



Universidad Autónoma del Estado  
de México



**FACULTAD DE CIENCIAS**

ESTUDIO DE BIOFERTILIDAD Y PROXIMAL EN  
CULTIVO DE MAÍZ (*ZEA MAYS L.*) EN EL EJIDO  
DE SAN MARCOS YACHIHUACALTEPEC,  
TOLUCA, ESTADO DE MEXICO.

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
BIOLOGA**

**PRESENTA**

**DIANA PATRICIA ROJAS SOTO**

**DIRECTORES**

**DR. PEDRO DEL AGUILA JUAREZ**

**DR. JORGE ALBERTO LUGO DE LA FUENTE**

**TOLUCA, MEXICO, 2021**

## RESUMEN

En la actualidad debido al cambio climático, el deterioro del ambiente y el estancamiento en los cultivos, se prevé un reto en la producción de cereales, los cuales son fundamentales en la alimentación humana y animal. Una de las sugerencias ante ello consiste en aplicar una agricultura de conservación o sostenible para prevenir el deterioro de los suelos, la mala calidad del producto en las cosechas y un beneficio a los agricultores económicamente y en productividad. El uso de fertilizantes orgánicos como son los bioestimulantes de microalgas en los cultivos de cereales y legumbres resulta ser una alternativa al incrementar el contenido de nutrientes en el suelo, el sistema radical, mejorando la captación de agua y minerales esenciales para su crecimiento.

El presente trabajo tuvo como objetivo comparar el efecto de los biofertilizantes como las microalgas con respecto a los fertilizantes químicos convencionales en un cultivo de maíz (*Zea mays L.*) en el Ejido de San Marcos Yachihuacaltepec, Toluca, Estado de México. El diseño fue mediante la elaboración de bloques alternados, dando como resultado un total de 8 bloques los cuales contaron con 2 tratamientos: 1) fertilizante químico y 2) fertilizante químico más biofertilizante (extracto de microalga: *Dunaliella salina*). Con respecto al análisis fisicoquímico del suelo, este se apejó a la NOM-021-SEMARNAT-2001, evaluando principalmente: materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), textura y pH. Para la planta de maíz se realizó un análisis bromatológico, medición de clorofila y se tomaron medidas morfométricas de la planta. El análisis bromatológico consistió en medir el contenido de cenizas, humedad, proteínas, grasas y carbohidratos en el grano del maíz siguiendo la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC internacional (2002)). El contenido de clorofila se midió de forma no destructiva con el equipo SPAD-502. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos indicaron que el suelo del cultivo presentó una textura arenosa-franco (A-F) con un pH de 4.85 siendo fuertemente ácido, en cuanto al contenido de materia orgánica fue de 4% presentando un alto contenido y la CE de 0.195 dS/m dicho valor indica un suelo con efectos despreciables de salinidad. En la planta, los resultados bromatológicos

indican que el contenido de nutrientes en el grano, con la aplicación de biofertilizante más fertilizante químico presento mayor contenido de proteína (7.3 %) a diferencia del químico convencional (6.6 %), el contenido de grasa también predomino en la mezcla de biofertilizante más químico (3.9 %) sobre el químico convencional (3.1 %). De esta manera se puede sugerir el extracto de microalga junto con el fertilizante químico como una alternativa en la mejora de las propiedades nutricionales del maíz.

**Palabras clave:** biofertilizante, análisis bromatológico, clorofila, morfología, maíz.

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. MARCO TEÓRICO .....	13
2.1. El suelo.....	13
2.1.1. Propiedades físico-químicas del suelo .....	14
2.1.1.1. pH.....	14
2.1.1.2. Conductividad eléctrica (CE).....	15
2.1.1.3. Materia orgánica (MO).....	15
2.1.1.4. Textura .....	16
2.1.1.5. Profundidad, porosidad y capacidad de retención del agua.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2. La planta de Maíz ( <i>Zea Mays L.</i> ) .....	18
2.2.1. Taxonomía del maíz.....	18
2.2.2. Ecología del maíz .....	18
2.2.2.1. Clima.....	19
2.2.2.2. El maíz y el suelo.....	19
2.2.2.3. Ciclo del cultivo .....	19
2.2.2.3.1. Etapas vegetativas y reproductivas del maíz.....	20
2.3. Clorofila o índice de verdor .....	23
2.3.1. Índice de área foliar .....	24
2.4. Biofertilizantes: extracto de alga .....	24
2.4.1. Extracto de alga.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4.2. Inorgánicos .....	28
2.5. Análisis proximal.....	30
2.5.1. Valor nutrimental del maíz .....	31
2.5.1.1. Humedad.....	32
2.5.1.2. Cenizas.....	32
2.5.1.3. Proteínas.....	33
2.5.1.4. Fibra cruda .....	34
2.5.1.5. Extracto etéreo .....	34
2.5.1.6. Carbohidratos.....	34

<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	36
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	37
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	38
<b>5.1. Zona de estudio</b> .....	38
<b>5.2. Colecta de muestras: suelo</b> .....	39
<b>5.2.1. Análisis físico-químico</b> .....	40
<b>5.3. Aplicación de fertilizantes: químico y orgánico en el cultivo de maíz</b> .....	40
<b>5.4. Muestreo morfométrico y de clorofila</b> .....	41
<b>5.5. Muestreo de maíz</b> .....	42
<b>5.6. Análisis bromatológico de Maíz</b> .....	42
<b>5.6.1. Humedad</b> .....	42
<b>5.6.2. Cenizas</b> .....	43
<b>5.6.3. Grasas</b> .....	43
<b>5.6.4. Proteína bruta</b> .....	44
<b>5.6.5. Carbohidratos totales (CT)</b> .....	44
<b>5.7. Análisis estadístico</b> .....	45
<b>6. RESULTADOS</b> .....	46
<b>6.1. Propiedades físicas del suelo del cultivo de maíz</b> .....	46
<b>6.2. Contenido de clorofila</b> .....	47
<b>6.3. Morfología de cultivo: cualitativas</b> .....	49
<b>6.4. Calidad proximal del grano de maíz</b> .....	50
<b>7. DISCUSION</b> .....	52
<b>7.1. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el cultivo de maíz</b> .....	52
<b>7.2. Contenido de clorofila de la hoja de la planta de maíz</b> .....	54
<b>7.3. Morfología: características cuantitativas del maíz</b> .....	55
<b>7.4. Humedad</b> .....	55
<b>7.5. Cenizas</b> .....	56
<b>7.6. Extracto etéreo</b> .....	57
<b>7.7. Carbohidratos</b> .....	57
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	59
<b>9. REFERENCIAS</b> .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clases de partículas y diámetro (Gisbert et al., 2010). .....	17
<b>Tabla 2.</b> Taxonomía del maíz (Guacho, 2014).....	18
<b>Tabla 3.</b> Etapas vegetativas y reproductivas del maíz (Endicott et al., 2015). .....	22
<b>Tabla 4.</b> Principales fertilizantes orgánicos o biofertilizantes (Guzmán, 2018) .....	25
<b>Tabla 5.</b> Fertilizantes inorgánicos simples (Guzmán, 2018).....	29
<b>Tabla 6.</b> Valor nutritivo del maíz en comparación con otros cereales (Llanos, 1984). .....	31
<b>Tabla 7.</b> Porcentajes de nutrientes en el grano de maíz en seco (Llanos, 1984)..	32
<b>Tabla 8.</b> Caracterización de propiedades físico-químicas del suelo. ....	46
<b>Tabla 9.</b> Promedios de Índice de área foliar e índice de verdor en los tratamientos.	
<b>Tabla 10.</b> Características cuantitativas del cultivo de maíz.....	50
<b>Tabla 11.</b> Contenido proximal del grano de maíz.....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama triangular de las clases texturales del suelo (FAO, 2020). ....	17
<b>Figura 2.</b> Ciclo de vida del maíz .....	20
<b>Figura 3.</b> Etapas fenológicas del maíz (s.a, 2020).....	22
<b>Figura 4.</b> Ubicación geográfica de la zona de estudio, Ejido de San Marcos Yachihuacaltepec, escala 500m (INEGI, 2020).....	38
<b>Figura 5.</b> Puntos de muestreo de suelo en parcela. ....	39
<b>Figura 6.</b> Representación de los tratamientos .....	41
<b>Figura 7.</b> Comportamiento del contenido de clorofila (unidades SPAD) a través del crecimiento .....	48
<b>Figura 8.</b> El Peso de mazorca y grano de maíz en los dos tratamientos .....	49

## 1. INTRODUCCIÓN

México es considerado el centro de origen y diversificación del maíz (*Zea mays L.*), su origen, domesticación y dispersión proviene a partir de la planta de teocintle (*Zea mays, ssp. Parviglumis*) representa el cultivo más representativo de México por su importancia económica, social y cultural, por lo que se considera un producto básico para la alimentación humana y animal (Reyes *et al.*, 2018; Secretaría de Agricultura, 2017).

El Estado de México aporta en la producción nacional un 5.5% del volumen total agrícola, siendo uno de los principales productores de maíz grano a nivel nacional con un volumen de producción del 12.48% siendo superado por el estado de Jalisco con 12.91% y sobrepasa incluso a estados con mayor superficie cosechada, pero con bajos rendimientos por hectárea como los estados de Chiapas y Puebla (INEGI, 2001).

No se puede dejar atrás las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del suelo agrícola que se ven fuertemente afectados por las prácticas de campo, incluidos los tipos de fertilización, riego y del cultivo. Comprender el mecanismo de las emisiones de GEI y los factores de impacto es esencial para la producción agrícola limpia y la mitigación global de estos (Li *et al.*, 2017).

Por lo que el cambio climático, el deterioro ambiental y el estancamiento de los rendimientos amenazan la producción de cereales y la seguridad alimentaria mundial. El aumento de la demanda de maíz y la disminución de la productividad podrían hacer que las importaciones de maíz del mundo en desarrollo se tripliquen para el año 2050 (Reeves *et al.*, 2016).

El maíz hoy día requiere de un manejo más sustentable y del uso de fertilizantes orgánicos en el suelo, ya que estos benefician el crecimiento del cultivo y aumentan el rendimiento, los fertilizantes orgánicos o también denominados biofertilizantes son derivados de microorganismos: hongos, bacterias, algas, entre otros (Sayed *et al.*, 2015).

La adición de enmiendas orgánicas, en caso concreto, los extractos de microalgas favorecen la mejora en el rendimiento y la calidad de la cosecha en diversos cultivos, donde estos se relacionan con un aumento en la tasa de fotosíntesis en las hojas de las plantas, dando por efecto una mayor captación de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Zermeño *et al.*, 2015).

Los biofertilizantes en cultivos básicos han dado resultados satisfactorios, favoreciendo la velocidad en la toma de nutrientes por las plantas, por efecto directo de las raíces, así como hacer más eficiente la absorción de los mismos (Zermeño *et al.*, 2015).

Las prácticas de agricultura de conservación mejoran el contenido de materia orgánica (MO) y las propiedades físicas del suelo, lo que reduce la erosión y aumenta la eficiencia en el uso de agua (Reeves *et al.*, 2016; Reyes *et al.*, 2018).

