad de maíz se estableció a 45 000 plantas/ha. El tamaño de las parcelas de los productores cooperantes no fue mayor a una hectárea.

El diseño experimental fue bloques completamente al azar. Las unidades experimentales fueron tres bloques integrados por siete tratamientos, cada uno conformado por cinco surcos con un área de 42.5 m² (8.5 x 5 x 10). En el siguiente cuadro se especifican los tratamientos así como las dosis.

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización en parcelas de calibración, con rendimiento estimado en 3 ton ha⁻¹ en Huamantla, 2013.

Rendimiento estimado 3 ton ha ⁻¹	Tratamientos (T)	Fertilizante requerido Kg/ha
Urea (46%)	1	220
	2	183
	3	146
	4	109
	5	72
	6	35
	7	0
**SFT (46%)	1	260
**KCl (52%)	1	230

*SFT:superfosfato triple, **KCl: Cloruro de potasio

Las dosis de fertilización se estimaron a partir de trabajos de investigación realizados en el estado de Tlaxcala (Etchevers *et al.*, 1991), los cuales indican las diferencias en potenciales de producción en el Estado, identificando a Huamantla con un potencial de producción de 3 ton ha⁻¹. El establecimiento de las dosis de fertilización para alcanzar los rendimientos máximos de producción se estimó a partir de la definición de la demanda nutrimental del cultivo de cada sitio menos el suministro nutrimental natural identificado como la fertilidad del suelo entre la eficiencia de la fertilización.

Previo a la instalación del experimento, se tomaron muestras de suelo a fin de comparar los resultados de la calibración del sensor remoto Green Seeker con la determinación nutrimental del sitio evaluado por medio del análisis químico del suelo y contrastar el establecimiento rendimientos probables a partir de dos técnicas diferentes.

La calibración del sensor remoto se realizó en función de la metodología definida por Ortiz -Monasterio *et al.* (2012) en el “Protocolo de calibración del sensor Green Seeker”. En el protocolo se indica el establecimiento de dosis decrecientes de nitrógeno, una de ellas considerada como rica en este elemento, la cual sirvió como base de comparación respecto a las lecturas de las firmas espectrales de las otras franjas. El protocolo indica que la fertilización debe ser fraccionada, con la primera aplicación hecha en el momento de la siembra, con el objetivo de que el cultivo muestre su potencial de rendimiento al momento del encañe. Las lecturas de las firmas espectrales inician en la etapa V3 y continúan hasta VT (ver Cuadro 2). Las lecturas se realizaron 80 cm arriba del cultivo. Posteriormente se grafican las lecturas respecto a los días del ciclo del cultivo y se establece una curva de los valores de NDVI. La gráfica servirá posteriormente para correlacionar los valores del índice de vegetación normalizado con los rendimientos estimados.

En la presente investigación, el NDVI, se obtuvo con el uso del sensor remoto Green Seeker®, en la etapa V7, V9, V11 y VT del cultivo de maíz. Las fechas de la captura de las firmas espectrales se realizaron los días 18 y 30 del mes de junio y 11 y 23 del mes julio del 2013 en las etapas fenológicas señaladas, respectivamente, para cada uno de los tratamientos de dosis de nitrógeno establecidos en campo.

Cuadro 2. Etapas fenológicas del cultivo de maíz.

Etapa de crecimiento del maíz	Descripción morfológica
VE	El coleoptilo emerge de la superficie del suelo
V1	Es visible el cuello de la primera hoja
V2	Es visible el cuello de la segunda hoja
V3	Es visible el cuello de la tercera hoja
Vn	Es visible el cuello de la hoja número “n” (n, generalmente fluctúa entre 16 y 22 hojas, pero para la floración se habrán perdido 4 a 5 hojas de la parte inferior)
VT	Es completamente visible la última rama de la panícula
R0	Antesis o floración masculina. El polen se empieza a arrojar
R1	Son visibles los estigmas

R2	Etapa de ampolla. Los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión
R3	Etapa lechosa. Los granos se llenan con un líquido lechoso blanco
R4	Etapa masosa. Los granos se llenan con una pasta blanca. El embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano
R5	Etapa dentada. La parte superior de los granos se llena con almidón sólido
R6	Madurez fisiológica. Una capa negra es visible en la base del grano. La humedad del grano está alrededor del 35%

Fuente: RiPChie S.W. y Hanway J.J. 1984. How a corn plant develops. Special Report No. 48, Cooperative Extension Service, Ames, Iowa

