

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA Y EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES DE  
MAÍZ NATIVO EN DIFERENTES FERTILIZACIONES**

TESIS QUE PRESENTA:

Vianey Elizabeth Tomas Morales

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN  
AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR:

Dr. Aarón Martínez Gutiérrez

CODIRECTOR:

Dr. Antonio Turrent Fernández





Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA Y EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES EN**

**MAÍZ NATIVO EN DIFERENTES FERTILIZACIONES**

TESIS QUE PRESENTA:

Vianey Elizabeth Tomas Morales

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN**

**AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR:

Dr. Aarón Martínez Gutiérrez

CODIRECTOR:

Dr. Antonio Turrent Fernández



---

Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca.  
Agosto de 2024.

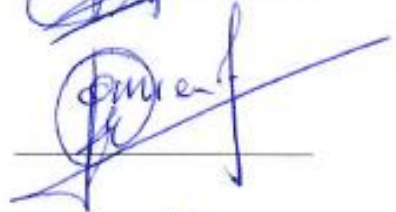
La presente tesis titulada: "ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA Y EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES DE MAÍZ NATIVO EN DIFERENTES FERTILIZACIONES", fue realizada bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR:  
DR. AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ



CODIRECTOR:  
DR. ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ




ASESOR:  
DR. YURI VILLEGAS APARICIO




ASESOR:  
DR. VICENTE ARTURO VELASCO VELASCO



ASESOR:  
DR. GERARDO RODRÍGUEZ ORTIZ



	Nombre de la Información Documentada:	Código: ITVO-AC-PR-08-02
	Formato Autorización del comité para entrega de tesis.	Revisión: 1
	Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2	Página 1 de 1

EXPEDIENTE: 20DITC009G  
 No. DE OFICIO: DEPI/0717/2024  
 Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca: 27/Junio/2024  
 ASUNTO: Autorización del comité para entrega de Tesis.

**C. VIANEY ELIZABETH TOMAS MORALES**  
**ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**  
**EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**  
**PRESENTE**

Los que suscriben, miembros de su Comité Tutorial, le comunicamos que hemos revisado el contenido de su tesis "Acumulación de materia seca y extracción de nutrientes de maíz nativo en diferentes fertilizaciones". Por lo que con base en los lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México se le otorga la **AUTORIZACIÓN** para que proceda a la entrega del documento final de la misma en formato digital (PDF) para continuar con su trámite y asignarle la fecha de su examen de grado.

Sin más por el momento nos permitimos reconocer su esfuerzo y felicitarle por el logro de su documento de tesis.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica®  
 Ciencia y Tecnología para el Cambio*

  
**AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ**  
**DIRECTOR DE TESIS**

  
**ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ**  
**CO-DIRECTOR**


  
**YURI VILLEGAS APARICIO**  
**ASESOR**

  
**VICENTE ARTURO VELASCO**  
**VELASCO**  
**ASESOR**

  
**GERARDO RODRÍGUEZ ORTIZ**  
**ASESOR**

  
**YURI VILLEGAS APARICIO**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS**  
**DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

Cp. Comité Tutorial.  
 Expediente,  
 YVA/mgh

	<b>Nombre de la Información Documentada:</b> <b>Formato Autorización de DEPI para entrega de Tesis.</b>	<b>Código:</b> ITVO-AC-PR-08-03
	<b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2</b>	<b>Revisión:</b> 1
		<b>Página</b> 1 de 1

**EXPEDIENTE:** 20DIT0009G  
**No. DE OFICIO:** DEPI/0867/2024  
**Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca:** 15/Agosto/2024  
**ASUNTO:** Autorización de entrega de Tesis.



**C. VIANEY ELIZABETH TOMAS MORALES**  
**ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**  
**EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**  
**P R E S E N T E**

Con base en los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, respecto a la presentación del examen de grado, me es muy grato comunicarle que esta División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo, **AUTORIZA** la entrega del documento final de su tesis en formato digital (PDF) titulada: **"Acumulación de materia seca y extracción de nutrientes de maíz nativo en diferentes fertilizaciones"**.

Cuyo contenido ha sido revisado y aprobado por su Comité Tutorial y cumple en lo general con el formato establecido para este documento, como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas.

Sin más por el momento le felicito cordialmente por el logro de esta meta y le reitero el respaldo institucional de su Alma Mater.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica®.*  
*Ciencia y Tecnología para el Campo*  
  
**DR. YURI VILLEGAS APARICIO**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**E INVESTIGACIÓN**

 **EDUCACIÓN** |   
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA  
 DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
 POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.p. Expediente.  
 Alumno interesado.  
 YVA/mgjh

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), a través del número de becario 1240348, con el tema de investigación: “Acumulación de materia seca y extracción de nutrientes en maíz nativo en diferentes fertilizaciones.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	<b>iii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>viii</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>7</b>
1.1.1 Objetivo general .....	7
1.1.2 Objetivos específicos.....	7
<b>CAPITULO II MARCO TEORICO</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 Maíz en México</b> .....	<b>8</b>
2.1.1 Oaxaca y el maíz.....	9
2.1.2 Maíz Olotón .....	11
<b>2.2 Características del maíz</b> .....	<b>12</b>
2.2.1 Etapas fenológicas del maíz.....	12
2.2.2 Factores edafoclimáticos.....	13
<b>2.3 Nutrición química y orgánica del maíz</b> .....	<b>14</b>
<b>2.4 Relación materia seca, índice de cosecha y extracción de nutrientes en tejido vegetal</b> .....	<b>17</b>
<b>CAPITULO III EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN COMBINADA EN LA EXTRACCIÓN DE MACRO NUTRIENTES EN MAÍZ OLOTÓN</b> .....	<b>21</b>



<b>Resumen.....</b>	<b>22</b>
<b>Abstrac.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Introducción .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Materiales y métodos.....</b>	<b>28</b>
3.2.1 Sitio experimental.....	28
3.2.2 Establecimiento del experimento en campo .....	29
3.2.3 Tratamientos y diseño experimental.....	29
3.2.4 Variables de trabajo en campo .....	31
3.2.5 Trabajo de laboratorio y variables .....	31
3.2.6 Análisis estadístico .....	32
<b>3.3 Resultados y discusión .....</b>	<b>33</b>
3.3.1 Producción de materia seca e índice de cosecha en grano .....	33
3.3.2 Extracción de macro nutrientes .....	37
<b>3.4 Conclusiones .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5 Literatura consultada.....</b>	<b>44</b>
<b>CAPITULO IV EXTRACCIÓN DE MACRO Y MICRO NUTRIENTES EN DOS VARIETADES DE MAÍZ OLOTÓN BAJO DIFERENTES MANEJOS DE FERTILIZACIÓN .....</b>	<b>55</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>57</b>
<b>Abstrac.....</b>	<b>58</b>
<b>4.1 Introducción .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2 Materiales y métodos.....</b>	<b>61</b>
4.2.1 Área de estudio .....	61
4.2.2 Manejo del experimento en campo.....	63
4.2.3 Tratamientos y diseño experimental.....	63
4.2.4 Variables de campo.....	65
4.2.5 Variables de laboratorio.....	66
4.2.6 Análisis estadístico.....	67
<b>4.3 Resultados y discusión .....</b>	<b>68</b>
4.3.1 Materia seca e índice de cosecha .....	68
4.3.2 Extracción de macro y micro nutrientes.....	69
<b>4.4 Conclusiones .....</b>	<b>78</b>
<b>4.5 Literatura consultada.....</b>	<b>78</b>
<b>CAPITULO V. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>87</b>
<b>CAPITULO VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>CAPITULO VII. BIBLIOGRAFIA GENERAL .....</b>	<b>89</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
3.1	Características químicas de suelo en parcela experimental, a profundidad de 0-20 cm, antes de las actividades de fertilización y siembra, ciclo agrícola primavera-invierno, 2022.....	28
3.2	Tratamientos establecidos en parcela según el arreglo factorial y sus respectivos niveles, incluyendo tratamientos adicionales y sus respectivas dosis ( $t\ ha^{-1}$ y $kg\ ha^{-1}$ ) .....	30
3.3	Resumen de análisis de varianza para materia seca (gramos por planta) acumulada en los órganos de la planta.....	33
3.4	Medias para materia seca en gramos por planta e índice de cosecha al final del ciclo agrícola P-I 2022, en función a la aplicación de enmiendas y fertilización química.....	34
3.5	Análisis de varianza a partir de contrastes ortogonales, para variables índice de cosecha y materia seca en maíz Olotón, bajo tratamientos adicionales de fertilización combinada.....	36

3.6	Extracción de macronutrientes en órganos de la planta (hoja, tallo, grano) de maíz Olotón, cosecha al final del ciclo agrícola P-I 2022, en función a la aplicación de enmiendas y fertilización química. Medias por parcela....	38
3.6	Extracción total de macronutrientes en maíz Olotón, cosecha al final del ciclo agrícola P-I 2022, en función a la aplicación de enmiendas y fertilización química. Medias por parcela.....	39
4.1	Características químicas de suelo en parcela experimental, a profundidad de 0-20 cm, antes de las actividades de fertilización y siembra. Ciclo agrícola P-I, 2022.....	62
4.2	Tratamientos establecidos en parcela según el arreglo factorial y sus respectivos niveles, incluyendo tratamientos adicionales y sus respectivas dosis ( $t\ ha^{-1}$ y $kg\ ha^{-1}$ ) .....	64
4.3	Medias de variables materia seca e índice de cosecha en dos variedades de color del maíz Olotón, bajo la aplicación de fertilización combinada.....	69
4.4	Medias de extracción de macronutrientes en órganos de la planta (hoja, tallo, grano) de maíz Olotón, cosecha al final del ciclo agrícola P-I 2022, en función a la aplicación de enmiendas y fertilización química. ....	71
4.5	Medias de extracción de micronutrientes en órganos de la planta (hoja, tallo, grano) de maíz Olotón, cosecha al final del ciclo agrícola P-I 2022, en función a la aplicación de enmiendas y fertilización química.....	72
4.6	Medias de extracción de macronutrientes (parte aérea + grano) en dos variedades de color del maíz Olotón, bajo la aplicación de fertilización combinada.....	74
4.7	Medias de extracción de micronutrientes (parte aérea + grano) en dos variedades de color del maíz Olotón, bajo la aplicación de fertilización combinada. ....	76

4.8	Análisis de varianza a partir de contrastes ortogonales, para extracción total de macronutrientes en maíz Olotón, bajo tratamientos adicionales de fertilización combinada.....	76
4.9	Análisis de varianza a partir de contrastes ortogonales, para variables de extracción total de micronutrientes en maíz Olotón, bajo tratamientos adicionales de fertilización combinada.....	77

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
3.1	Extracción total de macronutrientes en cultivo de maíz Olotón, bajo los 16 tratamientos de la estructura factorial básica de fertilización combinada.....	41
3.2	Extracción de macronutrientes en cultivo de maíz oloton, bajo la fertilización combinada de 4 tratamientos adicionales.....	42
4.1	Ubicación geográfica de parcela experimental dentro de la comunidad de Totontepec, Oaxaca. Fuente: Elaboración propia, programa ArcGIS.....	61
4.2	Datos de precipitación (mm), temperatura máxima y temperatura mínima, mensualmente en la comunidad de Totontepec Mixe en el año 2022 (NASA POWER Project Team, 2024) .....	62
4.3	Trabajo de laboratorio, extracción de nutrientes en dos poblaciones de maíz Olotón, en la comunidad de Totontepec, Oaxaca. a) Digestión de tejido vegetal, b) Determinación de nitrógeno a través de a través del método Kjeldahl (destilación y titulación manual) .....	66

## RESUMEN

En México, el cultivo más representativo es el maíz (*Zea mays* L.), este cereal es la base fundamental de la alimentación nacional, debido a su importancia económica, social y cultural. La extracción de nutrientes permite conocer los requerimientos nutricionales de la planta a partir de la acumulación total de nutrientes en los órganos de la misma. El objetivo de la investigación fue conocer la respuesta a diferentes fertilizaciones, sobre la acumulación de materia seca, índice de cosecha y extracción de nutrientes en cultivo de maíz Olotón. Se desarrollaron dos trabajos de manera simultánea en diferentes ambientes en Totontepec, Oaxaca. En el primer experimento se calculó la extracción de macronutrientes en los diferentes órganos de la planta. Para el segundo se calculó la extracción total de diez nutrientes, utilizando un diseño en parcelas divididas en arreglo factorial, y adicionalmente cuatro tratamientos con diferentes proporciones de NPK. Se determinaron las siguientes variables: índice de cosecha, producción de materia seca, concentración y extracción de nutrientes. A través de pruebas de normalidad usando Kolmogórov-Smirnov, análisis de varianza y comparación de medias Duncan ( $P \leq 0.05$ ) en el paquete estadístico SAS, versión 9.4. Se evaluaron los tratamientos, mostrando diferencia significativa en las medias de acumulación de materia seca y extracción de nutrientes. Los resultados indicaron mayor extracción de macro y micro elementos en el tallo de la planta, Nitrógeno fue el elemento con mayor presencia en los diferentes órganos de la planta para ambas variedades de maíz. La extracción de macro y micro elementos fue mayor en semilla de maíz blanco, destacando nitrógeno  $124.31 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $38.61 \text{ kg ha}^{-1}$ , Ca  $66.79 \text{ kg ha}^{-1}$ , Na  $87.44 \text{ g ha}^{-1}$ , B  $95.28 \text{ g ha}^{-1}$  y Mn  $229.68 \text{ g ha}^{-1}$ , mientras que Zn y Cu fueron los de menor extracción.

**Palabras clave:** Extracción de nutrientes, Maíz Olotón, Macronutrientes, Tratamiento adicional.

## SUMMARY

In Mexico, the most representative crop is corn (*Zea mays* L.), this cereal is the fundamental basis of the national diet, due to its economic, social and cultural importance. The extraction of nutrients allows to know the nutritional requirements of the plant from the total accumulation of nutrients in its organs. The objective of the research was to know the response to different fertilizations, on the accumulation of dry matter, harvest index and extraction of nutrients in Olotón corn cultivation. Two works were developed simultaneously in different environments in Totontepec, Oaxaca. In the first experiment, the extraction of macronutrients in the different organs of the plant was calculated. For the second, the total extraction of ten nutrients was calculated, using a design in divided plots in a factorial arrangement, and additionally four treatments with different proportions of NPK. The following variables were determined: harvest index, dry matter production, concentration and extraction of nutrients. Through normality tests using Kolmogorov-Smirnov, analysis of variance and comparison of means Duncan ( $P \leq 0.05$ ) in the statistical package SAS, version 9.4. The treatments were evaluated, showing significant difference in the means of dry matter accumulation and nutrient extraction. The results indicated greater extraction of macro and micro elements in the stem of the plant. Nitrogen was the element with the highest presence in the different organs of the plant for both varieties of corn. The extraction of macro and micro elements was higher in white corn seed, highlighting nitrogen  $124.31 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $38.61 \text{ kg ha}^{-1}$ , Ca  $66.79 \text{ kg ha}^{-1}$ , Na  $87.44 \text{ g ha}^{-1}$ , B  $95.28 \text{ g ha}^{-1}$  and Mn  $229.68 \text{ g ha}^{-1}$ , while Zn and Cu were the lowest extracted.

**Index words:** Nutrient extraction, Olotón Corn, Macronutrients, Additional treatment.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos básicos más demandados por el mercado internacional, debido a sus múltiples usos. Su producción se destina principalmente para alimentación humana y animal, además de ser materia prima en diversos procesos industriales (ASERCA, 2018). Desde la época prehispánica es el cultivo que más representa a México, formando las bases fundamentales de procesos culturales y culinarios (SADER, 2020).

En 2023 la producción para México fue aproximadamente 22.5 millones de toneladas de grano de maíz. Integrando los estados de Sinaloa, Baja California y Sonora el registro más alto de rendimiento ( $11.5 \text{ t ha}^{-1}$ ) en comparación del resto de la república mexicana (SIAP, 2023).

Para atender la demanda de consumo nacional (40 millones de toneladas) se importaron 18.2 millones de toneladas (SIAP, 2023). En los últimos años México



ha sido el país que más ha importado el grano de maíz a nivel mundial. Sin embargo, México cuenta con los recursos para lograr la autosuficiencia alimentaria, debido a las tierras de labor, profesionales de campo y principalmente una gran diversidad de variedades nativas adaptadas en diferentes condiciones ambientales (Eyhérbide, 2010).

Los maíces nativos, se han mejorado de manera autóctona gracias al trabajo inmensurable de los productores que han creado y heredado sistemas complejos y dinámicos de agricultura, los cuales han ayudado a la subsistencia y evolución natural del germoplasma nativo (Sánchez, 2014). Su adaptabilidad y estabilidad de producción asociado a las prácticas agrícolas ancestrales ha generado una gran diversidad genética de variedades nativas (Rendón-Aguilar et al., 2015).

De acuerdo con la CONABIO (2022) México cuenta con 64 razas de maíces nativos registrados, de las cuales 35 se encuentran en el territorio Oaxaqueño en diferentes condiciones edafoclimáticas (Aragón-Cuevas, 2006). Oaxaca es uno de los estados que cuenta con ambientes contrastantes diferentes en las zonas rurales donde la producción de maíz contribuye a mantener esta variabilidad genética para la consolidación de soberanía alimentaria ante el cambio climático global. Por lo que es pertinente realizar trabajos de investigación en variedades nativas, promover su conservación y aprovechamiento.

Caso particular del maíz nativo raza Olotón que tiene el Carácter Fijación Biológica de Nitrógeno (CFBN), el cual es de interés científico a nivel mundial

(CONABIO, 2020). El CFBN tiene al menos tres componentes principales para poder llevarse a cabo. El primero es el entorno morfológico y la fuente de energía que otorga la planta. El microbiota es la segunda quien realiza el proceso (mucilago en raíces adventicias) y el tercero que son las características edafoclimáticas del entorno (Turrent-Fernández y Espinosa-Calderón, 2022). Esta característica particular tiene enormes implicaciones agronómicas y ambientales que puede ser clave para la soberanía alimentaria.

No obstante, es inminente la pérdida de la biodiversidad genética causados por problemas meteorológicos y sociales (migración de jóvenes, pérdida de costumbres y tradiciones) (SEMARNAT, 2016). Además de la falta de asistencia técnica y manejo agronómico adecuado que se expresa en promedios bajos de rendimiento en grano de maíces nativos. En Oaxaca el promedio estatal oscila en  $2.69 \text{ t ha}^{-1}$  (SIAP, 2024). Particularmente en Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca, el rendimiento promedio reportado es de  $1.12 \text{ t ha}^{-1}$  (SIAP, 2024).

Los ciclos agrícolas son en condiciones de temporal, utilizando métodos antiguos de siembra (cajete) con baja densidad de población debido a sus características morfológicas (plantas que alcanzan hasta seis metros de altura) y en terrenos agrícolas con pendientes muy pronunciadas, aunado a problemas de plagas y acame por fuertes vientos (INEGI, 2010). Una de las actividades más comunes dentro del manejo agronómico en el cultivo de maíz, es la aplicación de fertilizantes sintéticos, los cuales proveen nutrientes necesarios para las plantas (IFA, 2002). No obstante, aún falta definir con exactitud el manejo agronómico y

la cantidad de nutrientes que la planta requiere con la curva de absorción en sus diferentes etapas fenológicas. (Torres-Moya et al., 2016).

En las etapas fenológicas iniciales (V1 - V2) la absorción de nutrientes depende de las reservas de la semilla y a partir de esta etapa la extracción de nutrientes aumenta en función a la disponibilidad de nutrientes en el suelo y las variedades utilizadas. Existen evidencias científicas que demuestran que los nutrientes con mayor demanda en el cultivo de maíz es el N (nitrógeno), P (fósforo) y K (potasio) (Ávila-Miramontes et al., 2014; Bender et al., 2013).