Lo que trae como consecuencia la reducción de fertilizantes sintéticos hasta un 50%, fundamentalmente del nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), de esta manera al reducir la fertilización química disminuye también los costos de producción de maíz aprovechando el P y K nativo del suelo y reduce el efecto acidificante de los fertilizantes nitrogenados y amoniacales (Reyes *et al.*, 2018).

Así mismo, al aplicar la microalga en los cultivos se ve beneficiado el contenido nutrimental del producto al mejorar su composición química, gracias a la mejor captación de los nutrientes. La calidad del grano de maíz depende de su constitución física y química: la primera determina la textura y dureza, en cambio la química define el valor nutricional, el cual mejora con la ayuda de bioestimulantes como la microalga (Díaz *et al.*, 2009).

Por lo que el presente trabajo tuvo como propósito el uso de bioestimulantes para ayudar al crecimiento de la planta y mejora del suelo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. El suelo

El suelo se forma por la descomposición de rocas a lo largo de millones de años. Más adelante la composición física ocurre por la acción del sol, viento, agua y las raíces de las plantas, en cambio la química es causada por el ácido carbónico diluido, formado por la disolución del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire en el agua de lluvia, y por ácidos orgánicos formados al descomponerse animales muertos y plantas pasan a formar la MO en el suelo, a su vez los fragmentos de roca descompuestos nos dan lugar a los minerales (Dalzell, 1991).

El suelo es un recurso finito, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles, pese a que es un recurso natural muy valioso, a menudo no se le presta la debida atención. La superficie natural de suelos productivos es limitada y se encuentra sometida a una creciente presión debido a la intensificación y el uso competitivo que caracteriza el aprovechamiento de los suelos con fines agrícolas, forestales, pastorales, de urbanización, y para satisfacer la demanda de la producción de alimentos, energía y extracción de materia prima (Dalzell, 1991).

El uso del suelo en los sistemas agrícolas es de gran importancia debido a los nutrientes que son aportados hacia la planta, no obstante, cuando el suelo es empleado de manera errónea, provoca daños graves al suelo y las plantas (Gliessman, 2002).

Los procesos que facilitan al suelo producir un cultivo recaen en la agricultura sostenible, mientras que los biofertilizantes incrementan la producción, pero solo mediante un entendimiento de los ciclos de biogeoquímicos y los procesos ecológicos del suelo, especialmente la dinámica en la MO, la cual ayuda a la restauración de la fertilidad del suelo (Gliessman, 2002).

El suelo constituye un recurso esencial para el desarrollo económico-social y es el sostén físico y químico de todos los ecosistemas terrestres. Su degradación se

define como la pérdida a largo plazo en la función y productividad de los ecosistemas, que es causada por alteraciones, a partir de las cuales el suelo no puede recuperarse (Classman, 2002).

### 2.1.1.1. **Propiedades físicoquímicas del suelo**

Las propiedades químicas se relacionan con la calidad, que se puede medir mediante la MO y el pH, así mismo la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas (Calderón *et al.*, 2018).

#### **pH**

##### **2.1.1.1.1.**

La forma más usual de diagnosticar las condiciones de acidez o basicidad de un suelo, sedimento o estériles de mina, se basa, por su rapidez y facilidad, en la medida del pH en una suspensión suelo agua (Porta *et al.*, 2019).

Los efectos perjudiciales de la acidez no se manifiestan hasta valores de pH inferiores a 5.5 por la toxicidad del aluminio y la poca biodisponibilidad de los nutrientes. Los suelos con carbonato de calcio, característicos de zonas semiáridas y áridas, tienen pH del orden de 7.5 a 8.5.

Los términos sódico y alcalino deben restringirse para aquellos suelos de pH superiores a 8.5, los que presentan pH de 9.0 a 12.0 contienen carbonato sódico y sus condiciones tanto físicas como químicas son muy desfavorables (Porta *et al.*, 2019).

En general el pH óptimo de los suelos agrícolas debe de encontrarse entre 6.5 y 7.5 para obtener los mejores rendimientos y una mayor productividad. El pH de un suelo ácido se puede mejorar gradualmente mediante el manejo apropiado y con aplicación de cal, así también el pH influye en la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas, es decir, el pH puede ser la causa de que ser presente

deficiencia, toxicidad o que los elementos no se encuentran en niveles adecuados (Ibarra et al., 2009).

### **2.1.1.2. Conductividad eléctrica (CE)**

El término salinidad se refiere a la presencia en el suelo de una elevada concentración de sales que perjudican a las plantas por su efecto tóxico y la disminución del potencial osmótico del suelo. La situación más frecuente de salinidad en los suelos es por NaCl pero los suelos salinos suelen presentar distintas combinaciones de sales, siendo comunes los cloruros y los sulfatos (Lamz y González, 2013).

La salinidad de los suelos es un problema que restringe las actividades agrícolas, sin importar si son grandes o pequeñas extensiones de tierra, ya que provoca la disminución de la capacidad productiva de los suelos y rendimiento de los cultivos, dando como resultados una baja en la calidad en el medio edáfico y ecológico (Mata et al., 2014).

La salinización y sodificación que se provoca en los suelos agrícolas, se debe al resultado de las incorrectas prácticas agrícolas y el mal manejo del agua para el riego, lo cual permite la movilidad de las sales dentro del suelo y el transporte de las mismas a nuevos sitios (Lamz y González, 2013) son quizás los problemas más serios que enfrenta la agricultura hoy en día (Mata et al., 2014).

El suelo recibe una gran cantidad de restos orgánicos de distinto origen, entre estos, se tienen a los residuos de plantas que llegan al suelo de dos maneras: primero se depositan en la superficie (hojas, ramas, flores, frutos) y segundo se quedan directamente en la masa del suelo (raíces al morir); otras dos fuentes importantes son 1) el plasma microbiano y 2) los restos de la fauna habitante del suelo (Meléndez

### **2.1.1.3. Materia orgánica (MO)**

y Soto, 2003). La MO del suelo contiene cerca del 5% de N total, pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes (Julca *et al.*, 2006).

La MO se encuentra de tres formas en el suelo, 1) como una composición próxima al carbono elemental, 2) como humus 3) y humatos que son como residuos orgánicos poco alterados, también materia orgánica lábil (MOL), siendo todas ellas consideradas como un indicador de la calidad del suelo, ya que ejerce un efecto positivo en sus propiedades físicas, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo que favorece la penetración del agua en los macro-poros y micro-poros, así como su retención disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso (Julca *et al.*, 2006; Novillo *et al.*, 2018).

Las propiedades físicas son aquellas que pueden observarse y/o medirse sin alterar químicamente la composición del suelo y están relacionadas con el movimiento del aire, calor, agua, raíces y nutrientes, entre ellas se encuentran la profundidad, textura, estructura, densidad aparente, densidad real, porosidad, color y temperatura (López y Estrada, 2015).

**2.1.1.4. Textura**  
La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla, es una propiedad importante ya que influye en la fertilidad y en la capacidad de retener agua, aireación, drenaje y contenido de MO (Gisbert *et al.*, 2010).

En el campo de la Edafología, las partículas de un suelo se clasifican en elementos gruesos (tamaño de diámetro superior a 2mm) y elementos finos (tamaño inferior a 2mm), estos son utilizados para definir la textura de un suelo (Gisbert *et al.*, 2010).



## 2.2. La planta de Maíz

El maíz es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos, animales y es una materia prima básica de la industria, se registran 59 variedades criollas de maíz en México, los principales estados productores son Sinaloa (22%), Jalisco (14%), México (8%), Michoacán (7%), Guanajuato (5%), Veracruz (5%), Chiapas (5%), Chihuahua (4%), Puebla (4%) y el resto de los estados representan el (20%) restante (ASERCA, 2018). La importancia de este cereal abarca más campos dentro del desarrollo de la población pues se aprovecha al máximo el material vegetal, los tallos tiernos son comestibles para los humanos y secos se utilizan como forraje para ganado, construcción de chozas, combustible y abono (Guacho, 2014).

### 2.2.1. Taxonomía del maíz

El Maíz y sus parientes silvestres los teocintles, se clasifican (**Tabla 2**) dentro del género *Zea* pertenecientes a la familia Gramínea o Poaceae, que incluye también a importantes cultivos agrícolas como el trigo, arroz, avena, sorgo, cebada y caña de azúcar.

**TAXONOMÍA 2. Taxonomía del maíz (Guacho, 2014).**

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Subreino</b>	Embriobionta
<b>División</b>	Angiospermae
<b>Clase</b>	Monocotyledoneae
<b>Orden</b>	Poales
<b>Familia</b>	Poaceae
<b>Genero</b>	<i>Zea</i>
<b>Especie</b>	<i>Mays</i>

### 2.2.2. Ecología del maíz

---

---

### **2.2.2.1. Clima**

El maíz es una especie exigente en agua, se desarrolla y rinde más con temperaturas moderadas (20 a 30°C), con días soleados y noches frías, el periodo más crítico se sitúa durante e inmediatamente después de la floración. Un descenso de la temperatura (altitud, latitud y época de cultivo), acarrea una prolongación del ciclo del cultivo (Cujó, 1985).

### **2.2.2.2. El maíz y el suelo**

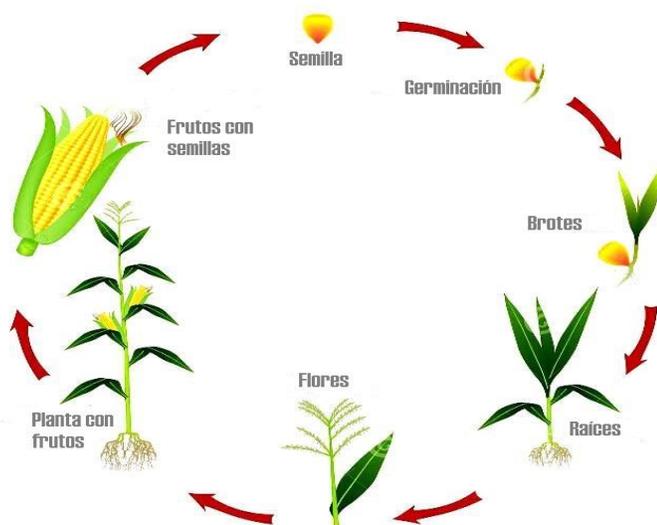
Es una planta exigente y muy sensible a las variaciones de fertilidad del suelo, por ende responde bien a la aplicación de fertilizantes y en especial al nitrógeno, el maíz muestra notoria predilección por suelos ricos en MO y dotados de adecuadas propiedades físicas (Cujó, 1985), se adapta bien a todos los tipos de suelos con pH entre 5.5 y 8 (Llanos, 1984) aunque el óptimo corresponde entre 6 y 7 son a los que mejor se adaptan, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular.

Los peores suelos para el maíz son los excesivamente pesados (arcillosos), por su facilidad para inundarse y los muy sueltos (arenosos), por su propensión a secarse excesivamente (Llanos, 1984).

### **2.2.2.3. Ciclo del cultivo**

El maíz es una planta hermafrodita, lo que significa que produce flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta. La panoja (flor masculina) produce polen, mientras que la mazorca (flor femenina) produce los óvulos que se convierten en la semilla (Endicott *et al.*, 2015).

En términos de producción, la panoja puede producir más de 1 000 000 granos de polen, y la mazorca puede producir más de 1000 estigmas, por lo que de 20 a 30 plantas podrían fertilizar todos los estigmas en 1 acre (0.405 hectáreas), pero no todo el polen desprendido por una planta cae en un estigma (Endicott *et al.*, 2015).