Las mediciones en campo se tomaron por tratamiento tres veces en cada bloque, de los resultados obtenidos, se sometieron al análisis de varianza así como la comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha= 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al protocolo de parcelas de calibración elaborado por el CIMMYT (Ortiz-Monasterio *et al.*, 2012), las lecturas deben iniciar en la etapa V3 después de la fertilización, al momento de la siembra. Sin embargo las prácticas de manejo en campo de los pequeños propietarios en el estado de Tlaxcala no contemplan la fertilización al momento de la siembra, ésta se realiza en la primera o en la segunda labor (ca. cuarenta días posteriores a la siembra), aproximadamente en la etapa V5, razón por la cual no se realizó medición en dicha fecha. El hecho de no aplicar parte del nitrógeno a la siembra obedece principalmente a dos factores, el primero es climático y se relaciona a la fecha de siembra respecto a la humedad residual en aquellos sitios que la presenten o bien, la fecha de siembra relacionada a la primeras lluvias del ciclo del cultivo de maíz, ambos casos se relacionan con el grado de hidrólisis del fertilizante nitrogenado y por tanto con su eficiencia y el segundo aspecto responde a un factor económico que restringe la adquisición de insumos (en este caso fertilizantes) antes del inicio del ciclo del cultivo. Los agricultores quieren estar seguros que en maíz se va establecer antes de invertir en la aplicación de fertilizante nitrogenado.

Esta situación alteró un tanto el protocolo establecido previamente, como lo indicamos en la sección correspondiente más adelante.

Análisis químico de suelos. En el Cuadro 3 se indican las concentraciones de los nutrimentos en el sitio evaluado.

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en muestras de suelo en parcela de calibración. Huamantla, Tlaxcala, 2012.

Determinación	Concentración
pH	5.7
CE dS m ⁻¹	0.33
MO %	2.1
N-NO ₃ ppm	13.2
P- Bray 1ppm	48.2
K ppm	108
Ca ppm	655
Mg ppm	81
Na ppm	12
Fe ppm	39
Zn ppm	0.76
Mn ppm	13
Cu ppm	0.56
B ppm	0.15
Al ppm	1.8
S ppm	49

El pH de los suelos se ubicó en 5.7 en el sitio evaluado, considerando como medianamente ácido. De acuerdo a Moreno (1978), esto indica que la disponibilidad de nutrientes importantes como nitrógeno, fósforo y potasio no debería verse afectada. La conductividad eléctrica fue 0.33 dS m⁻¹, valor que no representa problemas de salinidad del suelo.

El valor de materia orgánica fue de 2.1% y la concentración de N-NO₃ fue de 13.2 ppm. Teóricamente, el porcentaje de materia orgánica indicado, debería aportar 42 kg ha⁻¹ de nitrógeno a la solución del suelo, considerando 5% de nitrógeno en la materia orgánica y una tasa de mineralización del 2% (Vanotti y Bundy, 1994) y una hectárea de 2 millones de kilos. La suma de nitrógeno inorgánico más materia orgánica darían una disponibilidad de 68 kg ha⁻¹ de nitrógeno, sin embargo se

considera una eficiencia de nitrógeno disponible del 50%, por tanto, el cultivo solo dispuso de 34 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Se sabe que una tonelada de materia seca requiere de 10 kg de nitrógeno y que el índice de cosecha del maíz es aproximadamente de 0.45 en híbridos y 0.39 en maíces criollos. Esto indica que el suelo evaluado, en su condición natural, pudo abastecer una producción de 3 400 kg ha⁻¹ de materia seca o 1 700 kg ha⁻¹ de grano. Este valor es muy similar al estimado como probable para este sitio, antes de establecer el cultivo.

Green Seeker. Se obtuvieron firmas espectrales de cada tratamiento en las etapas V7, V9, V11, y VT de crecimiento del cultivo de maíz. A continuación se muestran los promedios de cada tratamiento, así como la desviación estándar que se obtuvo por las tres lecturas de cada bloque.

Cuadro 4. Firmas espectrales obtenidas con el sensor remoto Green Seeker en cultivo de maíz. Huamantla, 2013.