Para el cultivo de maíz se recomienda una aplicación en cualquier fuente de fertilizante en términos porcentuales de la siguiente forma: N: 82% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 70%, K<sub>2</sub>O: 92% (Ciampitti, Boxler y García, 2015). Aunque los micronutrientes sean requeridos por las plantas en pequeñas cantidades (B 20, Cl 444, Cu 13 Fe 125, Mg 189, Mo 1, Zn 53 gramos por tonelada producida), son fundamentales en los procesos metabólicos y fisiológicos, por lo que se deben aplicar fertilizantes con micronutrientes en función a la demanda de este cultivo (Ávila-Miramontes et al., 2014). La eficiencia agronómica de fertilización al suelo contribuye al crecimiento y desarrollo en el cultivo de maíz, el rendimiento final está asociado con la capacidad de acumulación de biomasa y nutrientes en el grano (Martínez-Gutiérrez et al., 2022).

Existen estudios que demuestran el incremento de rendimiento de grano con la aplicación de enmiendas agrícolas en combinación con fertilización química. En el trabajo realizado por Álvarez-Solís et al. (2010) en maíz Olotón en el estado

de Chiapas, observó efectos positivos en el rendimiento de grano ( $2.8 \text{ t ha}^{-1}$ ), con fertilización química reducida (72-36-00), en combinación con la incorporación de estiércol, enmiendas o rastrojo, en relación con la fertilización inorgánica completa (120-60-00), con rendimiento de  $1.7 \text{ t ha}^{-1}$  (Álvarez-Solís et al., 2010). Además, observaron aumento del 20% en la biomasa microbiana en el suelo (Álvarez-Solís et al., 2010). La cantidad de materia seca acumulada en las plantas depende en gran medida de las variedades de maíz, etapa fenológica y la fertilización del cultivo (Ruíz et al., 2006), además de las dosis crecientes de los fertilizantes de mayor demanda, principalmente de nitrógeno que contribuye de manera diferencial en el rendimiento de materia seca (Cerdas, 2018).

El término extracción de nutrientes en tejido vegetal, hace referencia a la cantidad total de nutrientes en los diferentes órganos cosechados de la planta, esta práctica es muy utilizada para realizar recomendaciones de fertilización, en este caso la fertilización va orientada a la reposición de lo extraído por órganos cosechados que no se reincorporan al suelo (Ciampitti y García, 2008).

La relación que existe entre la materia seca y la extracción de nutrientes es importante para determinar la respuesta del manejo agronómico durante el ciclo de cultivo, en las etapas fenológicas o en etapa final de cosecha (Ciampitti y García, 2008). Sin embargo, existe poca información acerca de la influencia del CFBN en la acumulación de materia seca, índice de cosecha en grano, y la extracción de nutrientes en los diferentes órganos de la planta de maíz Olotón y

su relación con las respuestas de variables agronómicas en la aplicación de enmiendas agrícolas y fertilización química combinada en maíz nativo.

Por lo tanto, es necesario comprender la extracción de nutrientes en los diferentes órganos de la planta de maíz Olotón, bajo la aplicación de enmiendas agrícolas y fertilización combinada, ayudando a generar información para adoptar alternativas de fertilización (química- Orgánica) que mejoren las variables de rendimiento y permita el uso y conservación de esta semilla nativa. En este contexto los objetivos del trabajo de investigación fueron:

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo general

Evaluar la acumulación de materia seca y extracción de nutrientes en maíz nativo raza Olotón en diferentes manejos de fertilización.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Evaluar la extracción de materia seca y macronutrientes en los órganos de maíz Olotón en la aplicación de la fertilización combinada.

Evaluar la extracción de macro y micro nutrientes en dos variedades de maíz Olotón con aplicación de enmiendas agrícolas y fertilización química.

## **CAPITULO II MARCO TEORICO**

### **2.1 Maíz en México**

El maíz es una de las especies de interés alimenticio más antiguas que se conocen en México, se le considera descendiente directo del Teocintle, una planta silvestre que se desarrolló en la parte central del país (ASERCA, 2018). Reliquias de mazorcas antiguas fueron encontradas en una cueva en el estado de Oaxaca, y datan de hace 6250 años (Turrent y Serratos, 2004). Existen cuatro estados de la república mexicana (Oaxaca, Chiapas, Morelos y Guerrero) que se consideran los pioneros en domesticar el germoplasma de esta planta, realizando actividades agrícolas que permitieron conservar y reproducir esta semilla en diferentes condiciones edafoclimáticas (Massieu-Trigo y Lechuga-Montenegro, 2002)

En la actualidad, la mayoría de los productores campesinos continúan desarrollando prácticas ancestrales, las cuales han permitido que exista una gran diversidad de variedades nativas. En México se encuentran presentes a lo largo y ancho del territorio nacional, razas nativas de maíz, las cuales se dividen en siete complejos raciales (grupos), donde se involucra la historia evolutiva de distribución geográfica y climática. Expresándose en características únicas en sus caracteres morfológicos y agronómicas tanto de la parte aérea como del grano de maíz (CONABIO, 2021).

Las agrupaciones de razas nativas de maíz actualmente están conformadas por maíces cónicos, Sierra de Chihuahua, Ocho hileras, Tropicales precoces, dentados tropicales, chapañote y de maduración tardía (CONABIO, 2023). El maíz Olotón, Dzit-Bacal, Comiteco, Coscomatepec, Mixeño, Motozinteco, Negro de Chimaltenango, Olotillo, Quicheño, Serrano, Serrano mixe y Tehua, pertenecen al grupo de maduración tardía, los cuales se cultivan en amplios rangos de altitud, con sensibilidad al fotoperiodo y temperatura. La floración va de los 95 a 115 días posterior a la germinación, presentando de 24 a 28 hojas por planta, con alturas de 320 a 400 cm (CONABIO, 2023).

### 2.1.1 Oaxaca y el maíz

A nivel nacional Oaxaca se encuentra en el grupo de estados con más bajos rendimientos, incluido Quintana Roo, Nuevo León, Chiapas y Coahuila (SIAP, 2024). Para el año 2023 Oaxaca conto con una superficie sembrada de maíz de aproximadamente 5.1 millones de hectáreas y un rendimiento promedio de 1.5 t



ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2023). A través de los años las prácticas culturales que realizan los agricultores para la conservación de semillas se han interrelacionado con la interacción de factores edafoclimáticos y polinización libre.

Lo cual ha resultado en mezclas de expresiones fenotípicas teniendo así una gran variación genética (Massieu-Trigo y Lechuga-Montenegro, 2002). Oaxaca actualmente cuenta con un registro de 35 razas de maíz nativo de un total nacional de 64 integrantes, considerando al estado como un representante del acervo histórico y natural de la nación (CONABIO, 2022). La distribución de maíces nativos en el estado por preferencia de siembra dependiendo la región es, Valles Centrales: Bolita, Istmo: Zapalote chico, Costa: Tuxpeño, Olotillo y conejo, Papaloapan: Tuxpeño y Tepecintle, Cañada y Sierra norte: Olotón, Comiteco y Mushito (CIBIOGEM, 2011).

Los maíces nativos son parte del autoconsumo en la mayoría de las familias rurales (SADER, 2021). Su múltiple diversidad es parte de la historia cultural nacional a través de los procesos de conservación que las poblaciones han implementado, mismas que han dado origen a preparaciones culinarias únicas. El maíz nixtamalizado convertido en tortilla (Calleja-Pinelo & Valenzuela-Basilía, 2016) es el principal producto de mayor demanda derivado del maíz, teniendo un consumo per cápita anual en las zonas urbanas de 155.4 kg y 217.9 kg en las zonas rurales (SIAP, 2022).

### 2.1.2 Maíz Olotón

La raza de maíz Olotón se encuentra en partes altas (1280 a 2460 de altitud) de Chiapas, Oaxaca, y Guatemala. Adaptándose a rangos de temperatura que van de 13.6 a 22.6 °C, precipitación de 587 a 3711 mm y adaptación a zonas de alta nubosidad (Aragón-Cuevas, 2006). Sus mazorcas presentan una forma abultada en la parte de la base, sus granos pueden variar en color y tamaño, con textura cristalina. La planta llega a tener alturas superiores a los 550 cm, sus mazorcas son alargadas (18 a 22 cm) y pertenece a los cultivos de ciclo tardío, lo que significa que tarda un tiempo más prolongado en desarrollarse y presentar la floración (CONABIO, 2020). Su característica distintiva se encuentra en las raíces adventicias más jóvenes, las cuales producen un exudado denominado mucilago (Turrent-Fernández y Espinosa-Calderón, 2022), el cual aloja grupos de bacterias que, en condiciones bajas de oxígeno, realizan una simbiosis con la planta (Paredes, 2013).

Destacando que las raíces cuentan con accesiones en donde las células de los bordes son las que se encargan de generar este mucilago (Cruz et al., 2021), creando las condiciones necesarias para el proceso de fijación de Nitrógeno atmosférico, satisfaciendo entre 29 a 82% de la demanda de nitrógeno (Turrent-Fernández y Espinosa-Calderón, 2022). Al tener este carácter de fijación de nitrógeno, se considera una planta de alto valor científico y ecológico. Por otra parte, dentro de la comunidad (Totontepec Villa de Morelos) este cultivo forma parte de diversas actividades socio-culturales.

## **2.2 Características del maíz**

El grano de maíz (*Zea mays* L.), constituye la base de la canasta básica de alimentación para el ser humano. Los registros que datan de su existencia son muy antiguos y demuestran su gran valor económico, social y cultural (SADER, 2014). La planta de maíz presenta un sistema radicular dividido en cuatro clases, seminales (raíces originadas en el embrión), definitivas (fijan a la planta con el suelo), de soporte (primeras raíces fuera del suelo) y las aéreas (no alcanzan el suelo) (Ávila-Miramontes et al., 2014).

Tiene un tallo de forma cilíndrica leñosa con cantidades variantes de nudos y sin ramificaciones (Hidalgo, 2018). Sus hojas alargadas de forma lanceolada cubren el tallo de forma alterna, teniendo en el haz vellosidades y extremos muy afilados (SADER, 2014). La planta de maíz es de inflorescencia monoica, lo que significa que cuenta con una inflorescencia masculina (espiga) y femenina (estigmas) separadas dentro de la misma planta (Sánchez, 2014).

### **2.2.1 Etapas fenológicas del maíz**

Las etapas fenológicas del maíz conforman el ciclo de desarrollo de la planta; del cual destacan dos fases definidas; desarrollo vegetativo y reproductivo (Hidalgo, 2018). En la fase de desarrollo vegetativo, el coleóptilo emerge de la superficie del suelo y es visible el cuello de la primera hoja (Ávila-Miramontes et al., 2014). De manera consecutiva las hojas se van formando hasta tener un número

definitivo de hojas, que es comúnmente entre 16 y 22, o bien hasta la formación de la hoja bandera (Oñate, 2016).

Durante la fase de reproducción, es notoria la floración masculina y la liberación del polen, el cual coincide en días anteriores con la visibilidad de los estigmas (SADER, 2014). Al estar completamente formadas ambas partes, surge la polinización y se forman los granos del maíz en la inflorescencia femenina de la planta, cuando se presionan los granos y expulsa un líquido lechoso se puede decir que la planta se encuentra en la etapa de maduración lechosa (SENAMHI, 2011). Posterior a esto, se presenta la etapa denominada pastosa, donde el color de los granos de la mazorca ayuda a identificar su madurez y estos presentan una consistencia pastosa. Para la última etapa de maduración los granos de maíz tienen una textura dura y la mayoría de las hojas tornan a un color amarillo, lo que muestra su secado (SENAMHI, 2011).

### 2.2.2 Factores edafoclimáticos

Al ser una planta C4 requiere una gran cantidad de luz solar, en un rango de temperatura que va de 8 °C a los 30 °C. Sin embargo, la temperatura optima es de 18 a 24 °C (SAGARPA, 2018). El cultivo de maíz prefiere suelos francos en combinación con suelos limosos, arcillosos o bien limosos-arcillosos (SAGARPA, 2018). Las características del suelo, las variantes climáticas, las actividades de fertilización y de la irrigación resultan fundamental para el rendimiento final (Lardone, 2016). Al existir un exceso en los factores meteorológicos y de hidratación durante las primeras etapas después a la germinación (15 a 30 días)

se ocasionan pérdidas de individuos o el estancamiento de su crecimiento (Oñate, 2016).

### **2.3 Nutrición química y orgánica del maíz**

Las altas demandas de producción para este cereal requieren de cantidades elevadas de fertilización química. Las plantas toman elementos minerales principalmente del área edáfica, una buena nutrición en el cultivo del maíz proporciona mayor resistencia a cambios climáticos, plagas y enfermedades (Ávila-Miramontes et al., 2014). De estos elementos el maíz necesita para su desarrollo fertilizaciones balanceadas principalmente fósforo, nitrógeno y potasio (Ciampitti y García, 2008). Microelementos como zinc, hierro, manganeso, boro y cobre. Además de nutrientes secundarios como magnesio, azufre y calcio (Ávila-Miramontes et al., 2014).

Los fertilizantes aplicados al suelo pueden reaccionar de maneras distintas en relación a las condiciones específicas del suelo y del cultivo (IFA, 2002). Una correcta fertilización al suelo mejora las variables agronómicas de rendimiento del cultivo y ayuda a la disponibilidad de algunos elementos. La cantidad de nutrientes que extrae el maíz puede ser diferente de acuerdo con la variedad y las condiciones edafoclimáticas (Quintero, 1991). Lo que ha originado modificaciones en las dosis de aplicación de diversos elementos.

El nitrógeno se considera como un nutriente indispensable para procesos químicos y biológicos dentro de las plantas (Mengel y Kirkby, 1987). Al ser un

elemento altamente móvil en el suelo, su pérdida por lixiviación, volatilización y desnitrificación es muy común. Este elemento está directamente relacionado con la calidad, índice de cosecha y rendimiento de grano, de forma contraria una baja presencia de este elemento (menor a 20 kg por ha<sup>-1</sup>), pueden reducirse hasta un 80% las variables productivas (León et al., 2021).

El fósforo se encuentra en forma de ortofosfatos casi exclusivamente en el suelo, estos son fáciles de absorberse para las plantas. Su fijación en el suelo depende mucho de las características edáficas. Para una buena disponibilidad de nutrientes, los suelos deben estar en un rango de pH natural que va de 6.5 a 7.5, en el caso de maíz las raíces de la planta son capaces de absorber el fosfato y llevarlo a la savia de la xilema en donde es involucrado en los procesos metabólicos de la planta (Martínez, Ortiz & Raigón, 2017).

El fosfato en el metabolismo contribuye a la formación de enlaces pirofosfato que permiten la transferencia de energía, esta reserva se encuentra en las semillas en forma de finita y en los tejidos vegetales el fosfato inorgánico se encuentra en las vacuolas. El resultado de su asimilación puede verse en las primeras etapas de la formación vegetativa, crecimiento en relación con la fotosíntesis y en la buena formación de las semillas de calidad, índice de cosecha y altos rendimientos (Mengel y Kirkby, 1987).

La aplicación de potasio puede ser antes y durante la siembra, debido al transporte del nutriente en el suelo. Se deben cuidar las condiciones de humedad

del suelo antes de aplicar, considerando que los fertilizantes con este elemento son muy solubles al contacto con el agua y de fácil disponibilidad. Para esto se deben considerar aspectos como precipitación y estación del año, para evitar la lixiviación (Mengel y Kirkby, 1987). Este elemento es importante en la fisiología vegetal de los cultivos ya que se representa a través del catión que más se encuentra en los tejidos de las plantas, también cumple con funciones fisiológicas y bioquímicas, gracias a su alta velocidad de absorción en los tejidos.

Se absorbe principalmente durante la etapa de crecimiento vegetativo y para los cereales durante el periodo desde las primeras etapas hasta la emergencia de la espiga (Martínez, Ortiz & Raigón, 2017). Por otra parte, la incorporación de encalados y enmiendas al suelo son actividades complementarias de manejo agrícola, las cuales tienen como objetivo mejorar las características edáficas de un área determinada, disminuyendo el efecto de erosión, conservación de humedad, cambios del pH, reactivación de la actividad microbiana, aporte de calcio y magnesio, control de malezas, etc. (Álvarez-Solís et al., 2010; CIMMYT, 2020).

Esto se puede realizar incorporando materiales orgánicos, tales como los estiércoles, rastrojo de cultivos anteriores, cal agrícola, basura orgánica (hojarasca, corteza leñosa, tierra de monte, desechos de hormiga, etc.) entre otros, tomando en cuenta las condiciones fisicoquímicas del suelo (Álvarez-Solís et al., 2010). Este tipo de complementos a la fertilización química busca involucrarse de forma gradual al cultivo del maíz, ayudando a disminuir los costos

de producción, aumento en los rendimientos de variables comerciales, mejorar las características del suelo y cuidar al mismo tiempo el entorno natural de este cultivo (flora, fauna, mantos acuíferos).

#### **2.4 Relación materia seca, índice de cosecha y extracción de nutrientes en tejido vegetal**

El índice de cosecha de grano es una característica importante para determinar el momento correcto de cosecha según sea el destino de mercado. Esta variable agronómica demuestra si existe potencial genético, para realizar estudios de aprovechamiento en el área de fitomejoramiento (Hernández y Soto, 2012). La fórmula para determinar el índice de cosecha se basa en dividir el peso de la masa fresca de la mazorca entre la biomasa de la parte aérea de la planta (Cueto-Wong et al., 2006). Por otro lado, a través del forraje que resulta de un cultivo, se puede obtener el porcentaje de la materia seca, realizando un proceso de secado, comúnmente a calor forzado en un promedio de 65 °C por 48 horas haciendo que toda el agua se evapore (Ramírez, 2011). Se menciona que en un año los factores de especie, ambiente, estacionalidad, entre otros, influyen en el contenido de materia seca determinada en cada etapa fenológica o bien durante su etapa final (Ruíz et al., 2006).

Estudios realizados en praderas con pastos en diferentes estaciones del año, mencionan que las plantas al cambiar de estado vegetativo, sus contenidos de materia seca tienen variabilidad. Conforme se acerca la primavera las plantas crecen e inician un proceso reproductivo que induce a la floración, esta actividad



hace que ellas aumenten el contenido de materia seca entre 17 a 25% (Torres-Moya et al., 2016).

La distribución de materia seca entre los órganos de la planta es de gran importancia para la producción del cultivo, reflejando así la disponibilidad de los recursos provenientes del ambiente y del humano (fertilización) (Zamudio-González et al., 2016). Para ambos casos se proponen cambios de genética que pudieran considerar la introducción de nuevos genes de maíces locales de otras regiones o bien un cambio en la fertilización aplicada (Cueto-Wong et al., 2006).

Un método utilizado comúnmente es la extracción de nutrientes, la cual es la cantidad total de algún nutriente en específico, alojado en los órganos de la planta, puede ser en la parte aérea, el grano, la raíz, entre otros (Ciampitti y García, 2008). Estos nutrientes no son devueltos al suelo, por lo que evaluarlos ayuda a identificar que nutriente y en que cantidades se pueden aplicar al suelo para repararlo antes de su próximo ciclo productivo. Esta actividad toma la concentración en tejido vegetal, resultante de laboratorio (Cerdas, 2018) multiplicándolo por los gramos de materia seca de cada órgano. Por lo cual se le atribuye al rendimiento de materia seca como el principal factor que modifica la extracción de nutrientes (García et al., 2005).

Un tipo de extracción consiste en separar y purificar un compuesto, que va de una mezcla sólida o líquida a una fase líquida (disolvente orgánico). Para realizar el análisis de elementos totales del tejido vegetal es necesaria la destrucción de

la materia orgánica. Existen dos procedimientos comúnmente más utilizados para convertir los elementos en formas más solubles. La digestión con ácidos y la calcinación según trabajos realizados por Mckean (1993).

La metodología para realizar esta descomposición inicia con la preparación de la muestra, realizando su descontaminación, eliminando partículas de polvo o cualquier sustancia que pueda contaminar la muestra (Sadzawka et al., 2004). Posteriormente se realiza el secado de la muestra introduciéndola en bolsas de papel a una estufa con aire forzado, con temperatura y tiempo variante dependiendo la muestra. Al secar completamente se procede a moler hasta que la muestra pase por un tamiz de 2 mm (Sadzawka et al., 2007).