**Figura 2.** Ciclo de vida del maíz

### 2.2.2.3.1.

#### Etapas vegetativas y reproductivas del maíz

Las etapas vegetativas (V) (**Figura 3**) se caracterizan por la presencia del cuello de una hoja en hojas emergidas, la hoja del maíz tiene tres partes principales: el cuerpo, la vaina y el cuello. El cuerpo es la parte plana de la hoja que intercepta la luz solar; la vaina es la parte que se envuelve alrededor del tallo y el cuello es la línea de demarcación entre el cuerpo y la vaina (Endicott *et al.*, 2015).

Cuando un cuello es visible, la hoja se considera completamente emergida, las etapas vegetativas comienzan con la emergencia (VE) y continúan de forma numérica con cada hoja sucesiva hasta que emerge la panoja (VT) (Endicott *et al.*, 2015). En cambio, las etapas reproductivas (**Tabla 3**) se caracterizan por la emergencia de granos en desarrollo en la mazorca, excepto por la primera etapa reproductiva (R1), que se identifica únicamente por la emergencia de estigmas, llegando a (R6) cuando el grano ya está maduro y listo para ser cosechado (Endicott *et al.*, 2015).

Dentro del desarrollo de los estados fenológicos del maíz ocurren eventos importantes en ciertos estados (Guacho, 2014):

**V3:** El punto de crecimiento está bajo el suelo, las bajas temperaturas pueden aumentar el tiempo entre la aparición de las hojas y el daño por helada.

**V6:** En este estado se recomienda completar la fertilización, puesto el sistema de raíces nodales está bien distribuido en el suelo, también es posible observar síntomas de deficiencias de macro o micronutrientes.

**V9:** En este estado varias mazorcas rudimentarias se encuentran formadas, la panoja se desarrolla rápidamente en el interior de la planta, comenzando una rápida acumulación de biomasa, absorción de nutrientes y agua que continúa hasta el término del estado reproductivo.

**V12:** Se determina el tamaño potencial de la mazorca y número potencial de óvulos por mazorca.

En cambio las etapas reproductivas se caracterizan por la emergencia de granos en desarrollo en la mazorca, excepto por la primera etapa reproductiva (R1), que se identifica únicamente por la emergencia de estigmas de las chalas, existen 6 etapas reproductivas (Endicott *et al.*, 2015).

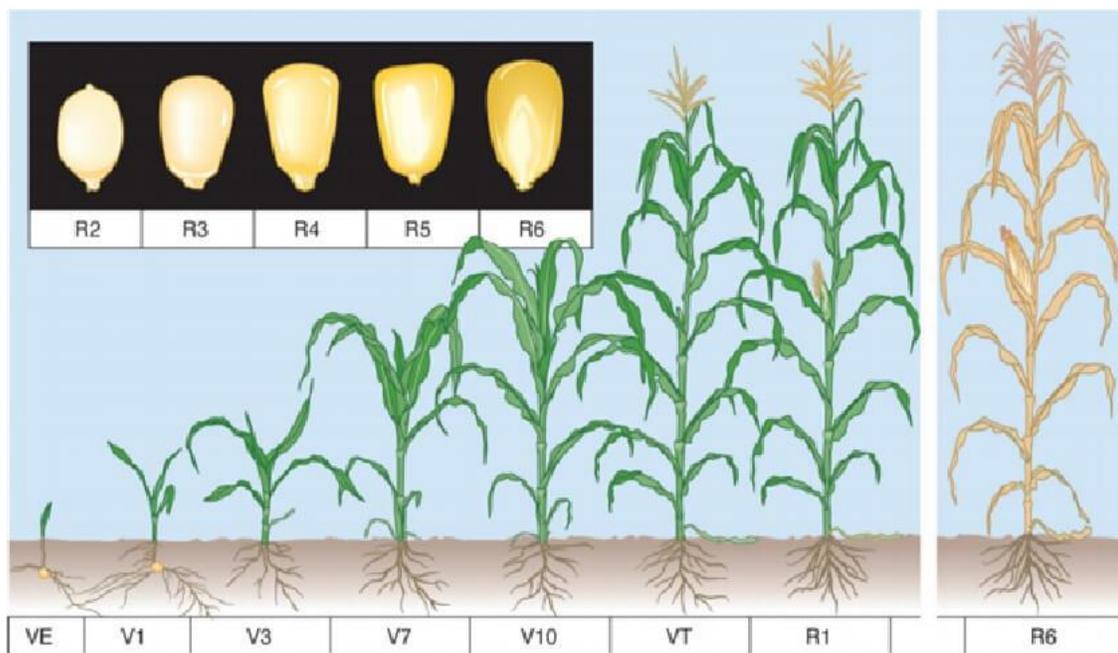
Las etapas reproductivas importantes son (figura 3):

**R1:** El número de óvulos fertilizados se determina, los óvulos no fertilizados no producen grano y mueren, el estrés ambiental afecta la polinización y cuaje. Además, a partir del inicio de este estado hasta el R5 se produce un rápido llenado del grano.

**R5:** Los granos empiezan a secarse desde la parte superior donde se forma una capa blanca de almidón, el estrés y las heladas pueden reducir el peso de los granos, llegando a R6 el grano alcanza su peso máximo y es cosechado (Guacho, 2014).

**Tabla 3.** Etapas vegetativas y reproductivas del maíz (*Endicott et al., 2015*).

Etapas vegetativas		Etapas reproductivas	
<b>VE</b>	Emergencia	<b>R1</b>	Aparición de los estigmas
<b>V1</b>	Primera hoja	<b>R2</b>	Blíster
<b>V2</b>	Segunda hoja	<b>R3</b>	Grano lechoso
<b>V3</b>	Tercera hoja	<b>R4</b>	Grano pastoso
<b>V<sub>(n)</sub></b>	Enésima hoja	<b>R5</b>	Grano dentado
<b>VT</b>	Aparición de las panojas	<b>R6</b>	Grano maduro



**Figura 3.** Etapas fenológicas del maíz.

## 2.3.

### **Clorofila o índice de verdor**

La radiación solar es un aporte fundamental para el crecimiento y desarrollo de la planta, las hojas de las plantas absorben la luz solar y la utilizan como una fuente de energía para la fotosíntesis. La capacidad de un cultivo de capturar la luz solar es proporcional al área de su superficie foliar por unidad de terreno ocupado, o al índice de su área foliar (Endicott *et al.*, 2015).

Los pigmentos clorofílicos son con toda seguridad el pigmento biológico más abundante en la tierra y debe su color verde a su capacidad de absorber las fracciones roja y azul de la luz solar, transmitiendo los demás colores cuya mezcla apreciamos en diversos tonos de verde. Las hojas pueden llegar a contener hasta 1 g de clorofila m<sup>-2</sup>, aunque esta concentración es muy variable entre especies y sobre todo depende del estado nutricional, la edad o la historia lumínica previa de la planta (Reol, 2003).

Los métodos de diagnóstico alternativos para valorar el estado nutricional de las plantas, involucran la evaluación de indicadores biológicos y el estado nitrogenado de las plantas, en tiempo real y en el propio campo, empleando para ello, entre otros, el índice de verdor a través del medidor portátil de clorofila o Minolta SPAD 502. Dicho equipo permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja por medio de la luz transmitida a través de la hoja en 650 o 940 nm. Igualmente sirve como técnica auxiliar en la toma de decisión sobre la fertilización nitrogenada debido a que la clorofila, pigmento que da color verde a las hojas y que se encarga de absorber la luz necesaria para realizar actividad fotosintética, se ha correlacionado positivamente con el contenido de N en la planta; este pigmento refleja la condición nitrogenada del cultivo (Castellanos *et al.*, 2017).

### 2.3.1. Índice de área foliar

El índice de área foliar proporciona información acerca de la cantidad de la superficie fotosintética presente con relación a la superficie total del ecosistema o área de estudio, dicho índice tiene una relación indirecta con procesos vitales como la fotosíntesis, la respiración y la productividad, ya que son las estructuras foliares las que interceptan y por tanto regulan la cantidad de luz que va penetrando a niveles más bajos del dosel (Nafarrate, 2017).

## 2.4. Biofertilizantes

La palabra fertilizante se usa de manera coloquial para referirse a los productos industriales que contienen los tres principales nutrientes que utilizan las plantas para su desarrollo como: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Se denomina fertilizante o abono a las sustancias orgánicas e inorgánicas que contienen nutrientes en formas asimilables por las plantas, que mantienen o incrementan los contenidos de estos elementos en el suelo, que mejoran la calidad del sustrato a nivel nutricional y estimulan el crecimiento vegetativo de las plantas (Guzmán, 2018).

La labranza excesiva, la pérdida de cubiertas vegetales, el uso de fertilizantes y plaguicidas, provocan que se pierda y además impiden la formación natural del humus, situación que lleva al detrimento de la fertilidad de los suelos, la cual se busca suplir con los fertilizantes químicos o recuperar con los fertilizantes orgánicos (Guzmán, 2018).

Se considera a los biofertilizantes como sinónimo de fertilizantes orgánicos, los cuales se obtienen a partir de organismos vivos, como animales, plantas, hongos y bacterias (Guzmán, 2018).

La práctica de la agricultura orgánica se está expandiendo en todo el mundo ya que las personas consideran a los productos orgánicos más saludables y amigables con el ambiente (Gross *et al.*, 2012) en la práctica orgánica, la fertilización y

acondicionamiento del suelo a menudo se realizan mediante la aplicación de enmiendas orgánicas (**Tabla 4**), como: abonos verdes de diferentes materiales vegetales (por ejemplo, harina de alfalfa, harina de semilla de algodón y cascaras de frutas), cenizas de madera, estiércol y varios abonos animales (Sayed *et al.*, 2015).

**Tabla 4.** Principales fertilizantes orgánicos o biofertilizantes (*Guzmán, 2018*).

---

#### Tipos de fertilizantes

**Abonos verdes** Son plantas que se cultivan para ser enterradas en el suelo preferentemente en floración, su función es incrementar la materia orgánica del suelo, aumentar la actividad microbiana y aportar nutrientes.

---

**Bioinoculantes** También conocidos como inoculantes microbianos e inoculantes del suelo, son productos que contienen microorganismos vivos o latentes concentrados (bacterias y hongos). Los cuales ayudan a estimular el crecimiento vegetativo y contribuir con el control de patógenos.

---

**Estiércoles** Se obtienen a partir de los animales de granja, que generalmente contiene restos de materia vegetal, estos aportan nitrógeno y materia orgánica al suelo.

---

**Compostas** Se produce a partir de la mezcla de materiales orgánicos como: residuos agropecuarios y alimentos del hogar, ayudando a mejorar las condiciones físicas del suelo, aportando nutrientes y estimula el crecimiento de la planta.

---

---

**Lombricompostas** Es el producto que resulta de la cría y reproducción de lombrices detritívoras, que se alimentan de excrementos y materia orgánica en descomposición, cumpliendo las mismas funciones que la composta.

---

**Extractos húmicos** Se obtiene por el tratamiento de humus que puede provenir de la turba natural, compostas y lombricompostas, ayudando a la germinación de semillas, crecimiento vegetativo, absorción de nutrientes y retención de humedad.