¹ Tratamiento	V7	V9	V11	VT
T1	0.58 ± 0.06	0.69 ± 0.07	0.77 ± 0.02	0.80 ± 0.02
T2	0.55 ± 0.06	0.66 ± 0.07	0.74 ± 0.02	0.78 ± 0.04
T3	0.53 ± 0.05	0.69 ± 0.05	0.76 ± 0.01	0.78 ± 0.01
T4	0.56 ± 0.01	0.67 ± 0.01	0.78 ± 0.01	0.79 ± 0.04
T5	0.60 ± 0.05	0.72 ± 0.04	0.77 ± 0.01	0.80 ± 0.01
T6	0.58 ± 0.04	0.67 ± 0.03	0.77 ± 0.01	0.78 ± 0.01
T7	0.57 ± 0.03	0.70 ± 0.03	0.75 ± 0.01	0.76 ± 0.02

*T: Evaluación de tratamientos con dosis decrecientes de urea y dosis constantes de SFT (260 kg/ha) y KCl (230 kg/ha). T1: 220kg/ha. T2: 183 kg/ha. T3: 146 kg/ha. T4: 109 kg/ha. T5: 72 kg/ha. T6: 35 kg/ha

Tal como se observa en el Cuadro 4, todos los tratamientos mostraron firmas espectrales crecientes respecto al desarrollo del cultivo. También se observa que, las lecturas iniciales a partir de V7 tienen un rango de NDVI entre 0.53 - 0.60, donde el tratamiento con el valor más alto se obtuvo en T5 y el menor valor en T3. En la etapa V9, el rango de valores de NDVI fue de 0.66 - 0.72, donde el menor valor se observó en T2 y el mayor valor en T5. En la etapa V11 el rango de valores de NDVI

fue 0.76 – 0.80, observando el menor valor en T6 y el máximo valor obtenido en T5 y T1.

A continuación se muestran las firmas espectrales obtenidas en cada tratamiento y su comparación en cada etapa de crecimiento del cultivo del maíz (Figura 1), se incluyó la diferencia mínima significativa de los tratamientos por cada etapa de crecimiento del cultivo.