El almacenaje de la muestra puede ser una porción representativa, la cual debe ser colocada en un lugar oscuro, frío y seco. Los análisis de tejido vegetal para la extracción de nutrientes, tienen distintas metodologías para analizarse y dependen del nutriente a evaluar (Sadzawka et al., 2004). Una vez digestadas las muestras se pueden hacer las determinaciones de los elementos (Mckean, 1993).

Nitrógeno a través de destilación y titulación manual con el método Kjeldahl, fósforo y boro a través de colorimetría con nitro-vanado-molibdato y azometina respectivamente, sodio y potasio a través de aspiración directa, manganeso, magnesio, cobre, zinc y calcio determinación por espectrofotómetro de absorción directa (Escobar et al., 2011; Sadzawka et al., 2007).

A través de estas metodologías, trabajos de investigación han demostrado que realizar extracción de nutrientes en los órganos de la planta ayuda a conocer la demanda y traslocación de cada nutriente, además de identificar la etapa correcta de corte, ya que se relaciona directamente con el grado de madurez que tiene el grano (Ruíz et al., 2006).

### **CAPITULO III**

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN COMBINADA EN LA EXTRACCIÓN DE  
MACRO NUTRIENTES EN MAÍZ OLOTÓN**

**EFFECT OF COMBINED FERTILIZATION ON MACRO NUTRIENT  
EXTRACTION IN OLOTÓN CORN**

## Resumen

La extracción de nutrientes en tejido vegetal nos permite conocer la demanda nutricional por las plantas y la distribución de nutrientes en cada uno de los órganos de la planta. El objetivo del trabajo fue evaluar la extracción de materia seca y macronutrientes en diferentes órganos de la planta de maíz Olotón en la aplicación de fertilización combinada. Se implementó un diseño experimental en parcelas divididas con arreglo factorial. Factor A: enmiendas agrícolas (sin aplicación, encalado, estiércol y encalado + estiércol) y factor B: Fertilización química (testigo, fósforo, nitrógeno y nitrógeno + fósforo). A esta interacción se añadieron 4 tratamientos adicionales, resultando 20 tratamientos, cada uno con tres repeticiones, bajo condiciones de temporal en Totontepec Villa de Morelos, Sierra Mixe, Oaxaca. Se evaluó la acumulación de materia seca y concentración de nutrientes como bases para cálculos de la extracción. Se realizaron análisis de laboratorio para la concentración de macronutrientes a través del tejido vegetal en los órganos de la planta. Posteriormente, se estimó la extracción total de cada nutriente en las plantas. A través del análisis de varianza, pruebas de separación de medias Duncan ( $P \leq 0.05$ ) y contraste ortogonal. Los rangos para materia seca total fueron de 12.37 a 16.21 t ha<sup>-1</sup>. La mayor extracción de macronutrientes (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca y Mg) fue en el tallo. Las extracciones de nutrientes totales se presentaron en el orden de N > K > Ca > Mg > P, reportando al nitrógeno como el nutriente más extraído por el cultivo y fósforo el más bajo.

**Palabras clave:** Extracción, macronutrientes, maíz Olotón

## **Abstrac**

Nutrient extraction in plant tissue allows us to know the nutritional demand by plants and the distribution of nutrients in each of the plant organs. The objective of the work was to evaluate the extraction of dry matter and macronutrients in different organs of the Olotón corn plant in the application of combined fertilization. An experimental design was implemented in divided plots with a factorial arrangement. Factor A: agricultural amendments (without application, liming, manure and liming + manure) and factor B: Chemical fertilization (control, phosphorus, nitrogen and nitrogen + phosphorus). Four additional treatments were added to this interaction, resulting in 20 treatments, each with three repetitions, under rainfed conditions in Totontepec Villa de Morelos, Sierra Mixe, Oaxaca. The accumulation of dry matter and nutrient concentration were evaluated as bases for extraction calculations. Laboratory analyses were performed for the concentration of macronutrients through plant tissue in the plant organs. Subsequently, the total extraction of each nutrient in the plants was estimated. Through analysis of variance, Duncan mean separation tests ( $P \leq 0.05$ ) and orthogonal contrast. The ranges for total dry matter were from 12.37 to 16.21 t ha<sup>-1</sup>. The highest extraction of macronutrients (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca and Mg) was in the stem. The extractions of total nutrients were presented in the order of N > K > Ca > Mg > P, reporting nitrogen as the nutrient most extracted by the crop and phosphorus as the lowest.

**Index Words:** Extraction, macronutrients, Olotón corn

### 3.1 Introducción

El maíz ha pasado por diversos procesos de domesticación, resultado del trabajo que han realizado por décadas los campesinos, herederos y responsables de la subsistencia y evolución natural de estas semillas (Sánchez, 2014). La producción nacional se destina principalmente a la canasta alimenticia básica de los mexicanos, con más de 600 preparados comestibles (alimentos y bebidas) a base de maíz nativo nixtamalizado (Turrent-Fernández, Wise y Garvey, 2012). Razón por la cual el aumento a su producción y mejoramiento genético autóctono ha sido constante (Turrent- Fernández et al., 2009).

Durante el año agrícola (OI+PV) 2023, México sembró una superficie de 3.6 millones de hectáreas de maíz grano, con un promedio nacional de 5.6 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2024). Sin embargo, lo que se produce de grano aún no es suficiente para abastecer la demanda nacional que oscila alrededor de 40.0 millones de toneladas, por lo que México se ve obligado a comprar del exterior, convirtiéndose uno de los principales países que importa más maíz a nivel mundial (SIAP, 2024).

Esta demanda per cápita ha generado el remplazo de variedades nativas por semillas mejoradas, las cuales se cultivan en grandes extensiones con fertilización convencional (química) en altas dosis (Guillén-Pérez et al., 2002). La fertilización forma parte del manejo agronómico en el cultivo de maíz, esta actividad provee los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas que se traduce en rendimientos favorables (Ayvar-Serna et al., 2020; Martínez et al., 2018; Moreno et al., 2008). Lo anterior, porque las especies vegetales requieren de los elementos esenciales para una nutrición adecuada (Marschner, 1995). Los macronutrientes son los nutrientes de mayor exigencia por el cultivo de maíz (Silva et al., 2018; Martínez-Gutiérrez et al., 2022). Sin embargo, la aplicación de altas cantidades de fertilizantes químicos implica daños ecológicos y edáficos (Gavilánez-Luna & Gómez-Vargas, 2022) por lo que se debe considerar dentro del programa de fertilización criterios más específicos de la recomendación de NPK para maíces con expectativas de alto rendimiento (Zamudio-González et al., 2018). Una adecuada y correcta fertilización en tiempo y forma, impacta en el eslabón de producción, incluso con el uso de maíces nativos (Zamudio et al., 2023).

Oaxaca es uno de los estados de la república mexicana que produce y conserva 35 razas nativas de maíces con sus diferentes variaciones, asociados a prácticas agrícolas tradicionales (CONABIO, 2022). Actualmente, estas actividades requieren nuevas alternativas de fertilización combinada, que permitan frenar los efectos negativos edafoclimáticos y favorezca el microbiota del suelo.



Si bien es cierto que la fertilización al suelo afecta de manera positiva en el desarrollo del cultivo y en la economía del productor, el maíz nativo raza Olotón tiene la capacidad de fijar el N atmosférico, convirtiéndolo en forma asimilable para suministrar a la planta de 29 a 82 % del nitrógeno que requiere, para completar su ciclo productivo (Van Deynze et al., 2018). Esta característica particular lo hace atractivo para actividades de extracción ilegal, biopiratería de la diversidad genética por intereses científicos y económicos de las empresas transnacionales (Massieu y Chapela, 2002) y hasta el intento de patentamiento (Turrent-Fernández y Espinosa-Calderón, 2022).

Por lo tanto, es pertinente promover su conservación con estrategias agronómicas amigables con el medio ambiente como la fertilización adecuada que permita impulsar la producción de esta semilla y que influya en la mejora de los aspectos ecológicos, sociales y culturales del entorno. Con lo anterior, se reduce la posibilidad de introducir híbridos y variedades mejoradas que promueven las empresas semilleras u otros cultivos de mayor demanda económica.

Existen trabajos de investigación relacionados a fertilización combinada (fertilización inorgánica + biológicos) en el cultivo de maíz, donde reportan incremento en el rendimiento, variables de grano y materia seca (Martínez-Reyes

et al., 2018). No obstante, este incremento es directamente proporcional con el requerimiento nutricional del cultivo, a medida que aumenta la producción de materia seca del cultivo se incrementa la extracción de los nutrientes (Setiyono et al., 2010), por lo que se deben considerar practicas agronómicas que suministren estas cantidades que la planta requiere para satisfacer su demanda nutricional (Martínez-Gutiérrez et al., 2022). La extracción de nutrientes ha proporcionado información que ayuda a conocer las cantidades de macro y micro elementos por tonelada de materia seca producida (Bender et al., 2013; Ciampitti y García).

Se puede determinar la cantidad de nutrientes extraídos por las plantas en diferentes etapas fenológicas del cultivo monitoreando las curvas de absorción y partición de nutrientes por los diferentes órganos de las plantas (Martínez-Gutiérrez et al., 2018; Silva et al., 2018; Bender et al., 2013) o determinar la extracción total de nutrientes al final del ciclo fenológico del cultivo en madurez fisiológica (R6) (Martínez-Gutiérrez et al., 2022; Rodríguez-Larramendi et al., 2016).

A pesar de que existe información referente a la extracción de nutrientes, falta información sobre los maíces nativos, principalmente de la raza Olotón que no sabemos cuál es la cantidad que absorbe de la aplicación de los fertilizantes y los efectos que tienen las fertilizaciones inorgánicas y enmiendas agrícolas aplicadas. Por lo cual generar información a través de la extracción de macronutrientes en maíz Olotón, contribuye a la identificación de una fertilización

correcta en condiciones edafoclimáticas de la comunidad de Totontepec, Oaxaca. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue evaluar la acumulación de materia seca y extracción de macronutrientes en maíz Olotón en la aplicación de fertilización combinada en Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca

### 3.2 Materiales y métodos

#### 3.2.1 Sitio experimental

El experimento se dividió en dos etapas de trabajo. La primera etapa fue establecer una parcela agrícola en la comunidad de Totontepec Villa de Morelos, en la Región Sierra Norte del Distrito Mixe del estado de Oaxaca (17° 15' N, 96° 01' O, y 1840 msnm) (INEGI, 2010), durante el ciclo agrícola primavera-invierno de 2022. La precipitación promedio para ese año fue de 1200 mm, con un rango de temperatura de 11.38 a 22.5°C (NASA, 2024). Para determinar las condiciones de fertilidad del suelo se colectaron muestras de suelos antes de la siembra (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1 Características químicas de suelo en parcela experimental, a profundidad de 0-20 cm, antes de las actividades de fertilización y siembra, ciclo agrícola primavera-invierno, 2022.

pH	MO	N-NO <sub>3</sub>	P <sup>1</sup>	K	S	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CIC	V <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
Agua	%	-----	mg dm <sup>-3</sup>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	%	----
5.6	8	9.3	29.8	83.5	4.2	0.6	0.17	1.3	1.6	2.67	39	48.3	

*Notas:* <sup>1</sup>Método de Bray <sup>1</sup> (Bray y Kurtz, 1945). <sup>2</sup>Saturación de base. <sup>3</sup>Saturación de aluminio. N-NO<sub>3</sub>= Concentración de nitrógeno. CIC= Capacidad de intercambio catiónico. MO=Materia orgánica. Micronutrientes (mg dm<sup>-3</sup>), B = 0.10; Cu = 0.36; Fe = 25.7; Mn = 11.1; Zn = 0.61.

### 3.2.2 Establecimiento del experimento en campo

Previo a la siembra se preparó el terreno con tracción animal, realizando actividades de barbecho y surcado. Se utilizó semilla cosechada y seleccionada del ciclo productivo anterior (2021). Previo a la siembra se aplicó la cal dolomita ( $(\text{CaMg})\text{CO}_3$ ) y el estiércol seco en la línea marcada por los surcos (diseño experimental). La siembra se realizó a mano bajo la técnica de cajete (tipo de siembra en forma de cazuela de aproximadamente 30-40 cm de diámetro), a una distancia de 0.90 m entre surco y matas (4 plantas).

La fecha de siembra fue el día 21 de abril de 2022, en condiciones de temporal utilizando semilla de maíz Olotón en color amarillo con densidad de población de 37,500 plantas por hectárea. Posteriormente la fertilización química Urea (N), Superfosfato de calcio triple ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) y cloruro de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) durante las etapas vegetativas de V4 a V6 de acuerdo con el Cuadro 3.2. El control de malezas se realizó en forma manual además del aporque “arrimado de tierra” a las plantas para evitar problemas de acame.

### 3.2.3 Tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental fue en parcelas divididas con arreglo factorial 4x4x3, parcela grande (PG), parcela chica (PC) y repeticiones, respectivamente. En la PG correspondió al factor enmiendas agrícolas (Sin aplicación, encalado, estiércol y encalado + estiércol) mientras en la PC se ubicó el factor fertilización química (Sin aplicación, Urea, superfosfato de calcio triple y Urea + superfosfato de calcio triple). De la estructura factorial básica se evaluaron dieciséis

tratamientos y añadieron cuatro tratamientos adicionales, pero fuera del diseño experimental (Cuadro 3.2). Resultando veinte tratamientos, cada uno con tres repeticiones. Las sesenta parcelas experimentales se constituyeron de seis metros de longitud cada una y la parcela útil fueron los dos surcos centrales.

Cuadro 3.2 Tratamientos establecidos en parcela según el arreglo factorial y sus respectivos niveles, incluyendo tratamientos adicionales y sus respectivas dosis ( $t\ ha^{-1}$  y  $kg\ ha^{-1}$ ).

Tratamientos	Parcela grande			Parcela chica			
	Código	Estiércol $t/ha^{-1}$	Cal $t/ha^{-1}$	Código	N $kg/ha^{-1}$	$P_2O_5$ $kg/ha^{-1}$	$K_2O$ $kg/ha^{-1}$
T1	1	0	0	1	0	0	-
T2	1	0	0	2	0	80	-
T3	1	0	0	3	60	0	-
T4	1	0	0	4	60	80	-
T5	2	0	2	1	0	0	-
T6	2	0	2	2	0	80	-
T7	2	0	2	3	60	0	-
T8	2	0	2	4	60	80	-
T9	3	3	0	1	0	0	-
T10	3	3	0	2	0	80	-
T11	3	3	0	3	60	0	-
T12	3	3	0	4	60	80	-
T13	4	3	2	1	0	0	-
T14	4	3	2	2	0	80	-
T15	4	3	2	3	60	0	-
T16	4	3	2	4	60	80	-
Fertilizaciones adicionales							
A1	Adicional	3	2	1	60	80	50
A2	Adicional	3	2	2	60	80	100
A3	Adicional	3	2	3	180	240	50
A4	Adicional	6	4	4	180	240	50

N: Urea con 46% de nitrógeno,  $P_2O_5$ : superfosfato de calcio triple con 46% de  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ : cloruro de potasio con 60%  $K_2O$ , dosis aplicadas en  $kg\ ha^{-1}$ .

#### 3.2.4 Variables de trabajo en campo

En la última etapa reproductiva de madurez fisiológica (R6) del cultivo, se cosecharon las plantas enteras cortando a ras del suelo en cada área útil de las parcelas. Las plantas colectadas se separaron en hoja tallo y grano, con un total de 60 muestras. Cada muestra se colocó de forma separada en bolsas de papel con su respectiva etiqueta colocándolas a 65°C en estufa de aire forzado hasta alcanzar el peso contante de 4% y fueron pesadas con apoyo de una báscula electrónica marca IBN, modelo B-5P. Se registró el peso de cada órgano de la planta y posteriormente se extrapoló por hectárea, la materia seca de hoja (MSH), materia seca de tallo (MST) y materia seca de grano (MSG). Con la sumatoria de estos valores se determinó la producción de materia seca total (MSTOTAL) de la planta. Para el índice de cosecha (IC) se determinó con el peso de MS del grano dividiéndolo por la MS total de planta completa, siguiendo la metodología descrita por Dóberman (2005).

Para determinar la concentración ( $\text{g kg}^{-1}$ ) y extracción de los macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en el tejido vegetal las muestras fueron molidas en un molino tipo Wiley (Wiley Mill, modelo 4, acero al carbono), hasta que su estructura les permitiera pasar por un tamiz de 2 mm.

#### 3.2.5 Trabajo de laboratorio y variables

La segunda etapa de la investigación se realizó en el laboratorio de análisis de suelos y tejido vegetal, del edificio de suelos y recursos naturales, de la

Universidad Autónoma Chapingo en el estado de México. Se realizó la digestión, a través de una mezcla diácica, 4:1 de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y ácido perclórico ( $HClO_4$ ) respectivamente, al salir de la campana extractora de gases se aforo a 50 ml con agua destilada. Se realizó la determinación de nitrógeno a través del método Kjeldahl (destilación y titulación manual), calcio y magnesio a través de espectrofotometría de absorción atómica, potasio por flamometria por aspiración directa y fósforo por colorimetría (nitro-vanado-molibdato) (Sadzawka et al., 2007; Sadzawka et al., 2004). Los datos de laboratorio pasaron por análisis matemáticos de transformación dependiendo la metodología utilizada en laboratorio, para obtener la concentración de nutrientes en los diferentes órganos de las plantas.

Las determinaciones de extracción de nutrientes en los órganos de las plantas se realizaron utilizando la siguiente formula:  $EN=(CNXMS)/1000$ . Donde (EN) es igual a extracción de nutriente y (CN) es la concentración de nutrientes en la MS de cada parte de la planta, ambos valores representados en ( $g\ kg^{-1}$ ) y MS es la materia seca del órgano de la planta ( $kg\ ha^{-1}$ ) /1000 (Sadzawka et al., 2007; Sadzawka et al., 2004).

### 3.2.6 Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de normalidad usando Kolmogórov-Smirnov. Para los 16 tratamientos generados por la estructura factorial básica, se realizó un análisis de varianza y comparación de medias Duncan ( $P \leq 0.05$ ). Para los cuatro

tratamientos adicionales se utilizó un análisis de contrastes ortogonales (SAS Institute, 2024; Mesa-Fuquen et al., 2019).

### 3.3 Resultados y discusiones

#### 3.3.1 Producción de materia seca e índice de cosecha

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en las aplicaciones de enmiendas y fertilizaciones químicas en los diferentes órganos de la planta de maíz Olotón (Cuadro 3.3). Destacando el tratamiento adicional uno, con aplicación de encalado + estiércol + fertilización NPK en la producción de materia seca en gramos por planta, para todos los órganos. La aplicación de enmiendas (encalado + estiércol) puede promover la disponibilidad de nutrientes en el suelo principalmente de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y P (Qaswar et al., 2020; Martínez & Colmenares, 2012) además de mejorar las actividades biológicas (Salazar-Sosa et al., 2010; López et al., 2001). Datos reportados por Salazar-Sosa y colaboradores (2010), asocian la fertilización de estiércol bovino en cultivo de maíz, con el aumento a la producción de forraje verde y materia seca (34.83 t ha<sup>-1</sup>).

Cuadro 3.3 Resumen de análisis de varianza para materia seca (gramos por planta) acumulada en los órganos de la planta.

	Materia seca g				IC
	Hoja	Tallo	Grano	Total	
PG	0.0001**	0.0001**	0.61 <sup>ns</sup>	0.0004**	0.47 <sup>ns</sup>
PC	0.0001**	0.0001**	0.001**	0.0001**	0.24 <sup>ns</sup>
PG*PC	0.0001**	0.009**	0.09 <sup>ns</sup>	0.02*	0.28 <sup>ns</sup>
Error	40	-	-	-	-
CV	15.79	18.63	28.37	14.31	25.73



PG: parcela grande; PC: parcela chica;\* valor significativo, \*\* altamente significativo, ns; no significativo.