---

**Guanos** Se originan por la acumulación masiva de excrementos de aves marinas, focas y murciélagos, en ambientes áridos y secos, teniendo un alto contenido de nitrógeno, fosforo y potasio.

---

#### 2.4.1. Extracto de alga

Un fertilizante orgánico de gran importancia en la actualidad es el extracto de algas, estos son materiales bioactivos naturales solubles en agua que promueven la germinación de semillas, incrementan el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Los extractos de algas pueden ser utilizados como suplementos nutricionales, bioestimulantes o fertilizantes en la agricultura y horticultura, el cual se puede aplicar vía foliar o directamente al suelo (Zermeño *et al.*, 2015).

Los bioestimulantes en su mayoría tienen un origen biológico, caracterizados por contiene sustancias y/o microorganismos que tienen el potencial de estimular los procesos naturales del suelo o de las plantas que conducen a una variedad de beneficios agrícolas. La composición de los bioestimulantes se ha categorizado ampliamente de acuerdo con grupos químicos como aminoácidos, quitosano, extractos de algas, sustancias húmicas y otros agentes potencialmente bioactivos (Abbott *et al.*, 2018).

De esta manera se puede comentar que las algas que son plantas talofitas, unicelulares o pluricelulares, que viven perfectamente en el agua, tanto dulce como marina y que en general contienen grandes cantidades de clorofila, que en ocasiones contiene otros pigmentos de colores variados, siendo común encontrarlas en distintos ambientes y en lugares con poca luz a grandes profundidades (López, 2015).

Los principales beneficios que aportan al cultivo las algas son (Fernando, 2008):

- Crecimiento vigoroso
- Plantas más fuertes
- Incremento en la absorción de nutrientes minerales
- Aumento en la producción vendible
- Además de ser amigable con el suelo y el ambiente.

Presentan un efecto positivo sobre la actividad biológica del suelo en la respiración y movilización del nitrógeno, ya que promueve la diversidad microbiana, creando así un medio ambiente adecuado para el crecimiento de la raíz (Zermeño *et al.*, 2015).

#### 2.4.2. **Microalgas: *Dunaliella salina*.**

Al existir una demanda de alimentos es necesario implementar tecnologías nuevas para ofrecer productos libres de residuos tóxicos a los consumidores, por lo que en la agricultura se están implementando técnicas sostenibles, como el uso de biofertilizantes y bioestimulantes para aumentar el crecimiento, el rendimiento de las plantas y la calidad de las cosechas y de esta manera reducir el empleo de productos químicos que ocasionan toxicidad a la salud humana y al agroecosistema. Por lo que la implementación de microalgas como *Dunaliella salina* en los cultivos ha beneficiado la cadena de alimentos humanos, marinos y la industria farmacéutica (Pérez *et al.*, 2020).

Los extractos de microalgas han dado resultados positivos en plantas cultivadas en condiciones de invernadero y de campo tales como, bulbos (papa, zanahoria,

remolacha, boniato), frutales (limón, plátano, melocotón, peral), hortalizas (tomate, pimiento, salmuera), granos (arroz, maíz), leguminosas (guisante, granos negros, granos verdes, frijol común) y flores (orquídea, rosa, flor del sol) o en condiciones de cultivo in vitro (Arabidopsis, tomate, brinjal, mijo) (Pérez *et al.*, 2020).

Es posible combinar los extractos de microalgas con fertilizantes inorgánicos y orgánicos permitiendo alcanzar una productividad agrícola sostenible ya que contienen nutrientes mayores y menores tales como aminoácidos, vitaminas, citoquininas, auxinas, ácido abscísico los cuales son sustancias que ayudan al crecimiento de las plantas y el rendimiento del cultivo (Zhang *et al.*, 2014).

La incorporación de microalgas al suelo incrementa el rendimiento y favorece la calidad de los frutos básicamente porque se administra a los cultivos no solo los macro y micronutrientes que requiere la planta, si no también sustancias naturales cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento y controlan algunas plagas y enfermedades de las plantas (López, 2015).

Los alimentos cultivados orgánicamente son atractivos para las comunidades científicas y no científicas, ya que los beneficios asociados con los alimentos orgánicos siguen siendo fundamentales en la investigación y producción (Sayed *et al.*, 2015).

#### **Taxonomía de *Dunaliella salina*.**

**Dominio:** Eukarya  
**Reino:** Plantae  
**Subreino:** Viridiplantae  
**División:** Chlorophyta  
**Clase:** Chlorophyceae  
**Orden:** Volvocales  
**Familia:** Dunaliellaceae  
**Género:** *Dunaliella*  
**Especie:** *Dunaliella salina*

*Dunaliella salina* es un género de algas unicelulares que pertenecen a la familia Dunaliellaceae, es un alga verde unicelular de 8-25 micrones de longitud y de 5-15

micrones de ancho, se desplaza en el agua por medio de dos flagelos situados en la parte apical de la célula (López, 2008).

Contiene cloroplasto, pirenoide, núcleo, mitocondria, vacuolas pequeñas y aparato de Golgi, carece de una pared rígida, se reproducen por división longitudinal de la célula móvil o por fusión de dos células móviles para formar un cigoto, se desarrolla en depósitos de agua salada en zonas de condiciones climáticas rigurosas, siendo una especie que tolera la salinidad (López, 2008).

#### 2.4.2 Fertilizantes Inorgánicos

Son conocidos como minerales o químicos, son los que se producen por síntesis química o se encuentran en yacimientos naturales y están compuestos fundamentalmente por minerales de N, P y K, cuando contienen un solo elemento se les conoce como simples y cuando contiene más de uno son compuestos (Tabla 5) (Guzmán, 2018).

**Tabla 5.** Fertilizantes inorgánicos simples (Guzmán, 2018).

<b>Fertilizantes inorgánicos simples</b>	
<b>Nitrogenados</b>	Para su elaboración se utiliza el nitrógeno atmosférico, el cual mediante altas presiones y temperaturas se hace reaccionar con el hidrogeno para obtener amoniaco, el cual puede ser utilizado como fertilizante y es la materia prima de la mayoría de los fertilizantes nitrogenados.
<ul style="list-style-type: none"><li>• Amoniaco anhidro</li><li>• Nitrato de amonio</li><li>• Sulfato de amonio</li><li>• Urea</li></ul>	
<b>Fosfatados</b>	La roca fosfórica es la materia principal que se utiliza para fabricarlos, la cual puede ser utilizada de forma directa como fertilizante.
<ul style="list-style-type: none"><li>• Superfosfato simple</li><li>• Superfosfato triple</li></ul>	

---

**Potásicos**

- Cloruro de potasio
- Sulfato de potasio

Se obtienen a partir de sales potásicas obtenidas en yacimientos naturales de carnalita y silvinita, las cuales son sometidas a procesos de depuración y tratamientos químicos para obtener los fertilizantes.

---

Los fertilizantes compuestos de mayor uso en la agricultura son: fosfato mono amoniaco, fosfato di amoniaco, fosfato mono potásico y fosfonitrato de amonio (Guzmán, 2018).

## 2.5. Análisis proximal

Los alimentos de interés social son aquellos de consumo masivo, de alta aceptabilidad, pero con valor nutricional mejorado y de bajo costo, que aseguren un adecuado aporte de nutrientes, a fin de contribuir a un buen estado nutricional (Galán *et al.*, 2013).

El análisis químico y biológico de los alimentos o bromatología analítica inicia su operación como ciencia en los siglos XIX y XX, por un método desarrollado por los científicos, Henneberg y Stohman, de la estación experimental de Weende en Alemania, en dicho método los alimentos son evaluado en términos de 6 componentes: humedad, cenizas, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno (Reyes y Mendieta, 2000), por lo cual es considerado indispensable para el estudio alimenticio, esta disciplina abarca el estudio alimentario de manera científica e integral siendo sus principales propósitos la valoración de las propiedades nutricionales y composición de los alimentos naturales y procesados (Quispe y Argani, 2014).

### 2.5.1. Valor nutrimental del maíz

El maíz está compuesto de 70% a 75% de almidón, 8% a 10% de proteína, 4% a 5% de lípidos, 1% a 3% de azúcares y 1% a 4% de cenizas, los granos inmaduros contienen niveles relativamente altos de azúcar y menores cantidades de almidón, proteína y lípidos, ya que estos se acumulan durante la maduración (Mansilla, 2018).

En cambio, el grano como alimento (**Tabla 6**) para el hombre no se le reconoce tan elevado valor nutritivo, debido a su falta relativa de gluten que hace su harina una materia poco panificable, no obstante, constituir la base de la alimentación humana en amplias áreas de África, Centro y Suramérica.

**Tabla 6.** Valor nutritivo del maíz en comparación con otros cereales (Llanos,1984).

	<b>Valor nutritivo</b>	<b>Materia nitrogenada</b>	<b>Materia grasa</b>	<b>Hidratos de carbono</b>
<b>Trigo</b>	71.3	10.2	1.2	64.4
<b>Centeno</b>	71.3	9.6	1.1	64.9
<b>Cebada</b>	72	6.6	1.9	73.7
<b>Avena</b>	59.7	8.0	4.0	47.7
<b>Maíz</b>	81.5	7.1	3.9	67.0

Los componentes básicos del grano de maíz en porcentaje medio (**Tabla 7**), en peso de materia seca, son los siguientes:

**Tabla 7.** Porcentajes de nutrientes en el grano de maíz en seco (*Llanos, 1984*).

---

---

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje</b>
Carbohidratos	80
Proteínas	10
Aceite	4.5
Fibra	3.5
Minerales	2.0

---

#### **2.5.1.1. Humedad**

El agua es la sustancia más simple del alimento, la cual influye en la estabilidad de los alimentos durante su almacenamiento, puesto que favorece el desarrollo de microorganismos y la actividad enzimática. Los alimentos contienen agua desde fracciones del 1% hasta cantidades superiores al 90% (Reyes y Mendieta, 2000).

El contenido de humedad en los granos de cereales no rebasa el 25%, por lo que a mayor porcentaje de humedad, menor porcentaje de materia seca, lo cual es de importancia económica puesto que el precio de los alimentos se da incluyendo el contenido de agua y no el precio de la materia seca (Reyes y Mendieta, 2000).

#### **2.5.1.2. Cenizas**

Las cenizas representan el contenido inorgánico del alimento, al incinerar la muestra la MO es oxidada y el residuo restante contiene la materia mineral (cenizas). Al determinar las cenizas, se permite determinar el contenido de MO de los alimentos (Reyes y Mendieta, 2000).

Los minerales son nutrientes esenciales que intervienen en más de un centenar de reacciones enzimáticas, además de ejercer funciones en la síntesis de macronutrientes y en procesos fisiológicos en el organismo humano, su absorción depende del contenido mineral y su forma química en el alimento (Galán *et al.*, 2013).

El contenido de minerales en el maíz oscila entre 1.0% y el 1.3% (Mansilla, 2018), los cuales incluyen bastante potasio, fósforo, magnesio, hierro y muy poco calcio (Roger, 2006).

### **2.5.1.3. Proteínas**

Las proteínas poseen un papel fundamental en la nutrición, ya que proporcionan nitrógeno y aminoácidos que podrán ser utilizados para la síntesis de proteínas y otras sustancias nitrogenadas, cuando se ingieren aminoácidos en exceso y grasa de la dieta no es suficiente para cubrir las necesidades energéticas, las proteínas se utilizan en la producción de energía (Badui, 2006).