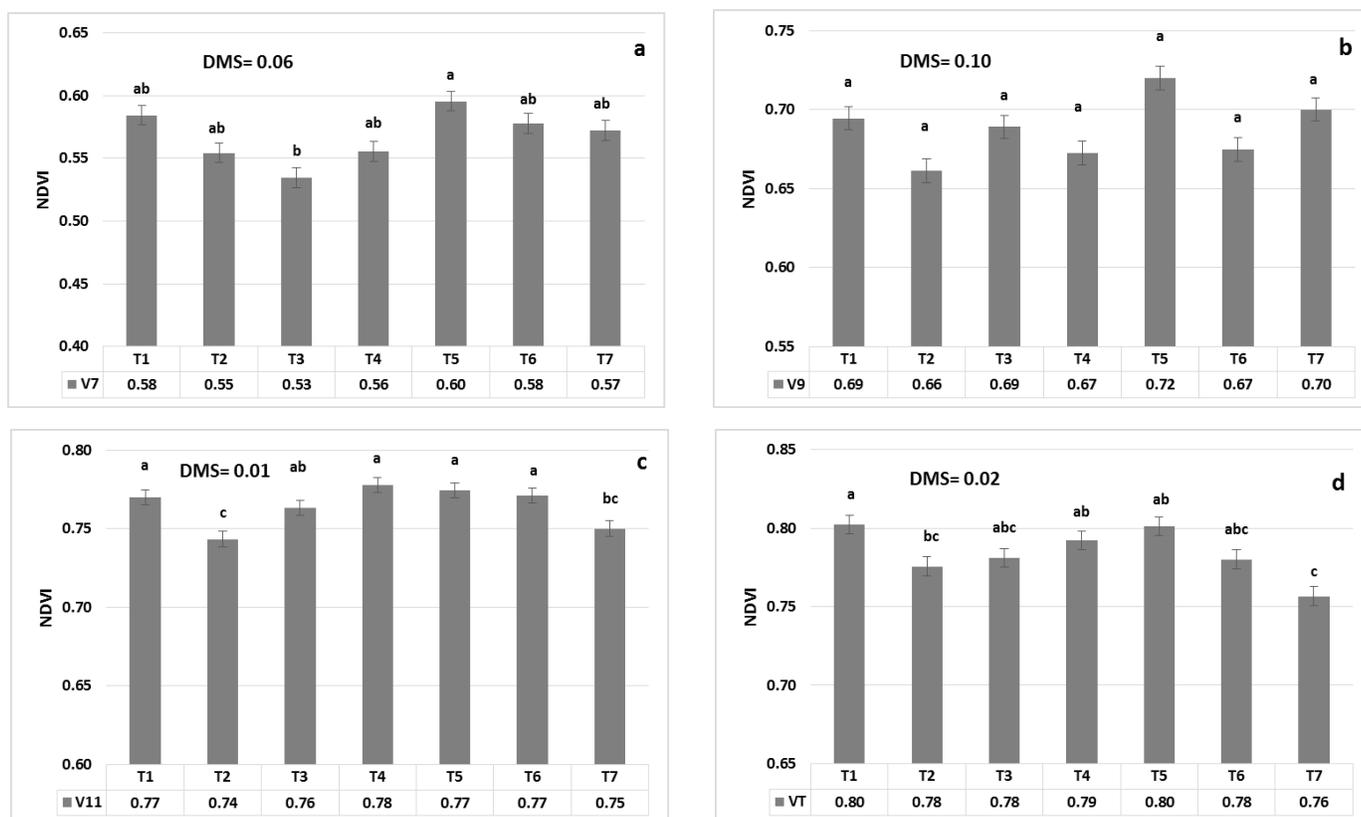


Figura 1. Firmas espectrales obtenidas por el sensor remoto Green Seeker en cultivo de maíz. (a) etapa de crecimiento V7, (b) etapa de crecimiento V9, (c) etapa de crecimiento V11 y (d) etapa de crecimiento VT. Huamantla, 2013.

*T: Evaluación de tratamientos con dosis decrecientes de urea y dosis constantes de SFT (260 kg/ha) y KCl (230 kg/ha). T1: 220kg/ha. T2: 183 kg/ha. T3: 146 kg/ha. T4: 109 kg/ha. T5: 72 kg/ha. T6: 35 kg/ha

Las firmas espectrales obtenidas en la etapa de crecimiento V7, mostraron diferencias estadísticas significativas sólo en los tratamientos T3 y T5, éste último

con la firma espectral más alta en la etapa de crecimiento indicada. Respecto al tratamiento T1 (mayor dosis de nitrógeno) y el testigo absoluto, no se reportaron diferencias estadísticas entre ellos. Las firmas espectrales observadas en esta etapa de crecimiento tuvieron un rango de NDVI de 0.53 – 0.60.

En la etapa de crecimiento V9, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los valores de NDVI en esta etapa presentaron un rango de 0.66 – 0.72, siendo el tratamiento T5 con el valor más alto y T2, con el menor valor de NDVI.

El cultivo de maíz en la etapa de crecimiento V11, mostró diferencias estadísticas entre tratamientos. El rango de NDVI en esta etapa fue de 0.74 (T2) y 0.78 (T4). Estadísticamente, los tratamientos T1, T4, T5 y T6 fueron semejantes, observando en ellos los valores de NDVI más altos.

En la etapa VT, se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El rango de valores de NDVI obtenidos en esta etapa fue de 0.76 (T7) a 0.80 (T1 y T5). El tratamiento T1 (tratamiento con la dosis más alta) y T7 (testigo absoluto) fueron estadísticamente diferentes.

La comparación de valores de NDVI entre etapas evaluadas (V7 a VT) indica un aumento gradual de los valores de éstos a medida que el cultivo crece. Sin embargo, es evidente que el aumento entre etapas no fue considerablemente elevado. Al respecto Verhulst et al. (2010) indicaron que los valores de NDVI en el ciclo del cultivo de maíz, se divide en tres periodos. El primero periodo se le identifica como PI, donde los valores de NDVI se incrementan gradualmente (indicando un ciclo de maíz de 136 días, donde el periodo PI abarca del día 16 al 66). El segundo periodo se identifica como PII, indicando que en esta etapa los valores de NDVI fueron relativamente estables (del día 69 al 94). El último periodo, PII, con valores decrecientes de NDVI (del día 100 al 136).

Por tanto, se considera que las lecturas hechas en la presente investigación, se elaboraron dentro del periodo PII. En dicha etapa la misma autora, indicó valores de NDVI en un rango de 0.75 a 0.85, rango con un límite inferior superior al reportado

en la presente investigación, pero que al final del periodo PII, el valor indicado por Verhulst *et al.* (2010) es ligeramente superior al valor máximo observado en la Figura 1.

Un aspecto a considerar en el uso del Green Seeker fue que éste no distingue entre el cultivo de interés y la presencia de herbáceas, por tanto su uso requiere de superficies libres de quelites y de acuerdo a lo observado, la parcela del pequeño productor presentó espacios dedicados a la obtención de productos vegetales alternativos al maíz, que son empleados en la alimentación humana, por lo que no son controlados químicamente. Se recomienda considerar esto último y hacer lecturas con el sensor remoto sin la presencia de herbáceas.