Cuadro 3.4 Medias para materia seca en gramos por planta e índice de cosecha al final del ciclo agrícola P-I 2022, en función a la aplicación de enmiendas y fertilización química.

Enmiendas	Fertilización química	Materia seca g				IC
		Hoja	Tallo	Grano	Total	
Testigo	Testigo	97.0 c	141.0 cde	115.0 cde	353.0 def	0.16 bc
	P	90.0 cd	116.0 de	162.3 abcde	368.3 cdef	0.19 abc
	N	99.3 bc	138.50 cde	193.0 abc	430.8 bcde	0.18 abc
	NP	90.0 cd	126.0 cde	127.67 cde	343.6 def	0.19 abc
Cal dolomita	Testigo	76.0 cd	133.0 cde	82.6 e	291.6 f	0.19 abc
	P	133.0 a	136.0 cde	173.3 abcd	442.3 bcd	0.20 abc
	N	85.0 cd	118.0 de	220.0 ab	423.0 bcde	0.27 a
	NP	94.0 c	131.0 cde	135.3 bcde	360.3 cdef	0.16 bc
Estiércol bovino	Testigo	62.0 d	99.0 e	133.67 cde	294.6 f	0.24 ab
	P	72.0 cd	101.0 e	110.3 cde	283.3 f	0.21 abc
	N	80.0 cd	133.0 cde	170.0 abcd	383.0 cdef	0.20 abc
	NP	101.0 bc	173.0 bc	144.67 bcde	418.6 bcde	0.21 abc
Cal +estiércol	Testigo	86.6 cd	141.0 cde	152.6 bcde	380.3 cdef	0.18 abc
	P	71.0 cd	158.0 cd	97.33 de	326.3 ef	0.18 abc
	N	126.0 ab	211.0 b	156.0 bcde	493.0 b	0.17 abc
	NP	89.0 cd	137.0 cde	180.0 abcd	406.0 bcde	0.23 ab
Adicional 1	P	130.0 a	259.0 a	243.3 a	632.3 a	0.18 abc
Adicional 2	N	93.3 c	128.0 cde	146.3 bcde	367.6 cdef	0.25 ab
Adicional 3	NP	144.0 a	159.0 cd	166.3 abcde	469.3 b	0.13 c
Adicional 4	NPK	126.0 ab	126.0 cde	169.3 abcd	421.3 bcde	0.19 abc
Media general		97.26	143.22	153.96	394.45	0.20
CV%		15.79	18.63	28.37	14.31	25.73

Medias con la misma letra en la columna no son estadísticamente significativas (Duncan  $\leq$  0.05); IC: índice de cosecha; Testigo: sin aplicación de producto.

En términos generales se observó que la aplicación de fertilizantes nitrogenados afecta de manera positiva en la acumulación de materia seca total y en los órganos de la planta. Las aplicaciones adicionales superaron a los testigos de fertilización menor. La fertilización con nitrógeno afecta de forma positiva el

incremento de la producción de MS (Delgado, Núñez & Velásquez, 2004). Además, durante este proceso la planta asimila N que pudo inferir en los resultados obtenidos en la acumulación de materia seca (Turrent-Fernández y Espinosa-Calderón, 2022; CIMMYT, 2020). Lo anterior, sugiere que la aplicación de fertilización nitrogenada es necesaria para el crecimiento y desarrollo adecuado del cultivo en las etapas iniciales y posteriormente la planta por sí sola puede abastecer el N requerido mediante el proceso de fijación biológica de nitrógeno (Van Deynze et al., 2018).

La acumulación total de materia seca en gramos por planta, para los veinte tratamientos tuvo un rango de 283.3 a 632 gramos por planta (Cuadro 3.4) destacando la interacción entre el tratamiento adicional uno. En un estudio realizado por Cansino et al. (2022) encontraron que los rendimientos de materia seca de los maíces nativos fueron inferiores a un híbrido comercial, con un rango promedio de 6.53 a 10.66 t ha<sup>-1</sup> entre los materiales nativos.

La dosis empleada de N (60 kg ha<sup>-1</sup>) es baja en comparación con trabajos de investigación específicamente en dosis de N (125 a 375 kg ha<sup>-1</sup>) en cultivo de maíz (Aguilar et al., 2015; Cueto-Wong et al., 2006). Sin embargo, esta variedad de maíz Olotón tiene características fisiológicas únicas con respecto a su altura, grosor de tallo y longitud de pedúnculo-mazorca (Turrent- Fernández y Espinosa-Calderón, 2022).

Con respecto a variable índice de cosecha (IC), se mostró diferencia significativa para parcelas, con la aplicación de estiércol bovino seco. Alturas superiores a los 350 cm en maíz no son un indicador deseable para la producción de grano, ya que esto pueda incidir en el bajo IC del grano registrado (Rodríguez-Larramendi et al., 2016). Sin embargo, trabajos de investigación para maíces forrajeros con altas dosis de fertilización nitrogenada alcanzan IC mayores al 30%, destacando que algunas variedades mejoradas no disminuyen su IC al elevar su contenido de MS (Cueto-Wong et al., 2006; Delgado, Núñez & Velásquez, 2004).

Realizando el contraste ortogonal para las mismas variables (hoja, tallo, grano, total, IC) en gramos por planta bajo la comparación lineal de mismas dosis de fertilización química contra cada uno de los cuatro tratamientos adicionales (Cuadro 3.5), se observaron efectos no significativos para IC.

Cuadro 3.5 Análisis de varianza a partir de contrastes ortogonales, para variables índice de cosecha y materia seca en maíz Olotón, bajo tratamientos adicionales de fertilización combinada.

Contrastes	Variables				
	MSH	MST	MSG	MSTOTAL	IC
	Pr> F				
A1 * A2	0.34ns	0.12 ns	0.01*	0.0008**	0.99 ns
A1 * T8	0.00**	0.0001**	0.08*	0.0001**	0.88 ns
A2 * T12	0.02*	0.0004 **	0.01*	0.0001**	0.66 ns
A1 * T16	0.77ns	0.0004**	0.35 ns	0.31 ns	0.21 ns
CV (%)	12.18	12.63	18.30	6.79	17.73

C: Índice de cosecha; MSH: materia seca hoja; MST: materia seca tallo; MSG: materia seca grano; MSTOTAL: Materia seca total; testigo: sin aplicación de producto; Adicional 1: cal-2, estiércol-3, N-60, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-80, K<sub>2</sub>O-50; Adicional 2; cal-2, estiércol-3, N-60, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-80, K<sub>2</sub>O-100; Adicional 3: cal-2, estiércol-3, N-180, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-240, K<sub>2</sub>O-50; Adicional 4: cal-4, estiércol-6, N-180, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-240, K<sub>2</sub>O-50; cantidades de fertilización en kg ha<sup>-1</sup>. CV: Coeficiente de variación. Significancia de (P ≤ 0.05).

Las variables de MS mostraron diferencias para adicional dos, destacando la aplicación (3 t ha<sup>-1</sup> estiércol, 2 t ha<sup>-1</sup> cal, 60 N, 80 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100 K<sub>2</sub>O) sobre la acumulación de materia seca en comparación con el tratamiento doce (Cuadro 3.5). La aplicación combinada de fertilización en el cultivo de maíz mejora considerablemente el rendimiento final de grano y materia seca (García, Castro & Moreno, 2021; Alvarado-Teyssier et al., 2018). La aplicación de enmiendas al suelo previo a la fertilización química prepara al suelo y lo ayuda a la disponibilidad de los nutrientes para la planta (Lazcano-Ferrat, 2003).

### 3.3.2 Extracción de macronutrientes

Para la prueba de separación de medias en variables de extracción de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) en los diferentes órganos de la planta, existió efecto significativo en hoja, en la extracción de N, P, K y Ca, excepto Mg que no se observó ninguna diferencia. Se destaca la acumulación de N (45.6 kg ha<sup>-1</sup>) en la aplicación de En+Es y en la aplicación de encalado es notorio la acumulación de Ca y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Esto indica que la cal agrícola, mejora las condiciones químicas del suelo. Existe diferencia solo en parcela chica con extracción de N y Mg, bajo la aplicación de fertilización química de N (60 kg ha<sup>-1</sup>), en acumulación de grano, mostrando valores bajos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, (Cuadro 3.6) considerando la lixiviación por lluvias como el factor que influyo en la disponibilidad de nutrientes para la planta.

Cuadro 3.6 Extracción de macronutrientes en órganos de la planta (hoja, tallo, grano) de maíz Olotón, cosecha al final del ciclo agrícola P-I 2022, en función a la aplicación de enmiendas y fertilización química. Medias por parcela.

	Fuente de variación	Nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
Hoja	Parcela grande (PG)					
	Testigo	43.28 ab	3.52 b	10.24 a	2.94 ab	7.86 a
	Encalado (En)	41.44 ab	4.31 a	7.11 b	3.26 a	7.39 a
	Estiércol (Es)	37.78 b	3.33 b	6.33 b	2.75 ab	6.76 a
	En+Es	45.06 a	3.41 b	6.80 b	2.59 b	7.70 a
	Parcela chica (PC)					
	Fósforo (P)	42.22 a	3.62 a	9.01 a	2.61 a	7.70 a
	Nitrógeno (N)	43.51 a	3.98 a	7.41 ab	2.95 a	8.11 a
	N+P	47.05 a	3.62 a	8.60 a	3.15 a	7.89 a
Tallo	Parcela grande (PG)					
	Testigo	17.97 b	11.48 b	16.51 b	12.14 a	8.55 b
	Encalado (En)	23.58 ab	12.87 ab	17.14 ab	10.14 ab	8.31 b
	Estiércol (Es)	16.45 b	21.21 a	16.74 b	7.44 b	8.01 b
	En+Es	29.00 a	0.00 c	20.29 a	8.04 b	10.77 a
	Parcela chica (PC)					
	Fósforo (P)	23.30 a	9.23 a	17.63 a	9.17 a	7.65 b
	Nitrógeno (N)	23.39 a	16.29 a	18.56 a	10.35 a	10.05 a
	N+P	21.38 a	11.60 a	17.56 a	8.50 a	9.59 a
Grano	Parcela grande (PG)					
	Testigo	39.02 a	0.00 a	0.35 a	2.79 a	1.94 a
	Encalado (En)	44.44 a	0.00 a	0.32 b	2.73 a	3.10 a
	Estiércol (Es)	36.12 a	0.00 a	0.33 ab	3.14 a	2.80 a
	En+Es	41.35 a	0.00 a	0.36 a	3.52 a	3.08 a
	Parcela chica (PC)					
	Fósforo (P)	39.37 ab	0.00 a	0.33 a	4.30 a	2.91 ab
	Nitrógeno (N)	46.96 a	0.00 a	0.34 a	2.61 b	3.53 a
	N+P	41.32 ab	0.00 a	0.33 a	3.14 ab	2.25 b

Para cada variable (extracción), dentro de cada factor de variación, las medias seguidas de la misma letra en la columna no difieren estadísticamente. En: enmienda; Es: estiércol; En+Es: Interacción. (Duncan,  $P \leq 0.05$ ).

Los valores obtenidos para grano son bajos con respecto a lo reportado por Aguirre & Alegre, en 2015, utilizando diferentes métodos de fertilización no convencional (media para grano N 23.8, P 12.4, K 23.9 kg t<sup>-1</sup>) (Reta et al., 2007). Para el caso de Mg se reporta que la máxima absorción de este elemento se registra hasta los 90 días después de la siembra, reduciéndose posteriormente, lo cual puede ayudar a comprender la baja extracción de este macronutriente en los órganos de la planta de maíz Olotón (planta de ciclo largo) en etapa R6 (Remache et al., 2017).

Se observa diferencia significativa tanto en la parcela grande como en la chica para la extracción de N, K y Mg. Para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y Ca únicamente hubo diferencia en la parcela grande. La extracción de N fue del orden del 87.02 a 115.43 kg ha<sup>-1</sup>, se destaca la aplicación de En+Es.

Cuadro 3.7 Extracción total de macronutrientes en maíz Olotón, cosecha al final del ciclo agrícola P-I 2022, en función a la aplicación de enmiendas y fertilización química. Medias por parcela.

Fuente de variación	Macronutrientes kg ha <sup>-1</sup>				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
<b>Parcela grande</b>			Kg ha <sup>-1</sup>		
Testigo	100.28 bc	15.01 a	27.12 a	17.87 a	18.35 b
Encalado (En)	109.47 ab	17.19 a	24.58 ab	16.13 ab	18.81 b
Estiércol (Es)	90.37 c	24.54 a	23.41 b	13.34 b	17.58 b
En + Es	115.43 a	3.41 b	27.45 a	14.15 b	21.56 a
<b>Parcela chica</b>					
Fósforo (P)	104.90 a	12.86 a	26.98 a	16.08 a	18.28 bc
Nitrógeno (N)	113.87 a	20.28 a	26.33 a	15.91 a	21.70 a
P + N	109.76 a	15.22 a	26.51 a	14.80 a	19.74 ab

Las extracciones totales del Cuadro 3.7 muestra valores bajos con respecto a lo reportado en trabajos de extracción de NPK en maíz, bajo fertilizaciones no

convencionales (parte aérea + grano) =N 207, P 46.60, K 172.16 kg ha<sup>-1</sup>) (Aguirre, & Alegre, 2015). La mayoría de las investigaciones se basan en semillas mejoradas (Alvarado-López et al., 2021). La comparación de medias totales extraídos para N, P, K, Ca y Mg (parte aérea + grano) reportado por Martínez-Gutiérrez y colaboradores (2022) a través de fertilización foliar (N 292, P 84, K 238, Ca 66 y Mg 48), son valores dobles con respecto a lo resultante de las fertilizaciones en maíz nativo.

La media por macronutriente total extraído fue N 103.89, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15.04, K<sub>2</sub>O 25.64, Ca 15.91 y Mg 19.07 kg ha<sup>-1</sup>. Las bajas extracciones de macronutrientes resultantes para los 16 tratamientos, pueden estar relacionados con las características edafoclimáticas del suelo, las cuales influyen directamente en la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo (Volverás-Mambuscay et al., 2020). La acidez (5.6) y el deterioro constante del suelo probablemente se debe a la alta precipitación que existe en la comunidad (clima templado húmedo, nubosidad prolongada la mayor parte del año) (Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2017). Las constantes precipitaciones pueden originar escorrentías de nutrientes o deslizamientos de los primeros centímetros fértiles del suelo (Lozano-Trejo et al., 2020; Bermúdez & Díaz, 1992).

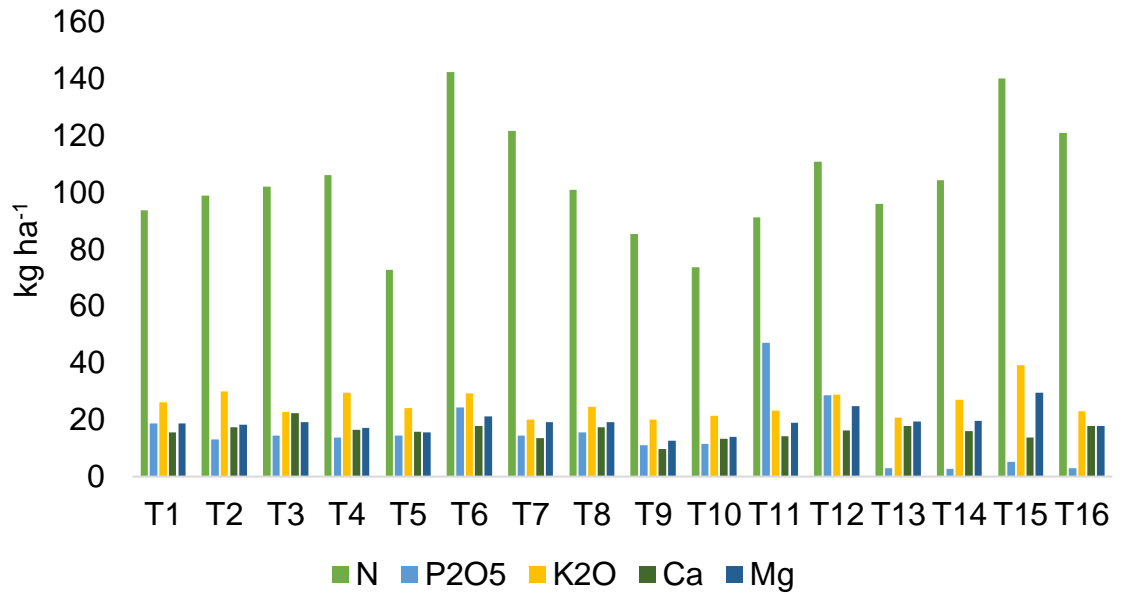


Figura 3.1 Extracción total de macronutrientes en cultivo de maíz Olotón, bajo los 16 tratamientos de la estructura factorial básica de fertilización combinada.

Los totales de extracción de macronutrientes representados en la figura 3.1 para los 16 tratamientos bajo la interacción de fertilización combinada, muestran mayor extracción de N en todas las interacciones, con rangos de 72 a 142 kg ha<sup>-1</sup>. Destacando el tratamiento T6 con N 142 kg ha<sup>-1</sup>. Para la extracción de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> el tratamiento once (47.09 kg ha<sup>-1</sup>) fue el mejor, K<sub>2</sub>O tratamiento quince con 39.12 kg ha<sup>-1</sup> y Ca tratamiento tres (22.25 kg ha<sup>-1</sup>). Estos valores totales son bajos en comparación con trabajos reportados para diferentes formas de fertilización en maíz mejorado (Martínez-Gutiérrez et al., 2022; Alvarado et al., 2018; Cruzate & Casas, 2009).



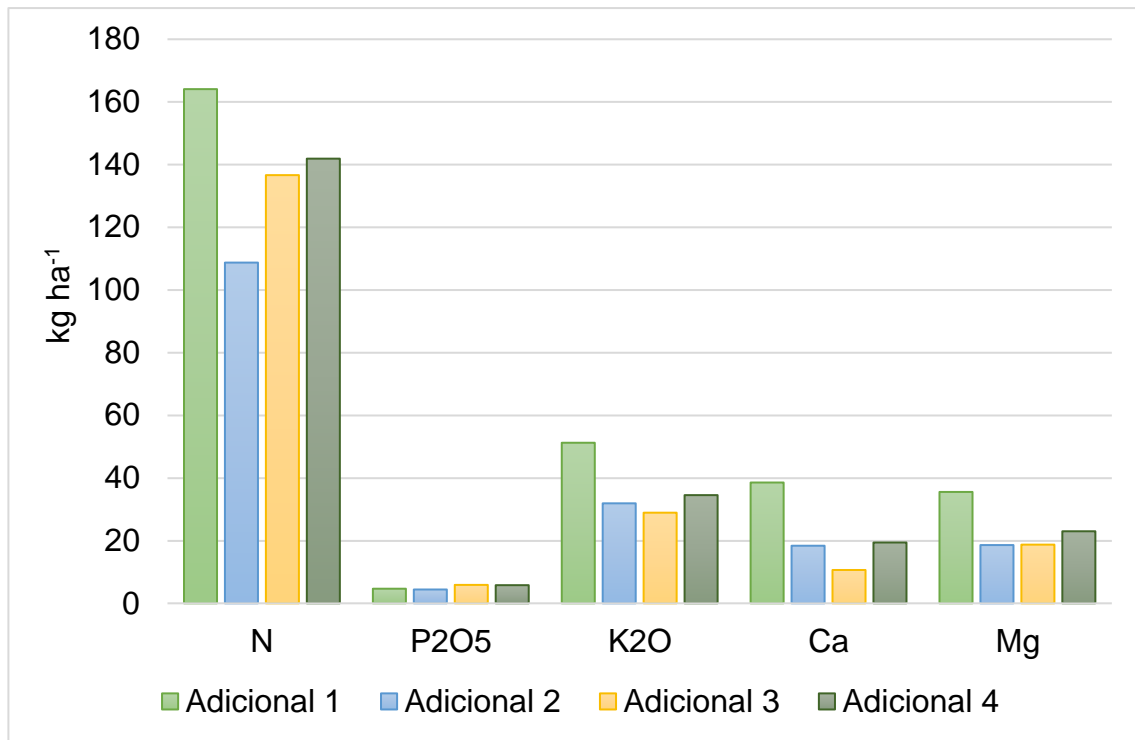


Figura 3.2 Extracción de macronutrientes en cultivo de maíz oloton, bajo la fertilización combinada de cuatro tratamientos adicionales.