La proteína bruta agrupa las sustancias nitrogenadas contenidas en el alimento, es decir proteína verdadera y otros compuestos nitrogenados de naturaleza no proteica (Reyes y Mendieta, 2000).

El contenido de proteínas en maíz puede oscilar entre 8% y un 10% del peso del grano y en su mayor parte se encuentra en el endospermo (Lunven, 1993).

Las proteínas de maíz se clasifican en cuatro fracciones según su solubilidad como prolaminas, albúminas, globulinas y glutelinas. Las prolaminas o zeinas representan el principal tipo de proteína más abundante de la semilla (aproximadamente 52% del nitrógeno del grano), son solubles en etanol e insolubles en agua, siendo deficiente en lisina y en triptófano y altas concentraciones de leucina/isoleucina (Mansilla, 2018).

#### **2.5.1.4. Fibra cruda**

La Fibra cruda teóricamente está constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina, la importancia en determinarla, influye en la digestión y por lo tanto en cómo puede ser utilizado un alimento (Reyes y Mendieta, 2000).

Estudios comparativos sobre la composición química de varios granos de cereales han demostrado que el maíz tiene un mayor contenido de fibra (2%) (Mansilla, 2018).

#### **2.5.1.5. Extracto etéreo**

Las grasas y los aceites son los principales lípidos que se encuentran en los alimentos y contribuyen a la textura y en general a las propiedades sensoriales y de nutrición (Badui, 2006).

El contenido de lípidos en maíz se ve afectado por factores ambientales y prácticas agronómicas como fecha de siembra, ubicación geográfica, temperatura, precipitaciones, fertilización, entre otras. Se concentran exclusivamente en las células de la porción del escutelo del germen que va del 76 % al 83% (Mansilla, 2018). También es rico en ácidos grasos mono y poliinsaturados, sobre todo en ácido linoleico, de la grasa del maíz se extrae aceite, el cual es muy nutritivo (Roger, 2006).

#### **2.5.1.6. Carbohidratos**

Los hidratos de carbono o carbohidratos ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) son compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, los  $\text{CH}_2\text{O}$  son los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza y también más consumidos por los seres humanos, constituyendo entre el 50 y 80% de la dieta poblacional. Los hidratos de carbono que provienen del reino vegetal son más variados y abundantes que los del reino

animal, se originan como producto de la fotosíntesis y son los principales compuestos químicos que almacenan la energía del sol (Badui, 2006).

La glucosa que se sintetiza en las plantas representa la materia prima fundamental para la fabricación de casi todos los carbohidratos como: sacarosa, fructuosa, celulosa y el almidón (Badui, 2006).

El almidón es el carbohidrato de reserva más abundante en los tejidos vegetales (Bolaños *et al.*, 2003).

### 3.

En la comunidad del Ejido de San Marcos Yachihuacaltepec el cultivo de maíz, es uno de los principales ingresos de los agricultores. En los últimos años se ha notado que el desarrollo del maíz ~~cada vez~~ es de menor calidad y el rendimiento es bajo, esto se debe al uso excesivo de agroquímicos los que afectan la calidad del suelo y por ende el desarrollo del maíz.

En la actualidad la agricultura sostenible y de la conservación ha tenido gran impacto en la sociedad al emplear fertilizantes orgánicos ya que tiene como objetivo reducir al mínimo la perturbación del suelo y utilizar cubierta vegetal y sistemas de rotación de cultivos, lo cual ayuda a minimizar costos y aumentar los rendimientos. Este tipo de prácticas mejoran el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo, reduciendo la erosión y benefician el contenido nutrimental de las plantas y en este caso del maíz, acercando los valores a los recomendados por ILSI (2006).

Por lo que implementar el uso de biofertilizantes, en este caso las microalgas, es una propuesta para los agricultores de la comunidad, ya que los beneficios en el cultivo pueden equilibrar la oferta y la demanda de los nutrientes, disminuyendo la perturbación del suelo y aumentando el rendimiento.

## 4. OBJETIVOS

### **Objetivo general**

Comparar una mezcla de enmienda de fertilizante químico (urea) y bioestimulante (extracto de *Dunaliella salina*) contra Urea, en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) para conocer los cambios en sus parámetros morfométricos, clorofila y bromatológicos de la planta para sugerir el uso de la mezcla.

### **Objetivos específicos**

Caracterizar las propiedades físicas del suelo en el cultivo de maíz mediante la medición de parámetros de pH, CE y textura.

Comparar la morfometría del cultivo y contenido de clorofila de maíz en los tratamientos empleados: químico (urea) y químico más bioestimulante (extracto de alga) durante su crecimiento.

Evaluar la calidad proximal del grano de maíz en los dos tratamientos del cultivo de maíz para conocer las diferencias nutricionales de la planta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Zona de estudio

El p  
Yaci  
a 19  
(INE



**Figura 4.** Ubicación geográfica de la zona de estudio, Ejido de San Marcos Yachihuacaltepec, escala 500m (INEGI, 2020).

El clima es templado entre 12 y 18°C, la concentración pluvial se concentra durante los meses de verano y los inviernos son secos, presentando una precipitación de 800mm, favoreciendo la agricultura temporal (INEGI, 2001).

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Edafología y ambiente de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex).

El suelo es andisol, y se caracteriza por presentar alta fijación de fosfatos y baja densidad, además de ser derivados de materiales volcánicos (Jaramillo, 2002).

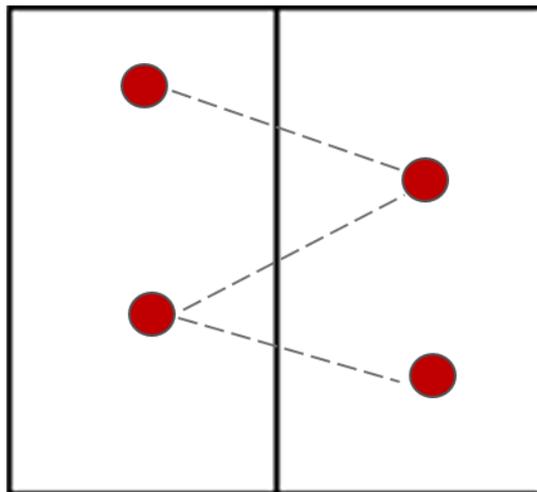
## 5.2. Colecta de muestras de suelo

El m  
de c  
de la

Para  
un k  
refer

muestras las cuales fueron colocadas en bolsas de plástico etiquetadas y transportadas al Laboratorio de Edafología y Ambiente, de la UAEMex.

Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente durante 2 semanas, posteriormente se molieron y pasaron por un tamiz de 2 mm.



**Figura 5.** Puntos de muestreo de suelo en parcela.

Una vez terminado el muestreo de suelo se esperó 20 días para realizar la siembra de m

5

La d

Norr

en u

Bou,

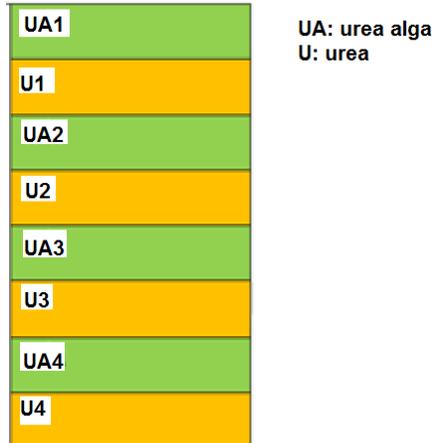
el m

proc

#### **Aplicación de fertilizantes: químico y orgánico en el cultivo de maíz.**

Posterior a la siembra del maíz, la parcela fue dividida en 8 bloques. Dichos bloques se etiquetaron de acuerdo al tratamiento que se le colocó con 4 repeticiones cada uno: urea (U) y urea más extracto de alga (UA) como se muestra en la **figura 6**.

Para la aplicación del bioestimulante (extracto de alga), este se preparó en una porción de 1gr/1L, se colocó 50 mL de solución por plántula, y posteriormente 15 días después de la primera aplicación se realizó una segunda aplicación, a diferencia del fertilizante químico (urea) el cual solo se realizó en una sola aplicación como acostumbran los agricultores en la comunidad, el cual se aplicó 1 puño (100 gr aproximadamente) por plántula.



**Figura 6.** Representación de los tratamientos

### 5.3. Muestreo morfométrico y de clorofila

Las medidas morfométricas de la planta de maíz se llevaron a cabo en 3 visitas a la parcela, las cuales se establecieron en un rango de 30 días de diferencia (20- junio, 12- julio y 20 agosto), evitando el efecto del borde de cada bloque. Se tomó como punto de partida el centro de cada bloque, para medir la altura de la planta, el largo y ancho de 3 hojas (maduras) con ayuda de una cinta métrica de un metro (cm), midiendo a 10 plantas de maíz de cada bloque, para posteriormente determinar el índice de Área Foliar (IAF) según Montgomery y Runger (2003), utilizando la siguiente formula:

$$\text{IAF} = \text{largo de la hoja (cm)} * \text{ancho de la hoja (cm)} * 0.75 \text{ (coeficiente de corrección para maíz).}$$

La clorofila se determinó utilizando el aparato SPAD-502, el cual mide instantáneamente el contenido del pigmento, que se utilizó para determinar el índice de verdor, esta fue tomada en las mismas fechas y repeticiones que las medidas morfométricas. El muestreo de clorofila se llevó a cabo en 3 surcos que se encontraron en la parte media de cada bloque evaluando 20 plantas por surco, dicho proceso se realizó para los 8 bloques.

Las  
1 rep  
y Ec  
mazorca

## **Muestreo de maíz**

5

Una  
cual  
pesa  
dura  
obte

realizar el análisis proximal en el Laboratorio de Bromatología en la Facultad de Veterinaria y Zootecnia, UAEMex.

5.5.

### **Análisis bromatológico de Maíz**

El análisis bromatológico se realizó siguiendo el método que se indica en la Asociación de químicos analíticos oficiales (AOAC, 2002).

#### **5.5.1. Humedad**

Para determinar el contenido de humedad en el maíz se pesó 10 g de muestra por duplicado, la cual fue colocada en crisoles etiquetados y en peso constante, registrando el peso exacto de la muestra y del crisol, posteriormente se metieron los crisoles en la estufa a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  durante dos horas, pasadas el tiempo se sacaron los crisoles y colocaron en el desecador durante 15 minutos mientras se enfriaba la muestra, se pesaron y anoto el peso.

Para  
form

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{peso de la muestra húmeda} + \text{crisol}) - (\text{peso de la capsula})}{\text{peso de la muestra}} * 100$$

## Cenizas

5

Se p  
los d  
de 5

colocaron en el desecador hasta enfriarse, se pesaron y anotó el peso, para  
posteriormente determinar el contenido de cenizas utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas totales} = \frac{(\text{Peso de crisol} + \text{cenizas})}{\text{peso de muestra}} * 100$$

5.5.3.