A continuación se muestran los rendimientos en biomasa obtenidos para cada tratamiento.

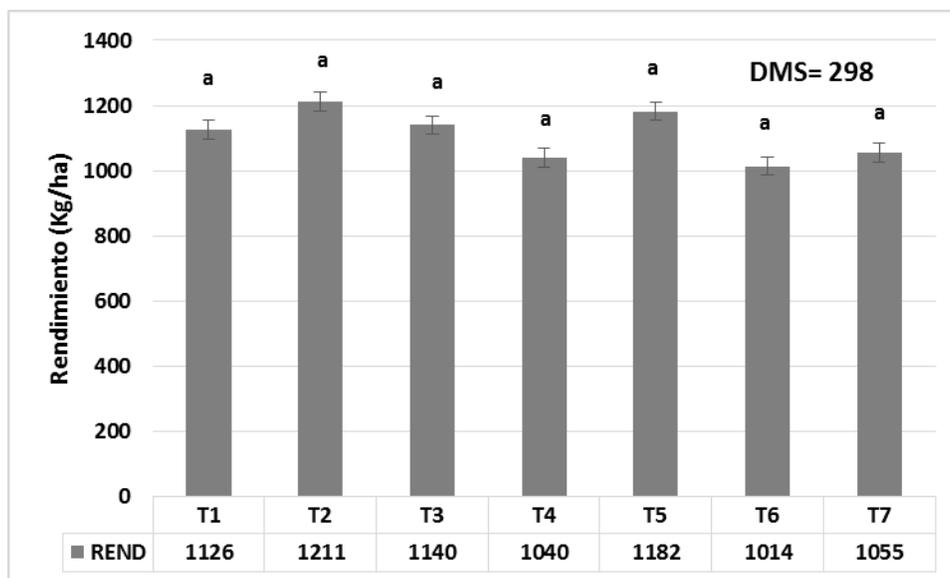


Figura 2. Rendimientos en grano al 14% de humedad en parcela de calibración del sensor remoto Green Seeker. Huamantla, 2013.

*T: Evaluación de tratamientos con dosis decrecientes de urea y dosis constantes de SFT (260 kg/ha) y KCl (230 kg/ha). T1: 220kg/ha. T2: 183 kg/ha. T3: 146 kg/ha. T4: 109 kg/ha. T5: 72 kg/ha. T6: 35 kg/ha

No se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos respecto al rendimiento de grano en la parcela de calibración ubicada en Huamantla en el ciclo primavera-verano 2013 (Figura 2). Biológicamente, el mayor rendimiento se

observó en el tratamiento T2 (1 211 kg/ha) y el menor rendimiento en el tratamiento T6 (1 014 kg/ha). La ausencia de diferencias estadísticas entre tratamientos probablemente se deba a un alto grado de heterogeneidad en el suelo, lo que ocasionó desviaciones altas entre repeticiones, impidiendo definir diferencias entre tratamientos.

Diversos autores documentan la existencia de una relación lineal entre el rendimiento en grano de maíz y las lecturas de NDVI en etapas fenológicas de V7 a V9. Se evaluó la posibilidad de registrar dicha relación, por tanto se analizaron las lecturas de NDVI en las etapas de V7 a VT. Se observó que, la relación lineal existía siempre y cuando se excluyeran tratamientos con altas dosis de fertilización nitrogenada, por tanto, se trabajaron con los tratamientos T5 (72 kg/ha), T6 (35 kg/ha) y T7 (testigo absoluto), por ser los tratamientos que mostraron un coeficiente de correlación elevado respecto a las lecturas de NDVI y rendimiento en grano de maíz . A continuación se presentan las Figuras 3 y 4 con la relación lineal entre los tratamientos de fertilización (T5 a T7) y las lecturas de NDVI (Figura 3) y la relación lineal entre las lecturas de NDVI y el rendimiento en grano de maíz en los tratamientos evaluados (Figura 4).