Para el caso de la extracción de macronutrientes en los tratamientos adicionales, el nitrógeno tuvo rangos de 108 a 164 kg ha<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O 28.92 a 51.24, Ca 10.63 a 38.54 y Mg 18.58 a 35.54. Lo cual nos indica que para la fertilización combinada con dosis adicionales, la extracción fue mas alta con respecto a lo encontrado a fertilizaciones combinadas en dosis bajas (16 tratamientos). Las dosis crecientes de fertilización favorecieron a la extracción de nutrientes por la planta. Remache y colaboradores (2017) destacan la aplicación de dosis crecientes de N en el suelo aplicado por fertilización química en el cultivo de maíz, los cuales ayudaron al incremento en el aprovechamiento de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca y Mg.

Los resultados obtenidos para la extracción de macronutrientes bajo fertilización adicional tuvieron un incremento, sin embargo son valores muy bajos para el caso de  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca y Mg. A pesar que el N es el nutriente principalmente requerido por el cultivo de maíz y su contenido en el suelo se pierde fácilmente, fue el único nutriente que mostro rangos notables en todos los tratamientos evaluados (Martínez, Ortiz & Raigón, 2017; Chan et al., 2021).

### **3.4 Conclusiones**

Los rangos para materia seca total fueron de 12.37 a 16.21 t ha<sup>-1</sup>, para parcela grande la mejor fertilización fue la interacción (enmienda + estiércol), la mejor fertilización para parcela chica fue nitrógeno (60 kg ha<sup>-1</sup>). Las características morfológicas del maíz oloton (tallos y hojas). pueden ser una razón por la cual exista un bajo índice de cosecha del grano, acumulándose la mayor cantidad de macronutrientes ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca y Mg) en el tallo.

En la parcela grande cuando se aplica encalado + estiércol mejora la extracción de N, P y Mg. Fósforo tuvo resultados bajos en hoja y grano en todos los tratamientos evaluados. La mayor extracción se realizó en tallo. Las fertilizaciones adicionales mostraron mayor extracción de macronutrientes total en relación a los dos factores (PG y PC)

Las medias de extracciones de nutrientes totales se presentaron en el orden de N 103.89 > K 25.64 > Mg 19.07 > Ca 15.91 > P 15.04 (kg ha<sup>-1</sup>), destacando nitrógeno como el nutriente más extraído por el cultivo, de forma independiente

por organo y de forma total en todos los tratamientos. Estos resultados pueden estar relacionados con el carácter de FBN que desarrolla ella planta de maíz oloton en las etapas entre V10 y R1 (Ramírez - Aragón, 2023).

### 3.5 Literatura consultada

- Aguirre, Y. G., & Alegre, O. J. (2015). Uso de fuentes no convencionales de nitrógeno en la fertilización del maíz (*Zea mays* L.), en Cañete (Perú). I: rendimiento y extracción de N, P Y K. *Ecología Aplicada*, 14(2), 157-162. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162015000200008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162015000200008&lng=es&tlng=es).
- Aguilar, C. C., Escalante, E., José, A. S., & Aguilar, M. I. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 33(1), 51-62. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792015000100051&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000100051&lng=es&tlng=es).
- Alvarado-López, F. A., Cristóbal-Alejo, C. J., González-Moreno, I., & Reyes-Ramírez, A. (2021). Contenido mineral de maíces criollos de Yucatán: análisis mediante rayos X  $\mu$ -Fluorescencia. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.454>
- Alvarado, T. R., Aceves, R. E., Guerrero, R. J. D., Olvera, H. J. I., Bustamante, G. A., Vargas, L. S., & Hernández, S. J. H. (2018). Respuesta de genotipos de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes fuentes de fertilizantes en el Valle de

Puebla. *Terra Latinoamericana*, 36 (1), 49–59.  
<https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.309>

Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejada-Reyes, M. A., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*. 38 (1), 9–16. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>

Bender R. R., J. W. Haegerle, M. L. Ruffo and F. E. Below (2013) Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal* 105:161-170, <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352>

Bermúdez, F. L., & Díaz, M. (1992). Génesis y consecuencias erosivas de las lluvias de alta intensidad en la región mediterránea. Cuadernos de investigación geográfica: Geographical Research Letters, (18), 7-28. <https://Dialnet-GenesisYConsecuenciasErosivasDeLasLluviasDeAltaInt-81497.pdf>

Cancino, S.J., Rocandio, R. M., Álvarez, V. P., Hernández, G.F. J., Limas, M. A. G., & Garay, M. J. R. (2022). Rendimiento y valor nutritivo del forraje y ensilado de maíces nativos en condiciones subtropicales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(5), 873-881

Celaya-Michel, H., & Castellanos-Villegas, A. E. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343-356.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792011000300343&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300343&lng=es&tlng=es).

CIMMYT. (2019). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo Maíz para México, plan estratégico 2030.

<https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/20219/60937.pdf>

Chan, C. M., Moguel, O. Y., Gallegos, T. S., Chel, G. L., & Betancur, A. D. (2021).

Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México.

*Biotechnia*. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i2.1334>.

Ciampitti, I. A. y García, O. F. (2008). Requerimientos nutricionales absorbidos y

extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II Hortalizas y forrajes. IPNI Instituto internacional de nutrición de plantas. Argentina.

[http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/\\$FILE/AA%2012.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/$FILE/AA%2012.pdf)

CONABIO. (2020). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Grupo Maduración tardía

<https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-Maduracion>

CONABIO. (2022). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Razas de maíz en México.

<https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>.

CONAHCYT. (2023). Consejo nacional de humanidades, ciencias y tecnología.

Maíz. <https://conahcyt.mx/cibiogem/index.php/maiz>

- Cruzate, G. A., & Casas, R. (2009). Extracción de nutrientes en la agricultura argentina. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 44, 21-26.  
[http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D0F05E377CB382B68525799500757379/\\$FILE/21.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D0F05E377CB382B68525799500757379/$FILE/21.pdf)
- Cueto-Wong, J. A., Reta-Sánchez, D. G., Barrientos-Ríos, J. L., González-Cervantes, G., & Salazar-Sosa, E. (2006). Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Fitotecnia Mexicana*, 29 (Especial\_2), 97-97.  
<https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/1097/1030>
- Delgado, R., Núñez, U. M. C., & Velásquez, L. (2004). Acumulación de materia seca, absorción de Nitrógeno, Fósforo y Potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la Fertilización Nitrogenada. *Agronomía Tropical*, 54(4), 371-390.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2004000400002&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000400002&lng=es&tlng=es).
- Dobermann, A. (2005) Procedure for measuring dry matter, nutrient uptake, yield and components of yield in maize. Department of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, USA. 11 p.  
<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=56a89ca57edd3b3618b45aa&assetKey=AS%3A322455225208832%401453890724796>
- García, C. J. M., Castro, P. C. A., & Moreno, M. G. M. (2021). Estudio de la fertilización química y orgánica y su efecto en el cultivo de Maíz (*Zea*

- mays.), en una comuna. *Alfa*, 5(14), 145–152.  
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.105>
- Gavilánez-Luna, F. C., & Gómez-Vargas, M. J. (2022). Definición de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio para una máxima producción del maíz híbrido Advanta 9313 mediante el diseño central compuesto. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 23(1).  
[https://doi.org/10.21930/rcta.vol23\\_num1\\_art:2225](https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2225)
- Gual-Díaz, M., y Rendón-Correa, A. (2017). Los bosques mesófilos de montaña de México. *Agroproductividad*, 10(1), 3–9.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/249320709.pdf>
- Guillén-Pérez, L. A., Sánchez-Quintanar, C., Mercado-Domenech, S., & Navarro-Garza, H. (2002). Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. *Agrociencia*, 36(3), 377-387.  
<https://www.redalyc.org/pdf/302/30236311.pdf>
- INEGI. (2010). Instituto nacional de estadística y geografía. Compendio de información geográfica municipal. Totontepec Villa de Morelos Oaxaca.  
[www.inafed.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC\\_Enciclopedia](http://www.inafed.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia)
- Lazcano-Ferrat, I. (2003). Cal agrícola: Conceptos básicos para la producción de cultivos. <https://vecafo.com/files/cal-agricola-conceptos-basicos-para-la-produccion-de-cultivos.pdf>
- López, M. J. D., Díaz, E. A., Martínez, R. E., & Valdez, C. R. D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*, 19 (4), 293-299.  
<https://www.redalyc.org/pdf/573/57319401.pdf>

- Lozano-Trejo, S., Olazo-Aquino, J., Pérez-León, M. I., Castañeda-Hidalgo, E., Díaz-Zorrilla, G. O., y Santiago-Martínez, G. M. (2020). Infiltración y escurrimiento de agua en suelos de una cuenca en el sur de México. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 57-66. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.443>
- Marschner, H. (2011). Nutrición mineral de plantas superiores de Marschner. Prensa académica.
- Martínez, C. M., Ortiz, P. R., & Raigón, M. D. (2017). Contenido de fósforo, potasio, zinc, hierro, sodio, calcio y magnesio, análisis de su variabilidad en accesiones cubanas de maíz. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 92-101. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362017000100012&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000100012&lng=es&tlng=es).
- Martínez, E., & Colmenares, C. (2012). Efecto del encalado y el fósforo sobre el rendimiento de materia seca del maíz (*Zea mays* L.) y la disponibilidad de P, en un Ultisol. *Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 12(2). <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26014>
- Martínez-Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Cardoso, G. J. C., Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Vásquez-Alarcón, A., y Villegas-Aparicio, Y. (2022). Efecto de aminoácidos foliares en la extracción y remoción de nutrientes en maíz. *Fitotecnia mexicana*, Vol. 45(2), 173-181. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.2.173>
- Martínez-Gutierrez, A. V., de Resende, C. G. M. Silva, D. C. Martins, E. P. Simão, S. G. Moreira and J. P. C. Ferreira (2018) Uptake and exportation of micronutrients by transgenic cultivars of maize under no-tillage in the



Brazilian Cerrado. *Journal of Agricultural Science* 10:304-314,  
<https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p304>

Martínez-Reyes, L., Aguilar, J. C. E., Carcaño, M. M. G., Galdámez, G. J., Gutiérrez, M. A., Morales, C. J. A., Martínez, A. F. B., Llaven, M. J., & Gómez, P. E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 26-37.  
<https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>

Massieu, Y., y Chapela, F. (2002). Acceso a recursos biológicos y biopiratería en México. *El Cotidiano*, 19(114), 72–87.  
<https://www.redalyc.org/pdf/325/32511408.pdf>

Mesa-Fuquen, E., Diego, L., Molina, L., Rincón, N., Ruíz-Álvarez, E., Fontanilla-Díaz, C. A., & Fernández-Padilla, C. A. (2019). Estructuras factoriales aumentadas en ensayos de investigación: una aplicación en palma de aceite.  
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12790/12685>

Moreno, A., Narro, L., Vanegas, H., Molina, C., Ospina, J., & Agudelo, M. (2008). Respuesta del maíz a la fertilización química en la zona cafetera central de Colombia.  
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/181/1/arc059%2801%2975-80.pdf>

- NASA. (2024). National Aeronautics and Space Administration. The global precipitation measurement mission (GPM). Washington, D. C., USA.  
<https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>
- Qaswar, M., Dongchu, L., Jing, H. (2020). Interaction of liming and long-term fertilization increased crop yield and phosphorus use efficiency (PUE) through mediating exchangeable cations in acidic soil under wheat–maize cropping system. *Sci Rep* **10**, 19828. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76892-8>
- Ramírez - Aragón, A. C. (2023). CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y AGRONÓMICA DEL MAÍZ OLOTON Y SU RESPUESTA EN FUNCIÓN A DIFERENTES FERTILIZACIONES. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.  
[http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/6801/1/1\\_TESIS\\_CARAC\\_FENOTIPICA\\_AGOSTO\\_23.pdf](http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/6801/1/1_TESIS_CARAC_FENOTIPICA_AGOSTO_23.pdf)
- Remache, M., Carrillo, M., Mora, R., Durango, W., & Morales, F. (2017). Absorción de macronutrientes y eficiencia del N, en híbrido promisorio de maíz. patricia pilar, ecuador. *Agronomía Costarricense*.  
<https://doi.org/10.15517/rac.v41i2.31303>
- Reta, S. D. G., Cueto, W. J. A., Gaytán, M. A., & Santamaría, C. J. (2007). Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura técnica en México*, 33(2), 145-151.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172007000200004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000200004&lng=es&tlng=es).

- Rodríguez-Larramendi, L., Guevara-Hernández, F., Ovando-Cruz, J., Marto-González, J. R., & Ortiz-Pérez, R. (2016). Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) en comunidades de la región Frailesca de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 137-145. <https://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1404.6967>
- Sadzawka, R. A., Grez, Z. R., Carrasco, R. M. A., y Mora, G. M. L. (2004). Métodos de análisis de tejidos vegetales. Comisión de normalización y acreditación sociedad chilena de la ciencia del suelo. [http://www.nutricaoedplantas.agr.br/site/downloads/unesp\\_jaboticabal/metodoanalisechile\\_extensao.pdf](http://www.nutricaoedplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/metodoanalisechile_extensao.pdf)
- Sadzawka, R. A., Carrasco, R. M. A., Demanet, F. R., Flores, P. H., Grez, Z. R., Mora, G. M. L., y Nearnan, A. (2007). Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda Edición. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA N° 40, Santiago, Chile. <https://www.schcs.cl/wp-content/uploads/2018/11/Analisi-de-tejidos-vegetales.pdf>
- SAS Institute. (2024). The SAS system for Windows user's guide. Release 9.4. SAS Institute, Cary, NC.
- Salazar-Sosa, E., Trejo-Escareño, H. I., López-Martínez, J. D., Vázquez-Vázquez, C., Serrato-Corona, J., Orona-Castillo, I., & Flores-Márquez, J. P. (2010). Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 381-390. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792010000400010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000400010&lng=es&tlng=es).

- Sánchez, O. I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Revista Reduca* (Biología) Serie botánica), Vol.7 (2),151-171.  
<https://revistareduca.es/index.php/biologia/article/viewFile/1739/1776%0A%0A>
- Setiyono, T. D., Walters, D. T., Cassman, K. G., Witt, C., & Dobermann, A. (2010). Estimating maize nutrient uptake requirements. *Field Crops Research*, 118(2), 158-168.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429010001309>
- SIAP. (2023). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Producción agrícola. Avance de siembras y cosechas.  
[https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/)
- SIAP. (2024). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Producción agrícola. Avance de siembras y cosechas.  
[https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/)
- Silva, C. G. M., Resende, Á. V. D., Gutiérrez, A. M., Moreira, S. G., Borghi, E., & Almeida, G. O. (2018). Macronutrient uptake and export in transgenic corn under two levels of fertilization. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(12), 1363-1372. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001200009>
- Turrent-Fernández, A. y Espinosa-Calderón, A. (2022). Fijación biológica de nitrógeno atmosférico por la raza nativa de maíz Olotón de la Sierra Mixe, Oaxaca. *La jornada del Campo*.

<https://www.jornada.com.mx/2022/03/19/delcampo/articulos/fijacion-nitrogeno-atmosferico.html>.

Turrent-Fernández, A., Wise, T., & Garvey, E. (2012). Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mexican Rural Develop*, 1-36.

Turrent, F. A., Serratos, H. J. A., Mejía, A. H. & Espinosa, C. A. (2009). Propuesta de cotejo de impacto de la acumulación de transgenes en el maíz (*Zea mays* L.) nativo mexicano. *Agrociencia*, 43(3), 257-265. Recuperado en 11 de agosto de 2024, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952009000300005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000300005&lng=es&tlng=es).

Zamudio, G. B., Soria R.J., Erasto, R. E., Inurreta, A. H. D., de la O, O.M., Juárez, F.F., González, A. M., Cárdenas, A.L., Tasayco, M. P. S., Martínez, G.A., Tadeo, R. M., Espinosa, C. A. 2023. Tecnología racional y rentable para la producción de maíz en el Estado de México. Folleto Técnico. INIFAP.

Zamudio-González, B., Félix-Reyes, A., Martínez-Gutiérrez, A., Galvão, J. C. C., Espinosa-Calderón, A., & Tadeo-Robledo, M. (2018). Producción de híbridos de maíz con urea estabilizada y nutrición foliar. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(6), 1231-1244. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342018000601231&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342018000601231&script=sci_arttext)

Van Deynze, A., Zamora, P., Delaux, P.M., Heitmann, C., Jayaraman, D., Rajasekar, S., ... & Bennett, A.B. (2018). La fijación de nitrógeno en una raza local de maíz está respaldada por una microbiota diazotrófica asociada al mucílago. *PLoS biology*, 16 (8), e2006352.

Volverás-Mambuscay, B., Campo-Quesada, J. M., Merchancano-Rosero, J. D., & López-Rendón, J. F. (2020). Propiedades físicas del suelo en el sistema de siembra en wachado en Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 743-760. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v31n3/2215-3608-am-31-03-00731.pdf>.

## **CAPITULO IV**

**EXTRACCIÓN DE MACRO Y MICRO NUTRIENTES EN DOS VARIEDADES  
DE MAÍZ OLOTÓN BAJO DIFERENTES MANEJOS DE FERTILIZACIÓN**

**EXTRACTION OF MACRO AND MICRO NUTRIENTS IN TWO VARIETIES OF  
OLOTON CORN UNDER DIFFERENT FERTILIZATION MANAGERMENTS**

## Resumen

La interacción de fertilización química + orgánica, provee nutrientes necesarios para una buena producción agrícola. Beneficiando a la parte edáfica y vegetal de un cultivo. Conocer su eficacia a través de métodos de extracción nutrimental, puede ayudar a seleccionar una fertilización más adecuada, para el cultivo de maíz Olotón, tomando en cuenta las características edafoclimáticas de la comunidad de Totontepec Villa de Morelos, Mixe, Oaxaca. El objetivo de este trabajo fue estimar la extracción de macro y micro nutrientes en dos variedades de maíz Olotón bajo diferentes manejos de fertilización combinada. Se implementó un diseño en parcelas subdivididas factorial: factor A: dos variedades de la raza Olotón, factor B: enmiendas agrícolas y factor C: fertilización química. Se añadieron 4 tratamientos adicionales de fertilización (para cada variedad de maíz), teniendo un total de 40 tratamientos, con tres repeticiones cada uno. Se realizaron análisis de varianza y separación de medias Duncan ( $P \leq 0.05$ ) para los 32 tratamientos factorial y contraste ortogonal en tratamientos adicionales. La aplicación de estiércol bovino favoreció la extracción total de macronutrientes en maíz Olotón. La extracción de macro y micro elementos fue mayor en semilla de maíz blanco, destacando N  $124.31 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $38.61 \text{ kg ha}^{-1}$ , Ca  $66.79 \text{ kg ha}^{-1}$ , Na  $87.44 \text{ g ha}^{-1}$ , B  $95.28 \text{ g ha}^{-1}$  y Mn  $229.68 \text{ g ha}^{-1}$ . Los resultados de tratamientos adicionales mostraron diferencias significativas con respecto a los contrastes de semilla amarilla vs semilla blanca, destacando el maíz blanco con mayor contenido de macronutrientes.