## Grasas

Para calcular el contenido de grasas se siguió el método de Goldfish, el cual consiste en una extracción continua por disolvente en donde la muestra se le hace pasar vapor de disolvente y la grasa se cuantifica por pérdida de peso en la muestra o por grasa removida, para esto se pesó 3 g de muestra en papel filtro para colocarlos en los tubos de celulosa, posteriormente en crisoles a peso constante se agregó 10 mL de éter de petróleo y 5 perlas de ebullición, registrando el peso exacto de la muestra y del crisol. Las muestras y los crisoles fueron colocados en el equipo extractor de grasas durante 2 horas, finalizado el tiempo se retiraron los crisoles y pesaron.

Para

$$\% \text{ Grasa} = \frac{(\text{pesodecrisol} + \text{grasa}) - (\text{pesodecrisol})}{\text{pesodecrisol}} * 100$$

**Proteína bruta**

5

Para

dete

prote

dige

en e

cont

se retiraron del digestor y se dejaron enfriar durante 20 min para proceder a destilar las muestras, se le agrego a los tubos 20 mL de agua destilada y se mezcló en el tubo de manera que no creara cristales, así mismo se prepararon matraces Erlenmeyer de 250 mL a los cuales se les agrego 60 mL de ácido bórico al 4% y se colocó en el destilador Büchi junto con el tubo ya digerido, automáticamente se le añade el NaOH y comenzó la destilación, pasados 2.5 minutos el ácido bórico cambia de color morado a verde oscuro. Finalizada la destilación continúa la titulación con ácido clorhídrico (HCl) al 0.1N, el color del contenido del matraz tiene que cambiar a rosa oscuro y se registraron los ml de HCl gastados.

Para determinar el contenido de proteínas se utilizó la siguiente formulas:

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{(\text{GHClm} \times 0.1 \times 1.401)}{\text{pesodelamuestra}}$$

$$\% \text{Proteína bruta} = \% \text{Nitrógeno} \times 6.25 \text{ (factor)}$$

5.5.5.

## **Carbohidratos totales (CT)**

Los carbohidratos se calcularon por el método por diferencia, el cual consiste en sumar los porcentajes de todos los análisis:

## **Análisis estadístico**

**5**

El di  
parcial, pero también se aplicó la prueba de t-Student con un nivel de confianza del  
95% utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS CENTURION.

## 6. RESULTADOS

6

En la  
pH, t

La t<sup>e</sup>  
59.6 El pH fue de  $4.8 \pm 0.15$  y se clasificó como fuertemente ácido de acuerdo NOM-021-2001.

La conductividad del suelo de cultivo fue de  $0.19 \pm 0.05$  dS/m de acuerdo NOM-021-2001) este suelo contiene un bajo contenido de sales y presenta efectos despreciables de la salinidad.

En cuanto a la cantidad de MO presente en el suelo se tuvo un valor promedio de  $3.9 \pm 1.02$  % que de acuerdo con la NOM-021-2001 y León (2016) se encuentra con un contenido alto, y esto presupone que los nutrientes se encuentran elevados en el suelo lo que permiten un buen desarrollo del cultivo.

**Tabla 8.** Caracterización de propiedades físico-químicas del suelo.

Partículas				pH	CE (dS/m)	MO (%)
Textura (%)						
Arena	Limo	Arcilla	Franco arenoso			
59.6	18	22.4		$4.8 \pm 0.15$	$0.19 \pm 0.05$	$3.9 \pm 1.02$

Simbología: pH= potencial de hidrogeno, CE= conductividad eléctrica y MO= materia orgánica

## 6.2. Contenido de clorofila

Como se observa en la **Tabla 9**, el índice del área foliar de ambos tratamientos no mostró diferencias significativas ( $p>0.6$ ), ni se vio influenciada por el índice de verdor, sin embargo, en cuanto al índice de verdor si se observaron diferencias significativas ( $p<0.04$ ).

**Tabla 9.** Promedios de Índice de área foliar e índice de verdor en los tratamientos.

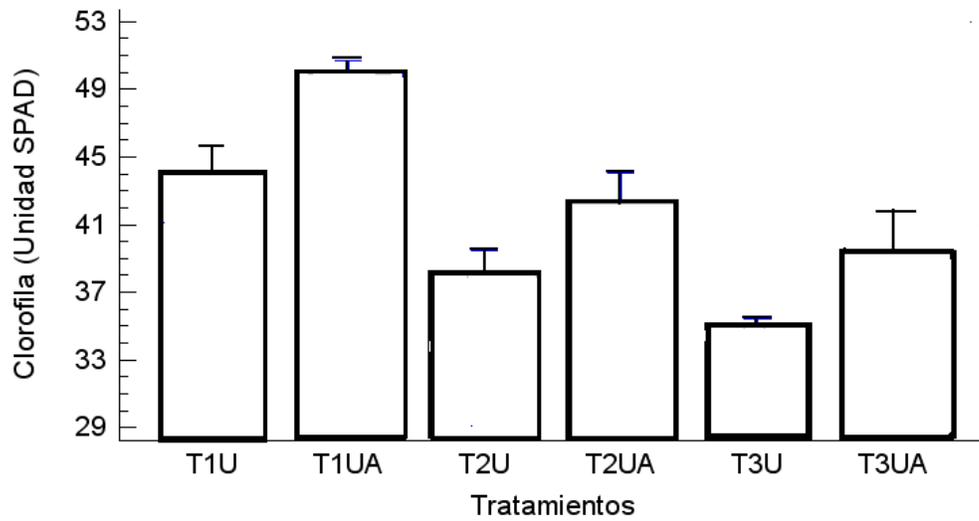
TRATAMIENTO	$\bar{x}$ Índice de Área foliar (cm)	$\bar{x}$ Índice de verdor (Unidades SPAD).
UA	375.09±113.81	41.9 ±5.3*
U	399.24±109.07	37.5 ±4.6*

Datos de las media± desviación estándar, donde se muestra diferencias significativas de la prueba de t-student ( $p<0.05$ )\*

En la **Figura 7** se observa un comportamiento de los dos tratamientos: urea (U) y urea más extracto de alga (UA).

En los 3 tiempos que contienen: 2 etapas vegetativas T1 (V6) y T2 (V10) y una reproductiva T3 (R1), los valores obtenidos indican que siempre presentó más clorofila el tratamiento UA con respecto a U. Así también el tratamiento UA estuvo por encima de su contenido de clorofila con respecto al tratamiento U en todo el experimento.

En el primer tiempo se reportó para T1UA (47.95±2.4 Unidades SPAD) y T1U (42.6 ± 2.2 Unidades SPAD), en el segundo tiempo T2UA (40.8 ± 2.4 Unidades SPAD) y T2U (35.5 ± 4.4 Unidades SPAD) y en el tiempo final T3UA (37.04 ± 3.4 Unidades SPAD) y T3U (34.3 ± 0.86 Unidades SPAD).

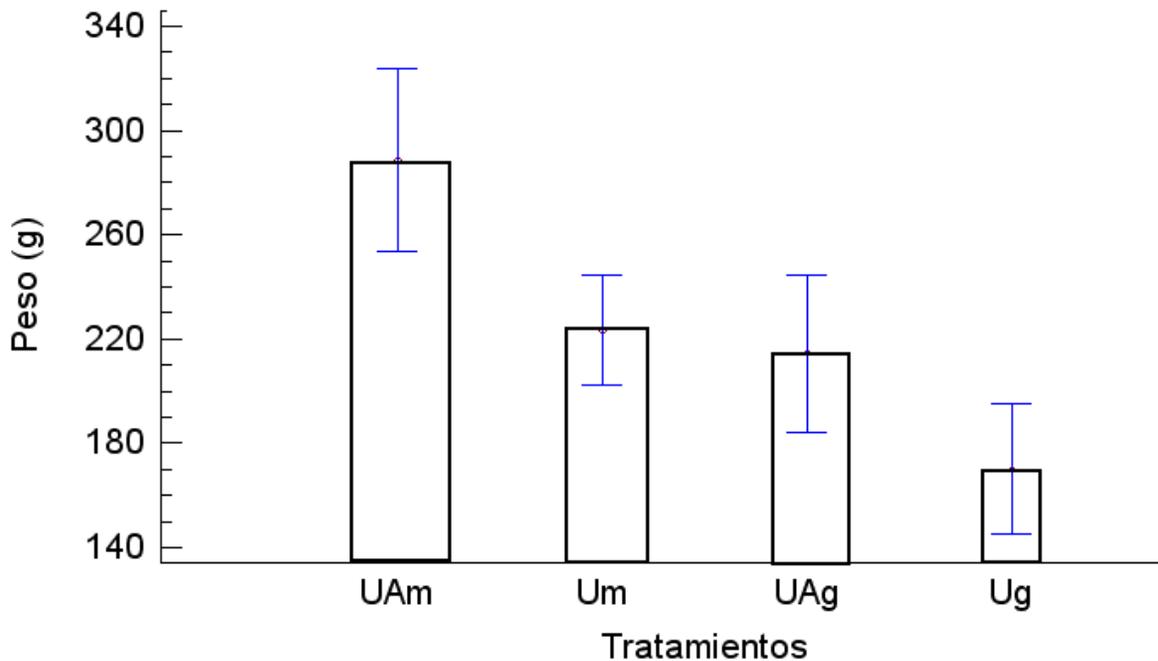


**Figura 7.** Comportamiento del contenido de clorofila (unidades SPAD) a través del crecimiento. Simbología: T= tiempo, etapas vegetativas 1=V7, T2=V10 y 3= R1 son etapas reproductivas, que son tiempos de lectura de la clorofila. Simbología U= urea y UA=urea + extracto de alga. Prueba de t-student ( $p < 0.05$ ).

### 6.3. Morfología de cultivo: cualitativas

De acuerdo con la **Figura 8** se observa que el peso de la mazorca y grano presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los tratamientos y para el tratamiento UA fue considerablemente mayor con respecto a U.

El peso de la mazorca tuvo un promedio de  $289 \pm 22$  g para UA con respecto a  $223.3 \pm 13$  g del tratamiento U. Con respecto al peso del grano este presentó un valor promedio de UA de  $214.3 \pm 18$  g con respecto a  $170 \pm 15$  g del tratamiento U, siendo mayor el peso en UA.



**Figura 8.** El Peso de mazorca y grano de maíz en los dos tratamientos. Simbología: UAm= urea + extracto de alga de m=mazorca y Um= urea en mazorca, UAg= urea+ extracto de alga en g=grano, Ug= urea en g=grano. Prueba de t-student ( $p < 0.05$ ).

Así mismo se muestra en la **Tabla 10** que las plantas con mayor altura en el tiempo 1 fueron las del tratamiento U, sin embargo, en los tiempos 2 y 3 las de mayor altura correspondieron al tratamiento UA con un promedio de 161.81cm y 197.25 cm

respectivamente, el tratamiento UA obtuvo valores más altos en longitud y el ancho de las hojas en los 3 tiempos y con mayor porcentaje de humedad para UA.