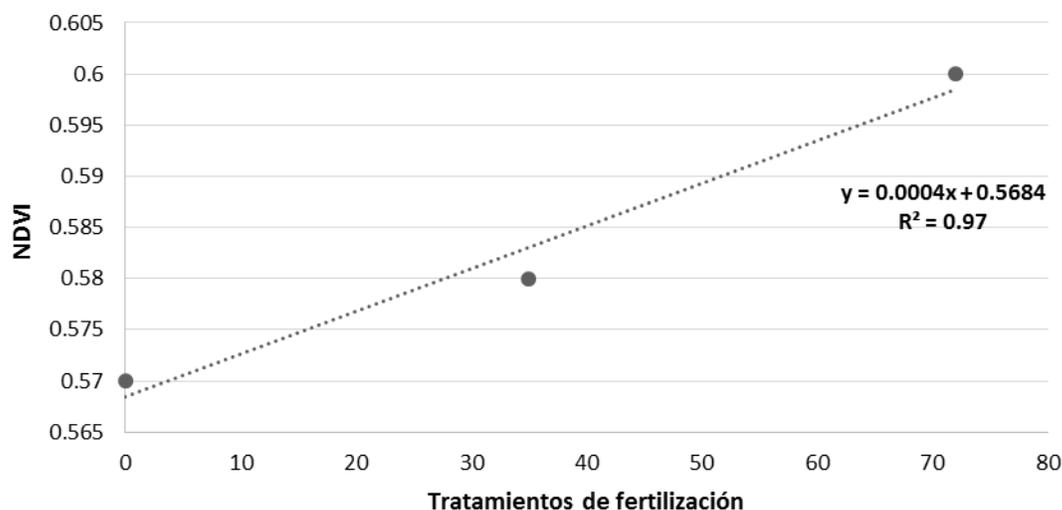


Figura 3. Relación lineal entre el rendimiento de maíz en grano en la etapa fenológica V7 y los tratamientos de fertilización T5, T6 y T7. Huamantla 2013.

La Figura 3 indica un alto coeficiente de correlación (0.97) entre los tratamientos de fertilización (T5, T6 y T7) y las lecturas de NDVI en la etapa fenológica V7. Shaver *et al.* (2011) indicó un coeficiente de correlación de 0.82 en la etapa fenológica V8, en V10 un coeficiente de correlación de 0.80, en V12 un coeficiente de 0.87 y en V14 un coeficiente de correlación de 0.89. Es importante destacar que en la presente investigación, sólo en la etapa V7 se pudo establecer una relación entre las dosis de fertilización y las lecturas de NDVI, en el resto de las etapas fenológicas evaluadas (V9, V11 y VT), no se observó ninguna línea de tendencia.

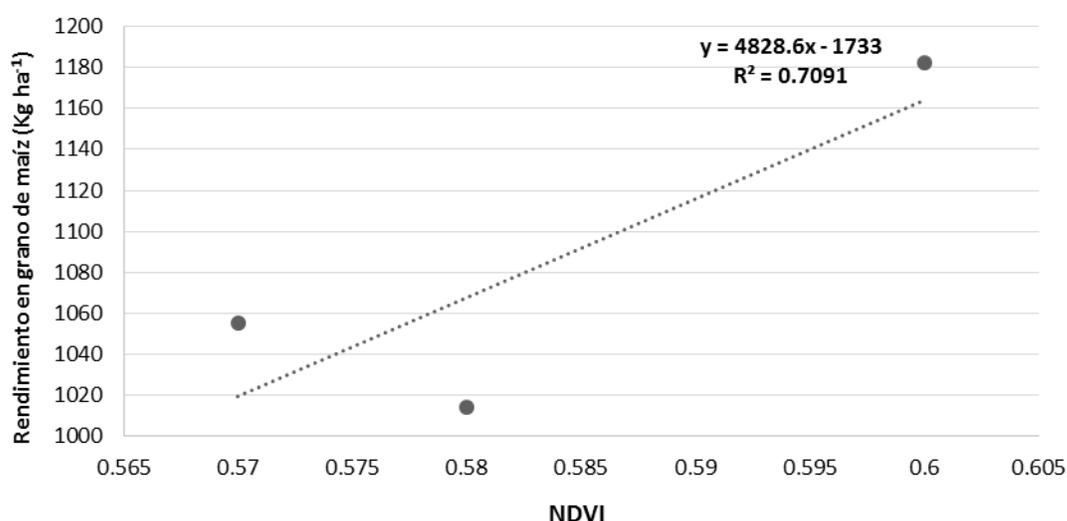


Figura 4. Relación lineal entre el valor de NDVI en la etapa fenológica V7 y los rendimientos de los tratamientos de fertilización T5, T6 y T7. Huamantla 2013.