**Palabras clave:** Edáfica, extracción de nutrientes, fertilización combinada, maíz Olotón.



## **Abstrac**

The interaction of chemical + organic fertilization provides the necessary nutrients for good agricultural production, benefiting both the soil and plant parts of a crop. Knowing its effectiveness through nutrient extraction methods can help select a more appropriate fertilization for the Olotón corn crop, taking into account the edaphoclimatic characteristics of the community of Totontepec Villa de Morelos, Mixe, Oaxaca. The objective of this work was to estimate the extraction of macro and micro nutrients in two varieties of Olotón corn under different combined fertilization management. A factorial subdivided plot design was implemented: factor A: two varieties of the Olotón race, factor B: agricultural amendments and factor C: chemical fertilization. Four additional fertilization treatments were added (for each variety of corn), for a total of 40 treatments, with three repetitions each. Analysis of variance and Duncan mean separation ( $P \leq 0.05$ ) were performed for the 32 factorial treatments and orthogonal contrast in additional treatments. The application of bovine manure favored the total extraction of macronutrients in Olotón corn. The extraction of macro and micro elements was higher in white corn seed, highlighting N  $124.31 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $38.61 \text{ kg ha}^{-1}$ , Ca  $66.79 \text{ kg ha}^{-1}$ , Na  $87.44 \text{ g ha}^{-1}$ , B  $95.28 \text{ g ha}^{-1}$  and Mn  $229.68 \text{ g ha}^{-1}$ . The results of additional treatments showed significant differences with respect to the contrasts of yellow seed vs white seed, highlighting white corn with a higher macronutrient content.

**Index words:** Soil, nutrient extraction, combined fertilization, Olotón corn.

## 4.1 Introducción

En México, el cultivo más representativo es el maíz (*Zea mays* L.), este cereal es la base fundamental de la alimentación nacional, su consumo anual per cápita es de 196.4 kg (SADER, 2021). Su importancia en el ámbito económico, social y cultural, radica en los procesos de selección y adaptación natural que ha sufrido con el paso de los años. La geografía en la República Mexicana, comprueba que las diferencias ambientales contribuyen al patrón general de su diversidad (González et al., 2013). Mismos que le han otorgado ser el centro de origen de esta semilla (Cuevas, 2014). La presencia de 64 razas nativas en su área territorial, lo hacen acreedor de un gran tesoro genético, considerando a Oaxaca uno de los estados con mayores integrantes de este total (35 especies nativas) (CONABIO, 2022).

Los habitantes de la sierra mixe oaxaqueña obtienen del sistema milpa sus principales alimentos, presentando una relación significativa del consumo de maíz con el sistema familiar-productivo (Ramírez-Maces, 2024). En la comunidad de Totontepec, Villa de Morelos, Mixe, se cultiva el maíz Olotón, el cual forma parte de las razas nativas presentes en Oaxaca.

Esta planta cuenta con raíces adventicias las cuales generan un gel denominado mucilago, en el cual se alojan diversos grupos de bacterias que fijan el oxígeno

de la atmosfera (Turrent-Fernández y Espinosa-Calderón, 2022). Realiza una simbiosis entre ellas y la planta, dando como resultado una asimilación de N.

Una de las actividades más indispensables para el buen desarrollo y rendimiento del cultivo es la fertilización (Moreno et al, 2008). Sin embargo, la mayoría de los estudios se relacionan con fertilización química en semillas mejoradas (Gavilánez-Luna & Gómez-Vargas, 2022). La planta extrae del suelo cantidades diversas de nutrientes durante su ciclo de vida, por lo cual realizar extracción de nutrientes en planta, ayuda a identificar la acumulación de nutrientes en sus órganos (Martínez- Gutiérrez et al., 2022).

Los daños causados por el uso excesivo de fertilización química pueden ser corregidos a través de estrategias más amigables con el medio ambiente. Aunque se sugiere reemplazar completamente los fertilizantes químicos por alternativas más convenientes, no se han tenido respuestas positivas, específicamente para el uso independiente de material orgánico en el suelo (Remache et al., 2017; Calvache & Valle 2021; Omaña y Peña, 2015). Reducir la dosis de fertilización química debe ser evaluada y aplicada gradualmente, por lo cual el objetivo del trabajo fue evaluar la extracción de macro y micronutrientes en dos variedades de maíz Olotón, bajo diferentes manejos de fertilización combinada.

## 4.2 Materiales y métodos

### 4.2.1 Área de estudio

El trabajo experimental se realizó en la comunidad de Totontepec Villa de Morelos, en la Región Sierra Norte del Distrito Mixe del estado de Oaxaca (1840 msnm), durante el ciclo agrícola primavera-invierno de 2022. La comunidad cuenta con un clima templado húmedo y una extensión territorial de 318.95 km<sup>2</sup> (Figura 4.1), del cual tan solo el 4.67% del territorio es destinado para actividad agrícola (INEGI, 2010). Los rangos de temperatura mínima, máxima y distribución de lluvias durante el año de trabajo se muestran en la figura 4.2 (NASA, 2024).

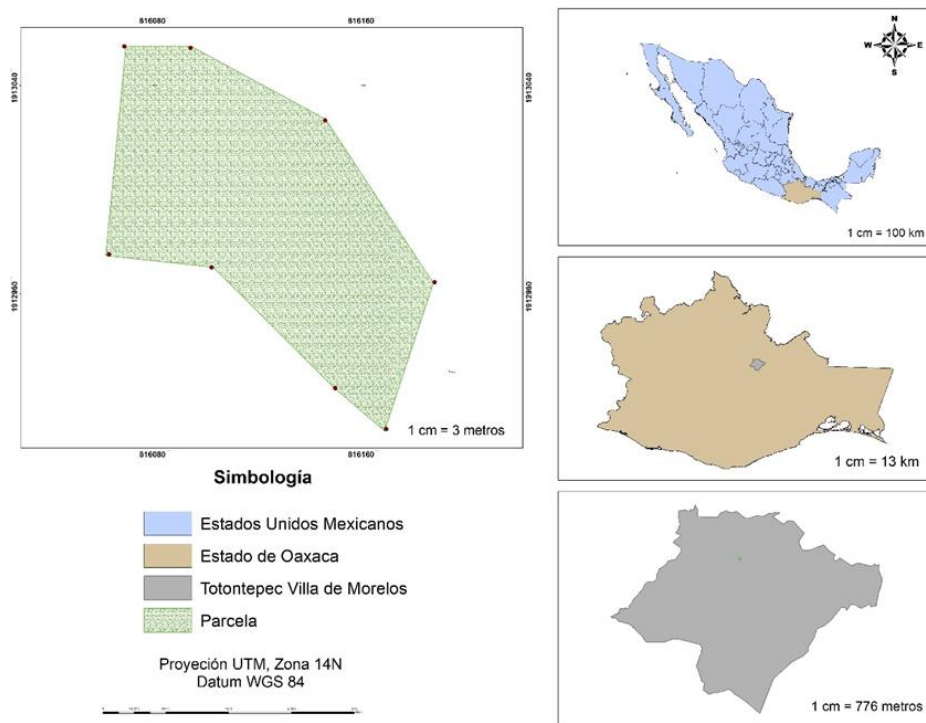


Figura 4.1 Ubicación geográfica de parcela experimental dentro de la comunidad de Totontepec, Oaxaca. Programa ArcGIS.

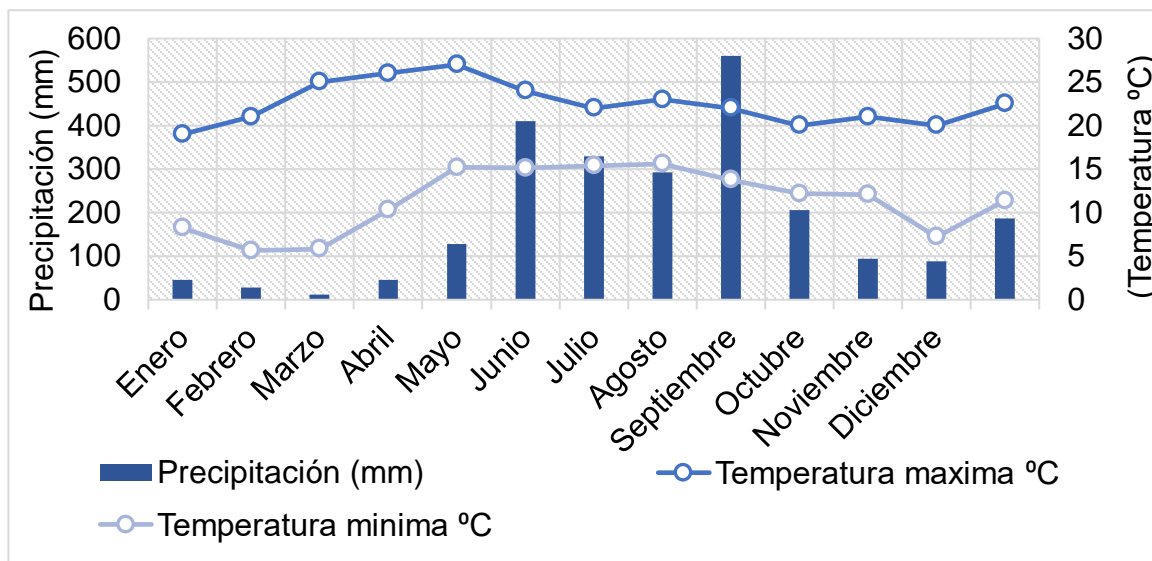


Figura 4.2 Datos de precipitación (mm), temperatura máxima y temperatura mínima, mensualmente en la comunidad de Totontepec Mixe en el año 2022 (NASA POWER Project Team, 2024).

Previo a la siembra se colectaron muestras de suelo, para determinar las condiciones de fertilidad (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1 Características químicas de suelo en parcela experimental, a profundidad de 0-20 cm, antes de las actividades de fertilización y siembra. Ciclo agrícola P-I, 2022.

pH	MO	N-NO <sub>3</sub>	P <sup>1</sup>	K	S	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CIC	V <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
Agua	%	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			-----		--- % ---		
5.0	8.6	14.1	31.0	72.6	2.8	0.30	0.13	1.6	1.98	2.67	23.3	59.2

Notas: <sup>1</sup>Método de Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945). <sup>2</sup>Saturación de base. <sup>3</sup>Saturación de aluminio. CIC= Capacidad de intercambio catiónico. Micronutrientes (mg dm<sup>-3</sup>), Parcela 2: B =0.11; Cu = 0.35; Fe = 24.7; Mn = 10.7; Zn = 0.59.

#### 4.2.2 Manejo del experimento en campo

La preparación del área experimental consistió en realizar actividades en el suelo a través de barbecho y surcado con tracción animal (yunta). Antes de la siembra se aplicó cal dolomita ( $(CaMg)CO_3)_2$ ) y el estiércol seco en la línea marcada por los surcos (diseño experimental). La siembra se realizó el 26 de mayo de 2022, bajo la técnica de cajete (tipo de siembra en forma de cazuela de aproximadamente 30-40cm de diámetro), con distancia de 0.90 m entre surco y matas (cuatro plantas).

Se utilizaron dos poblaciones de maíz Olotón (amarillo y blanco) provenientes de la misma población, selección del ciclo agrícola anterior. Se respetó una densidad de siembra de aproximadamente 37,500 plantas por hectárea. Posteriormente la fertilización química se aplicó durante las etapas vegetativas de V4 a V6 utilizando urea (N), Superfosfato de calcio triple ( $P_2O_5$ ), cloruro de potasio ( $K_2O$ ). Posterior a la aplicación de fertilizantes, se realizó el aporque en las plantas (acumulación de tierra en parte inferior de la caña) para la incorporación de los fertilizantes y evitar problemas de acame.

#### 4.2.3 Tratamientos y diseño experimental

Se estableció un diseño experimental en parcelas divididas con arreglo factorial  $2 \times 4 \times 4 \times 3$ . Factor A: Población de maíz Olotón (amarillo y blanco), factor B: Aplicación de enmiendas agrícolas (Sin aplicación, encalado, estiércol y encalado + estiércol) y factor C: Fertilización química (Sin aplicación, Urea, superfosfato de calcio triple y Urea + superfosfato de calcio triple). De la estructura factorial básica

se evaluaron 16 tratamientos y añadieron de forma separada 4 tratamientos adicionales bajo el mismo diseño experimental (Cuadro 4.2). Resultando cuarenta tratamientos, cada uno con tres repeticiones. Las 120 parcelas experimentales se constituyeron de seis surcos por seis metros de longitud y se tomaron los dos surcos centrales para la recolección de muestras.

Cuadro 4.2 Tratamientos establecidos en parcela según el arreglo factorial y sus respectivos niveles, incluyendo tratamientos adicionales y sus respectivas dosis ( $t\ ha^{-1}$  y  $kg\ ha^{-1}$ ).

Tratamientos	Parcela grande			Parcela chica			
	Código	Estiércol $t/ha^{-1}$	Cal $t/ha^{-1}$	Código	N $kg/ha^{-1}$	$P_2O_5$ $kg/ha^{-1}$	$K_2O$ $kg/ha^{-1}$
T1	1	0	0	1	0	0	-
T2	1	0	0	2	0	80	-
T3	1	0	0	3	60	0	-
T4	1	0	0	4	60	80	-
T5	2	0	2	1	0	0	-
T6	2	0	2	2	0	80	-
T7	2	0	2	3	60	0	-
T8	2	0	2	4	60	80	-
T9	3	3	0	1	0	0	-
T10	3	3	0	2	0	80	-
T11	3	3	0	3	60	0	-
T12	3	3	0	4	60	80	-
T13	4	3	2	1	0	0	-
T14	4	3	2	2	0	80	-
T15	4	3	2	3	60	0	-
T16	4	3	2	4	60	80	-
Fertilizaciones adicionales							
A1	Adicional	3	2	1	60	80	50
A2	Adicional	3	2	2	60	80	100
A3	Adicional	3	2	3	180	240	50
A4	Adicional	6	4	4	180	240	50

N: Urea con 46% de nitrógeno, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: superfosfato triple con 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O: cloruro de potasio con 60% K<sub>2</sub>O, dosis aplicadas en kg ha<sup>-1</sup> (60,80,50,100,180,240), dosis aplicadas en t ha<sup>-1</sup> (12,3,4,6).

#### 4.2.4 Variables de campo

En la etapa R6 (etapa vegetativa de maduración en maíz) del cultivo se recolecto de manera aleatoria una planta por área útil (120 plantas), cortando al ras de suelo con ayuda de pinzas para jardinería y costales de polipropileno. Se realizo la separación de los órganos de las plantas en mazorca, tallo y hoja (hojas y totomoxtle), se colocaron en bolsas y sometieron a 65°C en estufa de aire forzado, posteriormente se pesaron en balanza electrónica marca IBN, modelo B-5P (Dóberman, 2005). Se registró el peso de cada órgano de la planta y posteriormente se extrapolo por hectárea, la materia seca de hoja (MSH), materia seca de tallo (MST) y materia seca de grano (MSG). Con la sumatoria de estos valores se determinó la producción de materia seca total (MSTOTAL) de la planta. Para el índice de cosecha (IC) se determinó con el peso de MS del grano dividiéndolo por la MS total de planta completa, siguiendo la metodología descrita por Dóberman (2005).

Una vez finalizado el proceso de toma de datos, con apoyo de un molino tipo Wiley (Wiley Mill, modelo 4, acero al carbono) se pulverizaron las muestras, hasta que su estructura les permitiera pasar por un tamiz de 2mm (360 muestras).



#### 4.2.5 Variables de laboratorio

Se realizaron determinaciones de nutrientes en los diferentes órganos de la planta de maíz, en uno de los laboratorios de análisis de suelos y tejido vegetal, del edificio de suelos y recursos naturales, de la Universidad Autónoma Chapingo del estado de México.

A través de una mezcla di ácida 4:1 de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y ácido perclórico ( $HClO_4$ ) respectivamente, se realizó la digestión de las muestras. Al salir de la campana de gases se aforó a 50ml con agua destilada. Posteriormente se realizó la lectura con espectrofotómetro de absorción atómica, para magnesio, calcio, zinc, cobre y manganeso (Galicia et al., 2012; Sadzawka et al., 2007; Sadzawka et al., 2004).



Figura 4.3 Trabajo de laboratorio, extracción de nutrientes en dos poblaciones de maíz Olotón, en la comunidad de Totontepec, Oaxaca. a) Digestión de tejido

vegetal, b) Determinación de nitrógeno a través de a través del método Kjeldahl (destilación y titulación manual).

Para el caso de boro y fósforo se utilizó el equipo denominado fotocolorímetro, siguiendo el método de colorimetría con asometina-H y colorimetría (nitrovanado-molibdato) respectivamente. Para sodio y potasio por flamometría por aspiración directa y nitrógeno a través del método Kjeldahl (destilación y titulación manual) (Sadzawka et al., 2007; Sadzawka et al., 2004). Se realizaron análisis matemáticos para la transformación de los datos de laboratorio dependiendo la metodología desarrollada, para llegar a la concentración de cada nutriente.

Para la transformación de fósforo y potasio, se multiplico la concentración por 2.29 y 1.20 respectivamente. Se convirtieron en  $\text{kg ha}^{-1}$  (N, P, K, Ca, Mg) y  $\text{g ha}^{-1}$  (Na, Cu, Mn, Zn, Bo) utilizando la siguiente formula:  $EN=(CN \times MS)/1000$ . Donde EN es igual a extracción de nutriente y CN es la concentración de nutrientes en la MS de cada parte de la planta, ambos valores representados en  $(\text{g kg}^{-1})$  y MS es la materia seca del órgano de la planta  $(\text{kg ha}^{-1}) /1000$ .

#### 4.2.6 Análisis estadístico

Para los 32 tratamientos generados por la estructura factorial básica, se sometiendo las variables a un análisis de varianza y comparación de medias

Duncan ( $P \leq 0.05$ ). Para los 4 tratamientos adicionales se utilizó un análisis de contrastes ortogonales (SAS Institute, 2024; Mesa- Fuquen et al., 2019).

### **4.3 Resultados y discusión**

#### 4.3.1 Materia seca e índice de cosecha

Materia seca total mostro diferencia significativa, en parcela grande y parcela chica, destacando la aplicación de estiércol con  $16.69 \text{ t ha}^{-1}$  y aplicación de fósforo con  $15.69 \text{ t ha}^{-1}$  de MS. La aplicación de estiércol bovino en altas dosis puede sustituir gradualmente la aplicación de fertilización química en el suelo, para el cultivo de maíz, mostrando valores superiores de materia seca a los reportados por Figueroa-Viramontes et al., en 2010.

La variable índice de cosecha se comportó similar en parcela grande, chica y color de semilla, teniendo rangos de 0.20 a 0.27, los cuales coinciden con lo reportado por Chan y colaboradores (2021). Sin embargo, la variación del IC depende de factores ambientales y de su interacción con el genotipo, datos reportados destacan valores de 0.43 a 0.52 (Álvarez, 2015). La acumulación de materia seca en planta es importante en el análisis de extracción nutrimental en macronutrientes, dependiendo directamente uno del otro (Delgado, Núñez & Velásquez, 2004).

Cuadro 4.3 Medias de variables materia seca e índice de cosecha en dos variedades de color del maíz Olotón, bajo la aplicación de fertilización combinada.

Fuente de variación	MS t ha <sup>-1</sup>	IC %
<b>Parcela grande</b>		
Testigo	12.10 c	0.27 a
Encalado	14.09 b	0.26 a
Estiércol	16.69 a	0.21 b
Encalado + estiércol	14.09 b	0.20 b
<b>Parcela chica</b>		
Fósforo (P)	15.69 a	0.23 a
Nitrógeno (N)	14.44 b	0.24 a
N+P	14.25 b	0.23 a
<b>Color</b>		
Amarillo	14.17 a	0.24 a
Blanco	14.60 a	0.23 a

Medias con la misma letra en la columna no son estadísticamente significativas (Duncan 0.05%); MS: materia seca; IC: índice de cosecha; Testigo: Sin aplicación de producto.

#### 4.3.2 Extracción de macro y micro nutrientes

La extracción de macronutrientes por órgano de la planta en los treinta y dos tratamientos evaluados, se muestra en el Cuadro 4.4, mostrando diferencia significativa en la extracción de N, Ca y Mg en hoja, bajo la aplicación de enmiendas. Para parcela chica (fertilización química), la aplicación de fósforo

destaco en la extracción de N, K, y Mg (44.80, 11.60, 7.58 kg ha<sup>-1</sup>). Con respecto al color de semilla, en hoja de maíz amarillo, acumuló más macronutrientes.