**Tabla 10.** Características cuantitativas del cultivo de maíz.

Tiempo/muestra	UA			U		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
<b>Altura planta (cm)</b>	55.1±19.7	161.8±7.4	197.2±9.7	57.6±18	112.8± 30.5	176.1±19.3
<b>Longitud de la hoja (cm)</b>	66.6±4.8	84.6±10.7	98.5 ±5.5	63.8 ±9.1	84.1±7	102.3±10.9
<b>Ancho de la hoja (cm)</b>	6.2±0.5	7.35±0.70	8.5 ±0.5	5.4±0.9	6.98±0.94	8.1±0.8
<b>Peso mazorca (g)</b>		289 ±22.1			223.3±13.23	
<b>Humedad (g)</b>		5.5±1.03			4.19±2.34	

#### 6.4. Calidad proximal del grano de maíz

La calidad del grano de maíz depende de su constitución física, que determinan la textura y dureza, y su composición química, que define el valor nutricional.

Con relación a la **Tabla 10** se observa que el porcentaje de cenizas presentó diferencias significativas entre los dos tratamientos siendo el mayor contenido para UA (4.6 ± 1.3 %) con respecto a U (1.5 ± 0.01 %).

El contenido de humedad, proteína y grasas no presentaron diferencias significativas entre los dos tratamientos y su comportamiento fue similar. El contenido de proteína para UA (7.3± 0.5 %) y U (6.6 ± 0.7 %) y el contenido de grasas para UA (3.9 ± 0.6 %) y U (3 ± 0.7 %). Pero para el contenido de

carbohidratos si hubo diferencias significativas siendo mayor el contenido en el tratamiento U ( $82.6 \pm 2 \%$ ) con respecto a UA ( $80.2 \pm 2 \%$ ).

**Tabla 11.** Contenido proximal del grano de maíz.

Parámetros	Tratamientos	
	UA	U
<b>Cenizas (%)</b>	$4.6 \pm 1.30^{***}$	$1.5 \pm 0.01^{**}$
<b>Humedad (%)</b>	$4 \pm 1.03^{(*)}$	$5.7 \pm 2.34^{(*)}$
<b>Proteína (%)</b>	$7.3 \pm 0.50^{(*)}$	$5.7 \pm 2.34^{(*)}$
<b>Grasas (%)</b>	$3.9 \pm 0.66^*$	$3 \pm 0.07^*$
<b>Carbohidratos (%)</b>	$80.2 \pm 2.19^{(*)}$	$82.6 \pm 2.60^{(*)}$

Símbolos de los tratamientos: UA=urea + extracto de alga, U= urea. Prueba de t-student. \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.01$ , \* $p \leq 0.05$  y (\*)  $p < 0.1$ .

## 7. DISCUSION

### 7.1. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el cultivo de maíz

El uso de enmiendas es de utilidad para incorporar materia orgánica en los suelos de cultivo, por este motivo, usar bioestimulantes como el extracto de alga ayudan al desarrollo y crecimiento de la planta (Abbott *et al.*, 2018). Por lo que la adición de un bioestimulante al suelo junto con el fertilizante químico facilita el crecimiento de la planta.

Las propiedades físicas y químicas del suelo aportan información valiosa como es el caso de la textura del suelo la cual fue determinada este estudio y resultó de tipo A-A (suelo franco arenoso), el cual se caracteriza por ser un suelo cohesivo (Ciancaglini, 2010).

Una característica favorable del cultivo de maíz es su adaptación a distintos suelos en los cuales se pueden producir buenas cosechas utilizando las técnicas adecuadas, los suelos arenosos y arcillosos son los que menos favorecen el cultivo, en el caso de los primeros son muy sueltos y tienden a secarse excesivamente y los segundos se caracterizan por ser muy pesados y tienden a inundarse con facilidad. Por lo que los suelos idóneos son los de texturas medias (francos), siendo fértiles, bien drenados, profundos y tienen una elevada capacidad de retención de agua (Llanos, 1984).

Con relación al pH, los cultivos prefieren un pH con valores de 6.0 – 7.2, y para el cultivo de maíz se desarrolla bien en un pH de 6.5.

El pH del suelo estudiado fue de  $4.8 \pm 0.15$ , ubicándose por debajo de lo recomendado para el cultivo de maíz de acuerdo al Manual de fertilizantes (1990), aunque Llanos (1984) menciona que la mayoría de los cultivos prosperan mejor en suelos con pH de 6 a 7, sin embargo, el cultivo de maíz tiene una resistencia a los suelos ácidos y alcalinos, siendo cultivado en suelos con pH de 5.5 a 8. En este caso el pH fue muy bajo adaptándose el cultivo a esta característica.

Sin embargo, se debe considerar que los suelos muy ácidos ( $<5.5$ ) tienden a presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso, a diferencia de los suelos muy alcalinos ( $>8.5$ ), los cuales tienden a dispersarse (FAO, 2020). La movilidad de los nutrientes en el suelo es importante ya que permite planificar la disponibilidad para las plantas, esto influye en el tipo de fertilizante empleado, la dosis y la frecuencia, así como el método de aplicación, por lo que la movilidad de los nutrientes en el suelo en su forma iónica depende de su carga, del pH, la temperatura y la humedad (Barrera *et al.*, 2010).

El contenido de MO es alto en el suelo ( $3.9\pm 1.02$  %), de acuerdo a la NOM 021 (2000). Constituye un componente dinámico que en muchas propiedades ejerce una influencia dominante física, química y biológica, encargándose de proveer especialmente nitrógeno a las plantas ayudándolas en su desarrollo (Julca *et al.*, 2006). Así mismo beneficia la calidad del suelo y los cultivos, mejorando el desarrollo y rendimiento de las plantas (Corbella *et al.*, 2006; FAO, 1996).

La textura y la MO forman la fase sólida del suelo, la primera ocupa el 45% de volumen y la segunda sólo el 5% e incluye residuos vegetales en descomposición y microorganismo. Sin embargo, la disponibilidad de la MO depende del pH que al mineralizarse la MO aumenta su disponibilidad del Nitrógeno favoreciendo la fertilidad del suelo (Carvajal, 1997).

Con relación a la CE está presente un valor no significativo de salinidad ( $0.19\pm 0.05$ ), de acuerdo a la NOM-021 (2002), por lo que el desarrollo del cultivo no se vio afectado por las sales. Estudios indican que el contenido de sales, interfieren en el crecimiento de la mayoría de las plantas, que mediante la conductividad eléctrica (CE) se encarga de transportar corriente eléctrica que es directamente proporcional al contenido de sales disueltas o ionizadas contenidas en el suelo (López y Estrada, 2015). Es bien conocido que cuando un suelo presenta salinidad afecta la producción de alimentos, al generar estrés, el cual provoca cambios fisiológicos y bioquímicos en el metabolismo de las plantas, que determinan su subsistencia así como su productividad, por lo que algunas plantas han desarrollado mecanismos de

tolerancia (Lamz y González, 2013), el contenido de sales varía inversamente con el contenido de agua (León, 2016).

## **7.2. Contenido de clorofila de la hoja de la planta de maíz**

El contenido de clorofila o índice de verde, presentó mayor contenido de las unidades SPAD en el tratamiento que contienen el bioestimulante (extracto de alga) y fue decreciendo con relación al paso del tiempo.

Las unidades SPAD para el tratamiento UA se encontraron por arriba de los valores reportados por Novoa y Villagrán (2002) con un valor de  $47.95 \pm 2.4$  unidades SPAD para su primer tiempo (V6),  $40.8 \pm 2.4$  unidades SPAD para el segundo tiempo (V10) y  $37.04 \pm 3.4$  unidades SPAD en su tercer tiempo (R1), a diferencia del tratamiento U donde los valores fueron  $42.6 \pm 2.2$  unidades SPAD (V6),  $35.5 \pm 4.4$  unidades SPAD, (V10) y  $34.3 \pm 0.86$  unidades SPAD, (R1).

Cabe mencionar que Novoa y Villagrán (2002) presentaron valores SPAD inferiores a 35.3 que indica la aplicación de N, cuando otros factores no limitan el crecimiento del cultivo, la carencia de N durante el periodo crítico de determinación del rendimiento.

El uso de bioestimulantes como son los extractos de microalgas aumentan el vigor y el contenido de clorofila de las hojas, viéndose reflejado en la tasa de asimilación de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Zermeño *et al.*, 2015), en los valores obtenidos en ambos tratamientos se observa que el contenido de clorofila es mayor con el uso de microalgas.

Resulta importante mencionar que existen algunos factores en los cuales pueden observarse inconsistencia en las lecturas SPAD, las cuales pueden deberse a los cambios de temperatura, la hora del día en el que la muestra es tomada, ya que tienden a ser menores en condiciones altas de radiación como a medio día y

mayores después del amanecer y antes de oscurecer, cuando la radiación es menor (González *et al.*, 2009).

### **7.3. Morfología: características cuantitativas del maíz**

En relación a los parámetros morfológicos, como es la altura de la planta, ancho de la hoja, peso de la mazorca y contenido de humedad de esta, fue mayor en el tratamiento que contenía el bioestimulante (extracto de alga). No así se presentó en el parámetro relacionado con la longitud de la hoja.

La aplicación del alga produjo un aumento en la altura, el ancho y largo de las hojas y peso de las mazorcas del tratamiento UA con relación al tratamiento U.

### **7.4 Calidad proximal del grano de maíz**

Con respecto a la parte nutrimental, el contenido de cenizas, proteína, grasas y carbohidratos fue mayor en el tratamiento UA que se le adicionó el bioestimulante (extracto de alga) con respecto al tratamiento U, no así en cuanto al contenido de humedad que fue mayor en el tratamiento U.

#### **7.4.1 Humedad**

El contenido de humedad en la muestra UA fue menor en comparación a U, con valores de  $4 \pm 1.3$  y  $5.7 \pm 2.3$  respectivamente, encontrándose diferencias significativas en los tratamientos. La humedad en el grano de maíz aporta peso sin proveer sustancias nutritivas, pero es importante en cuanto al aspecto económico y de conservación del grano, con relación al valor económico la humedad si se encuentra en menor proporción presente en la materia seca puede perjudicar en su venta y economía a las harinas.

De acuerdo a los valores obtenidos por (Calero *et al.*, 2016) y la Norma Mexicana FF-034 (2002) el valor de humedad se encuentra en un rango de 10.07 a 14% , por lo que el contenido de humedad en el maíz de ambos tratamientos es muy bajo y solo puede ser usado como autoconsumo.

Los tejidos vegetales contienen agua en 2 formas: agua libre y agua ligada, el agua libre es aquella que se libera con gran facilidad, en cambio el agua ligada, es aquella que se encuentra ligada o absorbida y constituye el agua de cristalización en los alimentos, así mismo se encuentra ligada a moléculas de proteínas, por lo que se requiere de su secado en estufa con la finalidad de disminuir u homogenizar la humedad (Palacios, 2018).

#### **7.4.2 Cenizas**

En cuanto al contenido de cenizas el tratamiento que contiene al extracto de alga (UA) fue mayor con respecto al que solo contenía el fertilizante químico (U).

Este mayor contenido beneficia al consumo de la población porque los minerales junto con el agua son los únicos componentes en los alimentos que no se pueden oxidar en el organismo para producir energía y suponen menos del 5% de la materia seca de los alimentos, aunque en el caso de los alimentos procesados puede contener hasta un 10% (Márquez, 2014).

Desde el punto de vista nutricional, el registro del valor de las cenizas tiene escaso valor, sin embargo desde el punto de vista analítico, el conocer el valor del material inorgánico total es útil cuando se requiere calcular carbohidratos (por diferencia) (Márquez, 2014).