La Figura 4 indica un coeficiente de correlación de 0.70 entre las lecturas de NDVI y el rendimiento de grano de maíz. Martin *et al.* (2007) encontraron que los valores de NDVI incrementan con la etapa fenológica del cultivo del maíz. Los mismos autores identificaron la mayor relación lineal con el rendimiento en grano en la etapa V7-V9 del cultivo de maíz. Valores considerables de coeficiente de determinación (r^2) fueron observados entre las lecturas de NDVI y el rendimiento en grano en maíz en las etapas fenológicas de V5 a V9. Estos estudios también revelaron que los valores de NDVI aumentan hasta la etapa fenológica V10, posterior a dicha etapa sigue la etapa VT, donde las lecturas de NDVI tienden a disminuir. Teal *et al.* (2006)

establecieron una relación lineal entre valores de NDVI y rendimiento en grano de maíz entre las etapas fenológicas V7 a V9. Para Shaver *et al.* (2011), los coeficiente de correlación más altos se observaron en las etapas fenológicas V12 a V14 (0.87 y 0.89, respectivamente). Para KiPChen (2006) y Raun *et al.* (2005), las etapas óptimas para realizar las lecturas de NDVI son V6 a V10 basados en el tiempo relacionado en la expresión de la variabilidad de nitrógeno en el cultivo de maíz.

CONCLUSIONES

El objetivo de la investigación fue la comparación de dos técnicas (Green Seeker y análisis químico de suelos) en condiciones de temporal, en pequeños predios y con bajo nivel de apropiación tecnológica en el estado de Tlaxcala. A continuación las observaciones de cada técnica empleada.

Análisis químico de suelos. Los rendimientos obtenidos en la parcela de calibración, concuerdan con lo determinado a partir del análisis químico de suelos previo a la instalación del experimento, por tanto, a pesar de cuestionar la técnica del muestreo y la representatividad de la variabilidad espacial en la parcela así como el tiempo empleado en la determinación de concentraciones nutrimentales, el presente trabajo de investigación valida su uso a fin de establecer la fertilidad del suelo y con ello definir recomendaciones de fertilización.

Green Seeker. El uso del sensor remoto, en las condiciones indicadas previamente mostraron que, el sensor es capaz de correlacionar valores de NDVI y rendimiento en grano de maíz con un coeficiente de correlación de 0.70, en la etapa fenológica V7, siendo ésta la única etapa en la cual se pudo establecer una relación entre ambas variable. De acuerdo a la literatura, ésta etapa se le considera como temprana dentro del ciclo del cultivo de maíz y por tanto, la corrección de deficiencias de nitrógeno en el cultivo, es viable.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Adamsen, F.J., P.J. Pinter, E.M. Barnes, R.L. Lamorte, G.W. Wall, S.W. Leavitt, B.A. Kimball. 1999. Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Science*. 39: 719-724.
- Argenta, G., Silva, P.R.F., Fosthofer, E.L., Strieder, M.L., Suhre, E. y Teichmann, L.L. 2003. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*. 27:109-119.
- Berntsen, J.; Thomsen, A.; Schelde, K.; Hansen, O.M.; Knudsen, K.; Broge, N., Hougaard, H. y Hørfarter, R. 2006. Algorithms for sensor-based redistribution of nitrogen fertilizer in winter wheat. *Precision Agriculture*. 7:65-83.
- Blackmer T. M., Schepers J. S. y Varvel G. E. 1994. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. *Agronomy Journal*. 93.6: 934–938.
- Bragagnolo, J., Carneiro, A.T., Da Silveira, N.R., Jasper, J. y De Gregorio, T.T. 2013. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*. 37:1288-1298.
- Brito, V.J. y Corado, C.E. 2009. Desarrollo de un instrumento de diagnóstico visual para la optimización del uso de nitrógeno en maíz (*Zea mays*) : principios basados en el medidor de clorofila SPAD y la intensidad de verde.
- Brizuela, A. P., Alcántar, G.G., Sánchez, G.P., Pea, K.Y., Crumbaugh, J., Olive, C., Tijerina, C.I. y Maldonado, T.R. 2007. Establecimiento de índices espectrales en el diagnóstico nutrimental de nitrógeno en maíz. *Agrociencia*. 41:827-835.
- Cahn, M.D., J.W. Hummel, and B.H. Brouer. 1994. Spatial analysis of soil fertility for site specific crop management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*58:1240-1248.
- Carter, G. A., y B. A. Spiering. 2002. Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *Journal of Environmental Quality*. 31: 1424-1432.
- Clay, D.E., Kim K.I., Chang J., Clay S.A., and Dalsted K. 2006. Characterizing water and nitrogen stress in corn using remote sensing. *Agronomy Journal*. 98:579–587.
- Crain J., Ortíz- Monasterio, I. y Raun B. 2012. Evaluation of a reduced cost active NDVI sensor for crop nutrient management. *Journal of Sensors*. 1-10.
- Etchevers B.J., Rodríguez J y Galvis A. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. *Terra* 9:3-10.
- Han, S., J.W. Hummel, C.E. Goering, and M.D. Cahn. 1994. Cell size selection for site specific crop management. *Trans. ASAE* 37: 19-26.