Para la extracción de macronutrientes en tallo, mostró diferencia significativa en relación a todas las enmiendas aplicadas, destacando estiércol. Para parcela chica solo fue diferente la aplicación de fósforo en la extracción de N y P (34.56 y 19.82 kg ha<sup>-1</sup>). La aplicación de fósforo en suelos ácidos ayuda a retener el calcio y a la activación de algunos elementos como el nitrógeno (Ula F, 2009). La variable color de semilla fue diferente para la extracción de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y calcio. Las extracciones resultantes de calcio en hoja y tallo de parcela grande, se relacionan con el efecto residual del encalado (Ula F, 2009). Mostrando una gran diferencia de contenido (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 25.61 amarillo a 9.20 blanco) (Ca: 47.15 blanco a 1.98 amarillo).

El grano muestra contenido muy bajo de calcio y magnesio para ambos colores de semilla. Sin embargo, son rangos menores a los evaluados por Chí-Sánchez y colaboradores (2021) en diferentes semillas nativas de Yucatán. Solo la aplicación de fertilizante químico en parcela chica mostro diferencia en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (18.78) y K<sub>2</sub>O (10.52) con respecto al resto.

La relación N-P es creciente durante las primeras etapas de crecimiento del maíz, sin embargo, decrece conforme se acercan las etapas de maduración, lo que puede ser motivo de las bajas cantidades encontradas en la etapa vegetativa R6.

Cuadro 4.4 Medias de extracción de macronutrientes en órganos de la planta (hoja, tallo, grano) de maíz Olotón, cosecha al final del ciclo agrícola P-I 2022, en función a la aplicación de enmiendas y fertilización química.

Fuente de variación	Macroelementos					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O Kg ha <sup>-1</sup>	Ca	Mg	
<b>Parcela grande</b>						
Hoja	Testigo	36.43 b	6.58 a	10.63 a	19.89 b	6.00 b
	Encalado (En)	36.87 b	7.01 a	10.48 a	26.10 a	6.93 ab
	Estiércol (Es)	47.97 a	7.77 a	11.29 a	22.01 ab	7.67 a
	Interacción (En+Es)	39.26 b	7.29 a	10.07 a	25.10 a	7.32 a
<b>Parcela chica</b>						
	Fósforo (P)	44.80 a	7.53 a	11.60a	23.81 a	7.58 a
	Nitrógeno (N)	38.79 bc	7.56 a	10.67 ab	24.27 a	6.85 ab
	Interacción (N+P)	42.14 ab	7.01 a	11.10 ab	24.39 a	7.40 a
<b>Color</b>						
	Amarillo	37.07 b	12.28 a	6.12 b	27.28 a	5.81 b
	Blanco	43.20 a	2.05 b	15.12 a	19.27 b	8.15 a
<b>Parcela grande</b>						
Tallo	Testigo	21.94 c	13.21 c	9.27 b	16.35 b	3.31 b
	Encalado (En)	24.20 bc	16.82 b	12.51 ab	24.79 ab	4.30 b
	Estiércol (Es)	31.05 ab	21.27 a	17.73 a	36.88 a	7.70 a
	Interacción (En+Es)	34.81 a	18.30 b	17.12 a	20.17 b	6.39 a
<b>Parcela chica</b>						
	Fósforo (P)	34.56 a	19.82 a	16.11 a	24.12 a	5.67 a
	Nitrógeno (N)	23.97 b	16.18 b	13.97 a	27.29 a	5.81 a
	Interacción (N+P)	26.61 ab	16.19 b	14.36 a	26.22 a	5.56 a
<b>Color</b>						
	Amarillo	27.95 a	25.61 a	15.92 a	1.98 b	5.96 a
	Blanco	28.05 a	9.20 b	12.39 a	47.15 a	4.89 a
<b>Parcela grande</b>						
Grano	Testigo	47.18 ab	13.30 b	9.82 a	1.42 ab	0.76 a
	Encalado (En)	56.47 a	17.87 a	9.81 a	1.77 a	0.71 a
	Estiércol (Es)	54.40 a	16.88 a	9.31 a	1.57 ab	0.59 a
	Interacción (En+Es)	44.08 b	12.69 b	7.24 a	1.14 b	0.53 a

<b>Parcela chica</b>					
Fósforo (P)	49.12 a	14.13 b	8.96 ab	1.43 a	0.61 a
Nitrógeno (N)	55.77 a	18.78 a	10.52 a	1.55 a	0.75 a
Interacción (N+P)	51.29 a	14.20 b	9.47 ab	1.51 a	0.59 a
<b>Color</b>					
Amarillo	48.01 a	21.23 a	6.99 b	2.59 a	0.75 a
Blanco	53.06 a	9.14 b	11.09 a	0.36 b	0.55 a

Medias con la misma letra en la columna no son estadísticamente significativas (Duncan 0.05%); Testigo: Sin aplicación de producto.

Para extracción de micronutrientes (Cuadro 4.5) en hoja, la aplicación de estiércol contribuyó al aumento de extracción de sodio y manganeso (34.54 y 27.40 g ha<sup>-1</sup> respectivamente). Para la fertilización química con fósforo aumento sodio 32.99 g ha<sup>-1</sup> y fertilización de nitrógeno en manganeso con 26.72 g ha<sup>-1</sup>. Para el color de semilla la diferencia fue significativa con respecto a boro, zinc y magnesio, existiendo mínima presencia de boro en maíz amarillo y zinc en maíz blanco.

Cuadro 4.5 Medias de extracción de micronutrientes en órganos de la planta (hoja, tallo, grano) de maíz Olotón, cosecha al final del ciclo agrícola P-I 2022, en función a la aplicación de enmiendas y fertilización química.

	Fuente de variación	Microelementos				
		Na	B	Zn	Mn	Cu
				g ha <sup>-1</sup>		
Hoja	<b>Parcela grande</b>					
	Testigo	27.15 b	18.92 a	22.66 a	19.33 b	1.40 a
	Encalado (En)	27.66 b	21.64 a	26.62 a	20.83 b	0.38 a
	Estiércol (Es)	34.54 a	20.54 a	24.09 a	27.40 a	1.82 a
	(En+Es)	30.72ab	17.42 a	24.98 a	22.22 b	0.64 a
	<b>Parcela chica</b>					
	Fósforo (P)	32.99 a	19.07 a	25.60 a	23.30 ab	1.17 a
	Nitrógeno (N)	30.85 ab	19.95 a	28.49 a	26.72 a	1.50 a
	(N+P)	30.24 ab	21.43 a	24.03 a	22.52 b	0.96 a
	<b>Color</b>					
Amarillo	30.96 a	7.81 b	49.15 a	18.37 b	0.00 b	
Blanco	29.07 a	31.46 a	0.039 b	26.51 a	2.12 a	

	<b>Parcela grande</b>					
	Testigo	26.66 c	27.78 b	12.64 a	51.54 b	2.53 a
	Encalado (En)	30.24 bc	34.02 b	20.05 a	99.01 a	5.31 a
	Estiércol (Es)	41.47 ab	37.83 b	22.31 a	135.28 a	7.73 a
Tallo	(En+Es)	46.01 a	57.48 a	19.56 a	130.45 a	6.08 a
	<b>Parcela chica</b>					
	Fósforo (P)	46.48 a	51.13 a	19.29 a	149.83 a	7.72 a
	Nitrógeno (N)	31.37 b	37.09 ab	13.78 a	74.18 b	3.54 a
	(N+P)	32.27 b	38.98 ab	21.16 a	115.52	6.28 a
	<b>Color</b>				ab	
	Amarillo	28.07 b	32.55 b	37.28 a	14.17 b	0.84 b
	Blanco	44.12 a	46.01 a	0.00 b	193.97 a	9.98 a
	<b>Parcela grande</b>					
	Testigo	20.10 ab	44.68 a	26.30 ab	8.02 a	1.11 a
	Encalado (En)	23.32 a	32.54 b	30.33 a	2.48 b	0.00 a
	Estiércol (Es)	22.84 a	5.85 c	27.34 ab	2.51 b	0.85 a
	(En+Es)	15.84 b	5.61 c	24.13 b	5.42 ab	3.88 a
	<b>Parcela chica</b>					
	Fósforo (P)	20.02 a	26.56 a	26.19 b	6.72 a	0.85 a
	Nitrógeno (N)	23.06 a	26.52 a	32.11 a	4.64 a	0.00 a
Grano	(N+P)	19.98 a	12.30 a	25.44 b	4.18 a	2.19 a
	<b>Color</b>					
	Amarillo	26.80 a	26.53 a	41.72 a	0.02 b	0.00 a
	Blanco	14.25 b	17.81 b	12.34 b	9.20 a	2.93 a

La extracción de Na y B sobresale bajo la aplicación combinada de estiércol y encalado, en parcela grande, mientras que la aplicación química de fósforo resulta la más conveniente para la extracción de sodio, boro y manganeso. Para los microelementos evaluados el tallo de maíz amarillo muestra mayor contenido en comparación con el maíz blanco, excepto por la extracción de zinc la cual es nula.



El grano mostro diferencias significativas en la aplicación de enmiendas al suelo, con nula presencia de boro (Zamudio-González et al., 2016)., valores semejantes a lo reportado por otras investigaciones que han detectado la presencia de este microelemento en grano (González-Cortés et al., 2016). Presentando en maíz amarillo mayor contenido de sodio, boro y zinc.

Cuadro 4.6 Medias de extracción de macronutrientes (parte aérea + grano) en dos variedades de color del maíz Olotón, bajo la aplicación de fertilización combinada.

Fuente de variación	Macroelementos				
	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha <sup>-1</sup>				
<b>Parcela grande</b>					
Testigo	105.57 b	33.10 c	29.73 b	37.67 b	10.08 b
Encalado (En)	117.54 ab	41.72 ab	32.81 b	52.67 a	11.95 b
Estiércol (Es)	133.43 a	45.93 a	38.34 a	60.48 a	15.97 a
En + Es	118.16 ab	38.29 b	34.43 ab	46.42 ab	14.25 a
<b>Parcela chica</b>					
Fósforo (P)	128.49 a	41.49 a	36.68 a	49.37 a	13.87 a
Nitrógeno (N)	118.53 ab	42.53 a	35.18 a	53.12 a	13.42 a
N + P	120.05 ab	37.41 a	34.94 a	52.13 a	13.56 a
<b>Color</b>					
Amarillo	113.04 a	59.13 a	29.04 b	31.82 b	12.52 a
Blanco	124.31 a	20.40 b	38.61 a	66.79 a	13.61 a

Medias con la misma letra en la columna no son estadísticamente significativas (Duncan 0.05%); Testigo: sin aplicación de producto.

La extracción de nutrientes por cultivo que se muestran en el Cuadro 4.6, muestra macronutrientes totales (N 133.43, P 45.93, K 38.34, Ca 60.48 y Mg 15.97 kg ha<sup>-1</sup>), en parcela grande, existiendo diferencia significativa, destacando la

incorporación de estiércol. La aplicación creciente de nitrógeno al suelo, ayuda al aumento de la extracción de macronutrientes en la planta (biomasa + grano) (Zamudio-González et al., 2016). La fertilización química solo tuvo diferencia significativa en la aplicación de fósforo, con respecto a los kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno extraído. Sin embargo, para variable color de semilla, el maíz blanco obtuvo mayor extracción de macronutrientes (N 124.31, K 59.13, Ca 66.79, Mg 13.61), excepto fósforo.

Cuadro 4.7: extracción de micronutrientes para parcela grande fue estadísticamente significativa para Na, B y Mn (estiércol: 98.85, testigo: 91.39, estiércol: 165.19 g ha<sup>-1</sup>). La aplicación de fósforo (parcela chica/fertilización química) influyó significativamente en la extracción de Na, B y Mn total extraído (parte aérea + grano). Los bajos valores para la extracción total de cobre y zinc, se asocian a la nula existencia de estos elementos en algunos órganos de la planta de maíz (Cuadro 4.5). El color de semilla blanco tuvo mayor extracción de Na 87.44, B 95.28, Mn 229.68 y Cu 15.03 g ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 4.7 Medias de extracción de micronutrientes (parte aérea + grano) en dos variedades de color del maíz Olotón, bajo la aplicación de fertilización combinada.

Fuente de variación	Microelementos				
	Na	B	Zn g ha <sup>-1</sup>	Mn	Cu
Parcela grande					
Testigo	73.92 c	91.39 a	61.61 a	78.90 b	5.05 a
Encalado (En)	81.23 bc	88.21 a	77.01 a	122.32 ab	5.69 a
Estiércol (Es)	98.85 a	64.23 b	73.75 a	165.19 a	10.41 a
En + Es	92.58 ab	80.51 ab	68.69 a	158.09 a	10.61 a
Parcela chica					
Testigo	79.29 b	71.28 b	64.95 a	96.87 b	7.51 a
Fósforo (P)	99.50 a	96.77 a	71.09 a	179.86 a	9.75 a
Nitrógeno (N)	85.29 ab	83.58 ab	74.39 a	105.54 b	5.04 a
N + P	82.50 ab	72.71 b	70.63 a	142.24 ab	9.44 a
Color					
Amarillo	85.85 a	66.89 b	128.15 a	32.57 b	0.84 b
Blanco	87.44 a	95.28 a	12.38 b	229.68 a	15.03 a

Cuadro 4.8 Análisis de varianza a partir de contrastes ortogonales, para extracción total de macronutrientes en maíz Olotón, bajo tratamientos adicionales de fertilización combinada.

Contrastes	Macronutrientes				
	N	P	K Pr> F	Ca	Mg
A4B VS A4A	0.8736	0.0006	0.2206	0.73	0.0135
A3B VS A3A	0.5140	0.0001	0.4263	0.3073	0.0076
A3B VS A4B	0.3461	0.0414	0.1285	0.4651	0.1633
A4B VS A2A	0.3845	<.0001	0.2535	0.6015	0.0029

La extracción de macronutrientes bajo los tratamientos adicionales mostró ser igual para nitrógeno, potasio y calcio. Lo que significa que la aplicación doble de fertilización y enmienda aplicada no influyo en la extracción de estos elementos.

Sin embargo, esta aplicación si tuvo influencia en la extracción de fósforo y magnesio (Cuadro 4.8). Destacando el contraste de adicional cuatro con maíz blanco, altamente diferente al valor obtenido por el tratamiento adicional dos amarillo en extracción de fósforo.

Por otro lado, el Cuadro 4.9 resume el contraste de tratamientos adicionales en extracción de micronutrientes, donde Mg no fue diferente para ningún tratamiento. En el caso de Na y B al menos un contraste de tratamientos fue diferente. Para los valores altamente significativos de Zn y Cu, se relacionan a lo obtenido en cuadro 4.5, expresando la nula cantidad de estos elementos en determinados órganos de la planta (tallo y hoja).

Cuadro 4.9 Análisis de varianza a partir de contrastes ortogonales, para variables de extracción total de micronutrientes en maíz Olotón, bajo tratamientos adicionales de fertilización combinada.

Contrastes	Micronutrientes				
	Na	B	Zn Pr> F	Mn	Cu
A4B VS A4A	0.5746	0.1776	0.0005	0.8340	0.3628
A3B VS A3A	0.4148	0.7544	<.0001	0.1198	0.0166
A3B VS A4B	0.0170	0.1345	0.1019	0.8396	0.6032
A4B VS A2A	0.1402	0.0271	<.0001	0.2375	0.0410

#### 4.4 Conclusiones

El uso de estiércol favoreció la extracción total de macronutrientes en maíz Olotón. Por contrario la aplicación de fertilización química no mostro diferencias significativas en la extracción de macronutrientes.

La extracción total de micronutrientes en maíz Olotón no tuvo diferencias significativas en la aplicación de enmiendas, la aplicación de fósforo como fertilización química mejoro la extracción de Na ( $99.50 \text{ g ha}^{-1}$ ), B ( $96.77 \text{ g ha}^{-1}$ ) y Mn ( $179.86 \text{ g ha}^{-1}$ ).

La extracción de macro y micro elementos fue mayor en semilla de maíz blanco: nitrógeno  $124.31 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $38.61 \text{ kg ha}^{-1}$ , Calcio  $66.79 \text{ kg ha}^{-1}$ , Na  $87.44 \text{ g ha}^{-1}$ , B  $95.28 \text{ g ha}^{-1}$  y Mn  $229.68 \text{ g ha}^{-1}$ .

Los valores bajos de Zn y Cu se reflejan desde la traslocación de los mismos en los diferentes órganos de la planta, no existiendo en hoja y tallo, estos valores fueron generales para tratamientos bases y adicionales.

#### 4.5 Literatura consultada

Álvarez, D. M. (2015). Ecofisiología del cultivo de maíz. El cultivo de maíz en la provincia de San Luis es un actualizado trabajo de información para la toma de decisiones relacionado con el cultivo.  
<https://www.researchgate.net/profile/Juan->

Colazo/publication/281273477\_El\_cultivo\_de\_maiz\_en\_San\_Luis/links/55dde7a308ae79830bb5807d/El-cultivo-de-maiz-en-San-Luis.pdf#page=13

Calvache, U. M., & Valle, L. (2021). Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de quinua (*Chenopodium Quinoa W.*). *Alfa*, 5(13), 15–28. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.95>

Chan, C. M., Moguel, O. Y., Gallegos, T. S., Chel, G. L., & Betancur, A. D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays L.*) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. *Biotecnia*. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1334>

Chí-Sánchez, F. A., Alvarado-López, C. J., Cristóbal-Alejo, J., González-Moreno, A., & Reyes-Ramírez, A. (2021). Contenido mineral de maíces criollos de Yucatán: análisis mediante  $\mu$ -Fluorescencia de Rayos X. *Terra Latinoamericana*, 39, e454. Epub 02 de julio de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.454>

CONABIO. (2022). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Razas de maíz en México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>. Recuperado mayo de 2023.

Cuevas, M. J. J. (2014). Maíz: Alimento fundamental en las tradiciones y costumbres mexicanas. Universidad Autónoma del Estado de México (México). *Turismo y patrimonio cultural*. Vol.12. Núm.2. pp.425-432. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2014.12.030>.

- Delgado, R., Núñez U. M. C., & Velásquez, L. (2004). Acumulación de materia seca, absorción de Nitrógeno, Fósforo y Potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la Fertilización Nitrogenada. *Agronomía Tropical*, 54(4), 371-390.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2004000400002&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000400002&lng=es&tlng=es).
- Galicia, L. P., Miranda, A., Gutiérrez, M. G., Custodio, O., Rosales, A., Ruiz, N., & Palacios, N. (2012). Protocolos de laboratorio, Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal. México DF Cimmyt, 1, 8-14.
- Gavilánez-Luna, F.C., & Gómez-Vargas, M. J. (2022). Definición de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio para una máxima producción del maíz híbrido Advanta 9313 mediante el diseño central compuesto. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 23(1).  
[https://doi.org/10.21930/rcta.vol23\\_num1\\_art:2225](https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2225)
- González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada, C. J. C., Chávez-Muñoz, J. A., & Tejero, J. L. (2016). Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 669-680.,  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000300669&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300669&lng=es&tlng=es).
- González, C. M. E., Palacios, R. N., Espinoza, B. A., & Bedoya, S. C. A. (2013). Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Revista*

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36s3-a/v36s3-aa9.pdf>

INEGI. (2010). Instituto nacional de estadística y geografía. Compendio de información geográfica municipal. Totontepec Villa de Morelos Oaxaca. [www.inafed.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC\\_Enciclopedia](http://www.inafed.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia)

Martínez-Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Cardoso, G. J. C., Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Vásquez-Alarcón, A., y Villegas-Aparicio, Y. (2022). Efecto de aminoácidos foliares en la extracción y remoción de nutrientes en maíz. *Fitotecnia mexicana*, Vol. 45(2), 173-181. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.2.173>

Mesa-Fuquen, E., Diego, L., Molina, L., Rincón, N., Ruíz-Álvarez, E., Fontanilla-Díaz, C. A., & Fernández-Padilla, C. A. (2019). Estructuras factoriales aumentadas en ensayos de investigación: una aplicación en palma de aceite. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12790/12685>

Moreno, A., Narro, L., Vanegas, H., Molina, C., Ospina, J., & Agudelo, M. (2008). Respuesta del maíz a la fertilización química en la zona cafetera central de Colombia. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/181/1/arc059%2801%2975-80.pdf>

NASA. (2024). National Aeronautics and Space Administration. The global precipitation measurement mission (GPM). Washington, D. C., USA. <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>



Omaña G. Y Peña, H. H. (2015). Acumulación de materia seca y blanqueamiento de nutrientes en tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) cultivado en ambiente protegido. *Bioagro*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Barquisimeto, Venezuela.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85741585007>

Remache, M., Carrillo, M., Mora, R., Durango W., & Morales F. (2017). Absorción de macronutrientes y eficiencia del N, en híbrido promisorio de maíz. Patricia Pilar, Ecuador. *Agronomía Costarricense*.

<https://doi.org/10.15517/rac.v41i2.31303>

Ramírez-Maces, H. O., Tadeo-Robledo, M., Villegas-Aparicio, Y., Aragón-Cuevas, F., Martínez-Gutiérrez, A., Rodríguez-Ortiz, G., & Olán, O. M. D. L. (2023). Diversidad biológica del sistema milpa y su papel en la seguridad alimentaria en la Sierra Mixe, Oaxaca. *Fitotecnia mexicana*, 46(2), 105-113.

Sadzawka, R. A., Grez, Z. R., Carrasco, R. M. A. y Mora, G. M. L. (2004). Métodos de análisis de tejidos vegetales. Comisión de normalización y acreditación sociedad chilena de la ciencia del suelo.

[http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp\\_jaboticabal/metodoanalisechile\\_extensao.pdf](http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/metodoanalisechile_extensao.pdf)

Sadzawka, R. A., Carrasco, R. M. A., Demanet, F. R., Flores, P. H., Grez, Z. R., Mora, G. M. L. y Nearnan, A. (2007). Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda Edición. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA N° 40, Santiago, Chile.

<https://www.schcs.cl/wp-content/uploads/2018/11/Analisi-de-tejidos-vegetales.pdf>

- SADER. (2021). Secretaria de agricultura y desarrollo rural. Producción de maíz en México. <https://www.agricultura.gob.mx/sader/datos-2021>
- SAS Institute. 2024. The SAS system for Windows user's guide. Release 9.4. SAS Institute, Cary,NC.
- Turrent-Fernández, A. y Espinosa-Calderón, A., (2022). Fijación biológica de nitrógeno atmosférico por la raza nativa de maíz Olotón de la Sierra Mixe, Oaxaca. La jornada del Campo. <https://www.jornada.com.mx/2022/03/19/delcampo/articulos/fijacion-nitrogeno-atmosferico.html>.
- Ula, F. (2009). Variaciones de pH, aluminio y calcio intercambiable en un alfisol encalado y fertilizado con urea, bajo cultivo de maíz.
- Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Martínez-Rodríguez, N., & Turrent-Fernández, A. (2016). Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de maíz. *Mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5), 1077-1089. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000501077&lng=es&tlng=e](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000501077&lng=es&tlng=e)

## **CAPITULO V. CONCLUSIONES GENERALES**

La producción de materia seca influye en la extracción de nutrientes en tejido vegetal. Su distribución en la planta influye en el valor del índice de cosecha del órgano de interés económico (grano). La aplicación de fertilización combinada en dosis adicionales aumenta la extracción de nutrientes en órganos de la planta de maíz.

Las características morfológicas del maíz Olotón (tallo y hojas), pueden ser un resultado de su mayor acumulación de nutrientes. Los resultados obtenidos en ambas parcelas favorecen al tallo, como el órgano con más extracción de nutrientes. Nitrógeno fue el nutriente mayormente presente en ambos cultivos, y todos los tratamientos evaluados. El uso de estiércol bovino y encalado optimizo los nutrientes disponibles en el suelo para la planta. Por el contrario, la aplicación de fertilización química no mostro diferencias significativas en la extracción de macronutrientes para el caso de los tratamientos factoriales, con dosis menores a las adicionales. Por lo tanto, la aplicación doble de enmiendas y fertilización química favorece la extracción de nutrientes en la planta de maíz Olotón, en condiciones de la comunidad de Totontepec Oaxaca.

## **CAPITULO VI. RECOMENDACIONES**

Realizar alternativas para el uso de materia seca, en su incorporación al suelo.

Utilizar la parte de hoja y tallo como complemento a la alimentación pecuaria.

Realizar trabajos de extracción de macronutrientes durante las etapas vegetativas de crecimiento, para resaltar los picos de absorción y su translocación en cada uno de los órganos de la planta, para conocer la etapa fenológica de mayor exigencia de los nutrientes.

Por las características del suelo, se recomienda aplicar hasta  $3 \text{ t ha}^{-1}$  de cualquier fuente de cal agrícola para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, sin embargo, la baja solubilidad de la cal no permite la corrección del pH bajo a corto plazo. Por lo anterior se sugiere aplicar antes del establecimiento del cultivo y preferentemente incorporar el producto en el surco.

Se realicen estudios sobre curvas de adsorción de nutrientes en diferentes etapas fenológicas de para conocer la época de mayor demanda.

## CAPITULO VII. BIBLIOGRAFIA GENERAL

Álvarez-Solís, J.D., Díaz-Pérez, E., León-Martínez, N.S. & Guillén-Velásquez J. (2010).

Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz.

*Terra Latinoamericana*, Vol.28 (3).

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-)

[57792010000300006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000300006&lng=es&tlng=es)

Aragón-Cuevas, F., Taba, S., Hernández, J. M., Figueroa, J. D., & Serrano, V. (2006).

Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Informe final

SNIB-CONABIO proyecto No. CS002 México DF.

ASERCA. (2018). Agencia de servicios a la comercialización y desarrollo agropecuario.

Maíz grano cultivo representativo de México. Alimento, forraje y materia prima

para la industria. [https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-](https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de)

[representativo-de](https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de)

[mexico#:~:text=El%20ma%C3%ADz%2C%20es%20uno%20de,importancia%2](https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico#:~:text=El%20ma%C3%ADz%2C%20es%20uno%20de,importancia%2)

[0econ%C3%B3mica%2C%20social%20y%20cultura](https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico#:~:text=El%20ma%C3%ADz%2C%20es%20uno%20de,importancia%20econ%C3%B3mica%2C%20social%20y%20cultura)

IFA. (2002). Asociación internacional de la industria de los fertilizantes. Los fertilizantes y

su uso. <https://www.fao.org/connect-private-sector/search/detail/es/c/1459366/>

- Ávila-Miramontes, J.A., Ávila-Salazar, J. M., Martínez-Heredia, D. y Rivas-Santoyo, F.J. (2014). El cultivo del maíz Generalidades y sistemas de producción en el noroeste. Universidad de Sonora. División de ciencias biológicas y de la salud. Departamento de agricultura y ganadería, 56-61. <https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20MAIZ.pdf>
- Calleja-Pinelo, M. & Valenzuela-Basilio, M. (2016). La tortilla como identidad culinaria y producto de consumo global. *Región y sociedad*, 28(66), 161-194. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252016000200161&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252016000200161&lng=es&tlng=es)
- Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT). (2020). El rastrojo, una oportunidad para recuperar la fertilidad de los suelos. Xochicentli AC. <https://idp.cimmyt.org/>
- Cerdas, R.R. (2018). Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, con varias dosis de fertilización nitrogenada. *InterSedes*, 19(39). <https://doi.org/10.15517/isucr.v19i39.34076>
- Ciampitti, I.A. y García, O.F. (2008). Requerimientos nutricionales absorbidos y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II Hortalizas y forrajes. IPNI Instituto internacional de nutrición de plantas. Argentina. [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/\\$FILE/AA%2012.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/$FILE/AA%2012.pdf)

Ciampitti, I.A., Boxler, M. y García, F.O. (2015). Nutrición de maíz: Requerimientos y absorción de nutrientes. *Informaciones agronómicas*. No 48. Argentina.

[http://www.ipni.net/publication/ia-](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/$FILE/14.pdf)

[lacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/\\$FILE/14.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/$FILE/14.pdf)

CIBIOGEN. (2011). Comisión Intersecretarial de bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados Maíces nativos de Oaxaca.

[https://conahcyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/redes/redmexogm/eventos/foros/Autoridades/5-INIFAP\\_MAICES%20CRIOLLOS%20OAXACA.pdf](https://conahcyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/redes/redmexogm/eventos/foros/Autoridades/5-INIFAP_MAICES%20CRIOLLOS%20OAXACA.pdf)

Cruz, C. C. I., Zelaya, M. L. X., Sandoval, C. G., Villalobos, S. S., Rojas, A. E., Chávez, D. I. F., y Ruíz, R. S. (2021). «Utilización De Microorganismos Para Una Agricultura Sostenible En México: Consideraciones Y Retos». *Mexicana De Ciencias Agrícolas* 12 (5). México, ME:899-913.

*Mexicana De Ciencias Agrícolas* 12 (5). México, ME:899-913.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905>.

CONABIO. (2020). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Grupo Maduración tardía

[https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-](https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-Maduracion)

[Maduracion](https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-Maduracion)

CONABIO. (2022). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Razas de maíz en México.

<https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>

CONABIO (2023). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Razas de maíz, riqueza del campo mexicano.

<https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/razas-de-maiz-riqueza-del-campo-mexicano?idiom=es#:~:text=Las%20razas%20de%20ma%C3%ADces%20mexicanos,Jalisco%2C%20Palomero%20Toluque%C3%B1o%20y%20Uruape%C3%B1o>

Cueto-Wong, J. A., Reta-Sánchez, D. G., Barrientos-Ríos, J. L., González-Cervantes, G., & Salazar-Sosa, E. (2006). Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Fitotecnia Mexicana*, 29(Especial\_2), 97-97.  
<https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/1097/1030>

Eyhéabide, G. H. (2010). Utilización de variedades nativas en el mejoramiento de maíz. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.  
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27617>

Escobar, B. P., Etcheverría, T. P., Vial, A. M. y Daza, C. J. (2011). Concepto de materia seca y su uso: guía práctica. INIA. Instituto de investigaciones agropecuarias Informativo.  
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/3982/Informativo%20INIA%20N%C2%B0%20119?sequence=1&isAllowed=y>

Figueroa-Viramontes, U., Cueto-Wong, J. A., Delgado, J. A., Núñez-Hernández, G., Reta-Sánchez, D. G., Quiroga-Garza, H. M., Faz-Contreras, R., & Márquez-Rojas, J. L. (2010). Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 361-369.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792010000400008&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000400008&lng=es&tlng=es)



- García, F., Micucci, F., Rubio, G., Ruffo, M. y Daverede, I. (2005). Fertilización de forrajes en la región pampeana - Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdesos. INPOFOS Cono Sur, Argentina. [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7deffe669416f818032580b800647dc6/\\$FILE/Fertilizacion%20de%20forrajes%202005.002.002.pdf/Fertilizacion%20de%20forrajes%202005.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7deffe669416f818032580b800647dc6/$FILE/Fertilizacion%20de%20forrajes%202005.002.002.pdf/Fertilizacion%20de%20forrajes%202005.pdf)
- Hernández, C. N. y Soto, C. F. (2012). Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales parte I. Cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *cultivos tropicales*, ol.33, Núm.2, pp.44-49. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v33n2/ctr06212.pdf>
- Hidalgo, S. M. G. (2018). Evaluación morfológica y fisiológica de arquetipos de maíz. Tesis de maestría. Colegio de posgraduados. Campus montecillo. Programa de postgrado en recursos genéticos productividad. *Fisiología vegetal*. <https://www.biopasos.com/biblioteca/Evaluacion-morfologica-fisiologica-maiz-tesis.pdf>
- INEGI. (2010). Instituto nacional de estadística y geografía. Compendio de información geográfica municipal. Totontepec Villa de Morelos Oaxaca. [www.inafed.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC\\_Enciclopedia](http://www.inafed.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia)
- Lardone, A. V. (2016). Efecto de propiedades edáficas sobre la productividad de los cultivos de maíz y soja en la pampa arenosa. Trabajo de tesis para título de magister en producción agropecuaria en regiones semiáridas. Facultad de agronomía Universidad nacional de la pampa. Argentina. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/981>

- León, G. G., Hernández, A. A., Vargas, R. J. C., Aguilar, C. G., y Villalobos, V. V. E. (2021). Fertilización con nitrógeno y potasio en maíz en un alfisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1), 137-148. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v32i1.39822>
- Martínez, C. M., Ortiz, P. R. & Raigón, M. D. (2017). Contenido de fósforo, potasio, zinc, hierro, sodio, calcio y magnesio, análisis de su variabilidad en accesiones cubanas de maíz. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 92-101. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362017000100012&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000100012&lng=es&tlng=es).
- Martínez-Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Galvão-João, C., Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Vázquez-Alarcón, A. y Villegas-Aparicio, Y. (2022). Efecto de aminoácidos foliares en la extracción y remoción de nutrientes en maíz. *Fitotecnia mexicana*, 45(2), 173-181. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.2.173>
- Mckean, S.J. (1993). Laboratorio de servicios analíticos. Documento de trabajo o.129. Centro internacional de agricultura tropical. [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Digital/S593.M2\\_Manual\\_de\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_suelos\\_y\\_tejido\\_vegetal\\_Una\\_gu%C3%ADa\\_de\\_muestreo\\_y\\_pr%C3%A1ctica\\_de\\_metodologia.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_de_muestreo_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf)
- Mengel, K. y Kirkby, E. A. (1987). Principios de nutrición vegetal. Instituto nacional de la potasa Basilea, suiza. <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/64-principios-de-nutricion-vegetal.pdf>

- Massieu-Trigo, Y., y Lechuga-Montenegro, J. (2002). El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Análisis Económico*, XVII (36), 281-303.  
<https://www.redalyc.org/pdf/413/41303610.pdf>
- NASA. (2024). National Aeronautics and Space Administration). The global precipitation measurement mission (GPM). Washington, D. C., USA.  
<https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>
- Oñate, L. A. (2016). Duración de las etapas fenológicas Y profundidad radicular del cultivo de maíz (*Zea Mays* L) Var. Blanco Harinoso Criollo, bajo las condiciones climáticas del Cantón Cevallos. Ecuador: Universidad técnica de Ambato  
*Facultad de Ciencias Agropecuarias.*  
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/18305>
- Paredes, M. C. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Trabajo final de ingeniería en producción agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina.  
<http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacionbiologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>.
- PROMIPAC. (2009). Programa de manejo integrado de plagas en América Central Manual de Fertilizantes y Enmiendas. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras, 33-40, 239-245.  
[https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo\\_6\\_Manual\\_Fertilizantes\\_y\\_Enmiendas.pdf](https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_6_Manual_Fertilizantes_y_Enmiendas.pdf)

Quintero, D. R. (1991). Fertilización y nutrición. Ecología del cultivo. CENICAÑA, p.153-177. Colombia.

<https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siica/Consulta/verDoc.aspx?num=4>

Ramírez, R. H. A. (2011). Repositorio digital. Sitio Argentino de la nutrición animal. De que hablan cuando dicen materia seca. Nutriólogo. Celaya, Guanajuato, México. [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

Rendón-Aguilar, B., Aguilar-Rojas, V., Aragón-Martínez, M. C., Ávila-Castañeda, J. F., Bernal-Ramírez, L. A., Bravo-Avilez, D., Carrillo-Galván, G., Cornejo-Romero, A., Delgadillo-Durán, E., Hernández-Cárdenas, G., Hernández-Hernández, M., López-Arriaga, A., Sánchez-García, J. M., Vides-Borrell, E., & Ortega-Packzca, R. (2015). Diversidad de maíz en la sierra sur de Oaxaca, México: conocimiento y manejo tradicional. *Polibotánica*, (39), 151-174. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682015000100009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682015000100009&lng=es&tlng=es)

Ruíz, O., Beltrán, R., Salvador, F., Rubio, H., Grado, A. y Castillo, Y. (2006). Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. *Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 40, núm. 1, pp. 91-96. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017708013.pdf>

SADER. (2014). Secretaria de agricultura y desarrollo rural. Guía técnica para la descripción varietal del maíz (*Zea mays* L). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/120832/Maiz.pdf>

- SADER. (2020). Secretaria de agricultura y desarrollo rural. Maíz blanco o amarillo es cultivo de tradición y desarrollo. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-blanco-o-amarillo-es-el-cultivo-de-tradicion-y-desarrollo>
- SADER. (2021). Secretaria de agricultura y desarrollo rural. Producción de maíz en México. <https://www.agricultura.gob.mx/sader/datos-2021>
- SAGARPA. (2018). Secretaria de agricultura y desarrollo rural. Ciclo productivo 2017: Maíz. <https://www.gob.mx/agricultura/edomex/articulos/ciclo-productivo-2017-maiz?idiom=es>
- Sánchez, O. I. (2014). Mays I (*Zea mays*). Revista Reduca (Biología- Serie botánica), Vol.7 (2),151-171. <https://revistareduca.es/index.php/biologia/article/viewFile/1739/1776%0A%0A>
- Sadzawka, R. A., Grez, Z. R., Carrasco, R. M. A. y Mora, G. M. L.. (2004). Métodos de análisis de tejidos vegetales. Comisión de normalización y acreditación sociedad chilena de la ciencia del suelo. [http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp\\_jaboticabal/metodoanalisechile\\_extensao.pdf](http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/metodoanalisechile_extensao.pdf)
- Sadzawka, R. A., Carrasco, R. M. A., Demanet, F. R., Flores, P. H., Grez, Z. R., Mora, G. M. L. y Nearnan, A. (2007). Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda Edición. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA N° 40, Santiago, Chile. <https://www.schcs.cl/wp-content/uploads/2018/11/Analisi-de-tejidos-vegetales.pdf>

SEMARNAT. (2016). Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. Como afecta el cambio climático a México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/como-afecta-el-cambio-climatico-a-mexico>.

SENAMHI. (2011). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Manual de observaciones fenológicas. Perú. [http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agro-clima/e-fenologicos/manual\\_fenologico.pdf](http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agro-clima/e-fenologicos/manual_fenologico.pdf).

SIAP. (2022). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Balanza disponibilidad-consumo maíz. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/622613/Balanza\\_disponibilidad-consumo\\_6.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/622613/Balanza_disponibilidad-consumo_6.pdf)

SIAP. (2023). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Producción agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

SIAP. (2024). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Producción agrícola. Avance de siembras y cosechas. [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/)

Torres-Moya, E., Ariza-Suárez, D., Baena-Aristizabal, C. D., Cortés-Gómez, S., Becerra-Mutis, L. & Riaño-Hernández, C. A. (2016). Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa* L.). *Pastos y Forrajes*, vol. 39, núm. 2, pp. 102-110. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942016000200004&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942016000200004&lng=es&tlng=es).

Turrent-Fernández, A. y Espinosa-Calderón, A., (2022). Fijación biológica de nitrógeno atmosférico por la raza nativa de maíz Olotón de la Sierra Mixe, Oaxaca. La jornada del Campo. <https://www.jornada.com.mx/2022/03/19/delcampo/articulos/fijacion-nitrogeno-atmosferico.html>.

Turrent, F. A. y Serratos, J. A. (2004). Maíz y biodiversidad: Los efectos del maíz transgénico en México. Capítulo 1. Contexto y antecedentes del maíz y sus parientes silvestres en México. Maíz y Biodiversidad: Los efectos del maíz transgénico en México, 1-55. [https://www.researchgate.net/publication/303571977\\_Context\\_and\\_Background\\_on\\_Maize\\_and\\_its\\_Wild\\_Relatives\\_in\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/303571977_Context_and_Background_on_Maize_and_its_Wild_Relatives_in_Mexico)