- Hedley, C. 2014. The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms. *Journal of the Science Food and Agriculture*. 95: 12-19.
- Jones, M. Jr. 1997. *Organic chemistry*. W. W. Norton and Company. New York, NY, USA
- Jørgensen, J.R. y Jørgensen, R.N. 2007. Uniformity of wheat yield and quality using sensor assisted application of nitrogen. *Precision Agriculture*. 8:63-73.
- KiPChen, N. (2006). Variable-rate nitrogen fertilizer application in corn using in-field sensing of leaves or canopy. *Agronomy technical note MO-35*. Columbia, MO: USDA.
- Ma, B.L., L.M. Dwyer, C. Costa, E.R. Cober, M.J. Morrison. 2001. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. *Agronomy Journal*. 93: 1227-1234.
- Madakadze, I. C., y Madakadze R. M. 1999. Field evaluation of the chlorophyll meter to predict yield and nitrogen concentration of swiPChgrass. *Journal Plant Nutrition*. 22: 1001-1010.
- Martin, K. L., Girma, K., Freeman, K. W., Teal, R. K., Tubana, B., Arnall, D. B., et al. (2007). Expression of variability in corn as influenced by growth stage using optical sensor measurements. *Agronomy Journal*, 99, 384–389.
- Martin, K.L., Girma, K., Freeman K.W., Teal R.K., Tubaná B., Arnall D.B., Chung B., Walsh O., Solie J.B., Stone M.L. y Raun W.R. 2007. Expression of variability in corn as influenced by growth stage using optical sensor measurements. *Agronomy Journal*. 99:384-389.
- Portz, G., Molin, J.P. y Jasper, J. 2012. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. *Precision Agriculture*. 13:33-44.
- Povh, F.P., Molin, J.P., Gimenez, L.M., Pauletti, V., Molin, R. y Salvi, J.S. 2008. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. *Pequisa Agropecuaria Brasileira*. 43:1075-1083.
- Raun W. R., Solie J. B., Johnson G. V. 2001. Season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. *Agronomy Journal*. 93. 1:131–138.
- Raun, W.R., Solie, J.B., Johnson, G.V., Stone, M.L., Mullen, R.W., Freeman, K.W., Thomason, W. y Lukila, E. 2002. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agronomy Journal*. 98: 815-820.
- Raun, W.R., Solie, J.B., Stone, M.L.; Martin, K.L., Freeman, K.W., Mullen, R.W.; Zhang, H., Shepers, J.S. y Johnson, G.V. 2005. Optical sensor-based algorithmic for crop nitrogen fertilization. *Communications in soil Science and Plant Analysis*. 36:2759-2781.

- RiPChie, L. G. 2003. Use of Ground- Based Canopy Reflectance to Determine Ground Cover, Nitrogen and water Status and Final Yield in Wheat. Utah State University Press. pp: 31-71.
- Teal, R. K., Tubana, B., Girma, K., Freeman, K. W., Arnall, D. B., Walsh, O., et al. (2006). In-season prediction of corn grain yield potential using normalized difference vegetation index. *Agronomy Journal*, 98, 1488–1494.
- Vanotti, M.B. y Bundy, L.G. 1994. Corn nitrogen recommendations based on yield response data. *J. Prod.Agric.* Vol. 7 (2).
- Vansichen. R. and J. De Baerdanaeker. 1993. A measurement technique for yield mapping of com silage. *Agric. Eng. Res.* 55: 1-10.
- Verhulst, N., Govaerts, B. 2010. The normalized difference vegetation index (NDVI) GreenSeeker™ handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies. Mexico, D.F.; CIMMYT.
- Wollenhaupt, N.C., R.P. Wolkowski, and M.K. Clayton. 1994. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *J. Rod. Agric.* 7441 -448.