Cabe mencionar que los minerales esenciales que se encuentran en el maíz son: sodio y potasio, calcio y fosforo, magnesio, hierro y zinc, estando en mayor cantidad el potasio, fósforo y magnesio. La baja relación calcio/fósforo juega un papel importante en la biodisponibilidad del calcio, sin embargo, luego de la

nixtamalización el contenido de calcio se incrementa hasta un 400%, aumentando así la biodisponibilidad (ILSI, 2006; Mansilla, 2018).

### 7.4.3 Proteínas

También se repitió para el contenido de proteína, siendo el tratamiento con extracto de alga (UA) el que más aportó proteína con respecto al que solo contiene al fertilizante químico (U).

Los valores de proteína se encuentra por debajo de lo que reporta (Menchú y Méndez, 2012) e INCMNSZ (2015) aunque a pesar de eso, el contenido de proteína se acerca más a los valores reportados en UA. Finalmente el almidón y las proteínas constituyen el segundo componente químico del maíz de mayor importancia, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8% y el 12% del peso del grano (Ortiz, 2006).

### 7.4.4 Extracto etéreo

De esta misma manera el extracto etéreo o grasas fue mayor en el contenido que presenta al extracto de alga (UA) con respecto al fertilizante químico (U).

Los valores reportados por la Menchú y Méndez (2012) y INCMNSZ (2015) en contenido de grasas en el grano de maíz blanco es de 4.64 y de maíz Azul 6.50, los valores que se obtuvieron de UA ( $3.9 \pm 0.66$  %) y U ( $3 \pm 0.07$ %) en ambos tratamientos se encuentran por debajo de los reportados.

### 7.4.5 Carbohidratos

Por último, el contenido de carbohidratos fue mayor en el tratamiento U a diferencia del tratamiento UA. Cabe mencionar que el grano de maíz está compuesto en mayor

parte por el almidón, constituyendo hasta el 72- 73% del peso del grano y constituye una importante fuente de energía en la dieta humana, además de ser la reserva energética de los alimentos vegetales, el almidón presente en los granos de cereales está compuesto por amilosa (25-30%) y amilopectina (70-75%) que son constituyentes estructurales y modulan el comportamiento de las semillas durante el crecimiento y su utilización en la industria de alimentos (Urango, 2018).

Finalmente se sabe que el análisis proximal incluye los parámetros de proteínas y grasas los cuales se realizan con finalidad nutrimental, así como también incluye análisis de humedad y cenizas que definen tanto la identidad del alimento como su capacidad de conservación, la composición química de los granos es afectada por múltiples factores, entre ellos plagas, condiciones edafoclimáticas, variedades, etc. (Calero *et al.*, 2016).

## 8. CONCLUSIONES

La aplicación de biofertilizantes, en este caso pasta de microalgas (UA), mostró efectos positivos en el cultivo de Maíz, en cuanto a la altura, el grosor del tallo, raíces, hojas, las mazorcas y los granos, observándose un mayor tamaño en diferencia con U, así mismo el contenido de clorofila fue mayor en los tres tiempos en donde fue aplicada el alga (UA), favoreciendo la captación de luz y nutrientes, en cuanto al contenido nutrimental, el contenido de proteínas, grasas y cenizas fueron mayores en UA, observando solo valores mayores en U en cuanto al contenido de carbohidratos y humedad.

La mezcla de urea más la pasta de alga da beneficios, en el suelo proporciona nutrientes los cuales sirven para mejorar su calidad, en cuanto al cultivo, el crecimiento radial beneficia la captación de nutrientes los cuales favorecen el crecimiento de la mazorca, así mismo su calidad.

Finalmente el empleo de la pasta de alga favorece a la agricultura sostenible, el ambiente y el agua con la que son regados los cultivos evitando su contaminación.

## 9. REFERENCIAS

- AOAC. (2002). *Official methods of analysis of AOAC International*. AOAC International.
- Abbott, L.K., Macdonald, L.M., Wong, M.T., Webb, M. J., Jenkins, S. N y Farrell, M. (2018). Potential roles of biological amendments for profitable grain production - A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (256), 35-50.
- ASERCA. (2018). *México: Grano cultivo representativo de México*. Maíz es un cultivo representativo de México; México.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4ta Edición).
- Barrera, J., Suárez, D., y Melgarejo, L. M. (2010). II. Análisis de crecimiento en plantas. *Experimentos en fisiología vegetal*. Melgarejo, LM (Ed). *Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia*, 25-39.
- Bolaños, N., Lutz, G., y Herrera, C. H. (2003). *Química de Alimentos: Manual de laboratorio*. Editorial Universidad de Costa Rica.
- Calderón, L, C., Bautista, G, P., y Rojas S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Universidad de los Llanos, Villavicencio*, 22 (2).

Calero, S. M., Quezada, J. E., Urbina, J. R., & Carcache, E. R. (2016). Análisis proximal de granos de arroz, frijol, maíz y café comercializados en el mercado Roberto Huembes de Managua. *Universidad y Ciencia*, 9(14), 45-51.

Carvajal, R. R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*. Fenalce, Sena, Sac.

Castellanos Reyes, M. A., Valdés-Carmenate, R., López Gómez, A., y Guridi-Izquierdo, F. (2017). Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 112-116.

Castillo, Á. R., y Ligarreto, G. A. (2010). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 122-128.

Ciancaglini, N. (2010). R-001-Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Argentina.

Corbella, R. D., García, J. R., Sanzano, G. A., Plasencia, A. M., y de Ullivarri, J. F. (2006). *Diferentes fracciones de carbono orgánico como indicadores de calidad de suelos del este tucumano*. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina. CD.

Cujó, P. (1985). *Compendio de agronomía tropical* (Vol. 1). Bib. Orton IICA/CATIE.

Dalzell, H. W. (1991). *Manejo del suelo: Producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales* (Vol. 56). Food y Agriculture Org.

Díaz, C.G., Sabando, A. F., Zambrano, M. S., y Vásconez, M. G. (2009). Evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de Maíz (*Zea mays L.*) en dos localidades de la provincia de los Rios. *Ciencia y Tecnología*, 3 (15), 15-23.

El Sayed, S. F., Hassan, H. A., y El Mogy, M. M. (2015). Impact of bio and organic fertilizers on potato yield, quality and tuber weight loss after harvest. *Potato Research*, 58(1), 67-81.

Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., & Bremer, C. (2015). *Maíz, Crecimiento y desarrollo*.

FAO. (1996). *Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*.

Fernando, F. S. (2008). Extractos de algas en la agricultura. *Recuperado de: <https://aefa-agronutrientes.Org/extractos-de-algas-en-la-agricultura>*.

Galán, M. G., González, R. J., y Drago, S. R. (2013). Perfil nutricional y dializabilidad de minerales de alimentos de interés social. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 17(1), 3-9.

Gisbert, J., Ibáñez, S., y Moreno, H. (2010). La textura de un suelo. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Valencia, España.*

Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible.* Catie.

González Torres, A., Figueroa-Viramontes, U., Delgado, J. A., Núñez-Hernández, G., Cueto-Wong, J. A., Preciado-Rangel, P., y Palomo-Gil, A. (2009). Calibración del SPAD-502 para evaluar requerimientos de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 303-309.

Gross, A., Guy, O., Posmanik, R., Fine, P., y Nejidat, A. (2012). A novel method for combined biowaste stabilization and production of nitrate-rich liquid fertilizer for use in organic horticulture. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(3), 1205-1214.

Guacho, E. (2014). Caracterización agro-morfológica del maíz (*Zea mays* L.) de la localidad San José de Chazo. *Línea*. *sl, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo*, 1-100.

Guzmán, J. (2018). Fertilizantes Químicos y Biofertilizantes en México. *CEDRSSA.*

Ibarra Castillo, D., Ruiz Corral, J. A., González Eguiarte, D. R., Flores Garnica, J. G., y Díaz Padilla, G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura técnica en México*, 35(3), 267-276.

ILSI. (2006). *Maíz y Nutrición: Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal.*

INEGI, S. (2001). *Agricultura.*

Jaramillo, J. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo.*

Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., y Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61.

Lamz Piedra, A., y González Cepero, M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: La mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos tropicales*, 34(4), 31-42.

León Tapia, I. M. (2016). *Evaluación de la medicago sativa I (alfalfa), cecropia peltata I (guarumo) y arachis pintoi wc (maní forrajero) como potenciales especies fitorremediadoras para remediación de suelos contaminados por minería aurífera en las riberas del río nambija, b arr.* Universidad Nacional de Loja.

Li, S., Li, J., Zhang, B., Li, D., Li, G., y Li, Y. (2017). Effect of different organic fertilizers application on growth and environmental risk of nitrate under a vegetable field. *Scientific reports*, 7(1), 1-9.

Llanos, M. (1984). El maíz: Su cultivo y aprovechamiento. *Madrid, España: Mundi-prensa*, 43-50.

López Alcarria, C. (2015). *Estudio de la influencia de factores ecológicos sobre comunidades marinas de algas*.

López, M., y Estrada, H. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Bioagrocencias*, 8(1), 3-11.

López, Y. K. (2008). Caracterización genética y de metabolitos secundarios de diferentes aislamientos de *Dunalella salina* bajo condiciones de estrés salino.

Lunven, P. (1993). *El maíz en la nutrición humana*. FAO, Roma (Italia).

Mansilla, P. S. (2018). *Evaluación del valor nutricional de maíces especiales (Zea mays L.): Selección para calidad agroalimentaria*. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Márquez Sigvas, B. M. (2014). *Refrigeración y congelación de alimentos: Terminología, definiciones y explicaciones*. Escuela Profesional de Ingeniería de industrias alimentarias.

Mata Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M., López-Blanco, J., y Vela-Correa, G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1(5), 26-35.

Meléndez, G., y Soto, G. (2003). Taller de abonos orgánicos. [En línea](Taller). *Centro de investigaciones agronómicas*.

Menchú, M., y Méndez, H. (2012). Tabla de composición de alimentos de Centro América y Panamá. *Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)*.

Montgomery, D. C., y Runger, G. C. (2003). Probabilidad y estadística aplicada a la ingeniería. (2 ed). Editorial: Limusa. México, 817pag.

Nafarrate Hecht, A. (2017). *Estimación directa e indirecta del índice de área foliar (IAF) y su modelación con LiDAR en un bosque tropical seco de Yucatán*.

National Plant Food Institute, M. (1990). Manual de Fertilizantes. *Ediciones Limusa, México DF*.

NMX-FF-034-2002. (2002). *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado especificaciones y métodos de prueba. Especificaciones y métodos de prueba*.

Novillo Espinoza, I. D., Carrillo Zenteno, M. D., Cargua Chávez, J. E., Moreira Zambrano, V. N., Albán Solarte, K. E., y Morales Intriago, F. L. (2018). *Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador*. 23(2), 177-187.

Ortiz Prudencio, S. del A. (2006). *Determinación de la composición química proximal y fibra dietaria de 43 variedades criollas de maíz de 7 municipios del sureste del Estado de Hidalgo*.

Palacios Rojas, N. (2018). *Calidad nutricional e industrial de maíz: Laboratorio de calidad nutricional de maíz "Evangelina Villegas": Protocolos*.

Pérez, M. Y., López, P. I., y Reyes, G., Y. (2020). Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Cultivos tropicales*, 41(3).

Porta, J., Poch, R. M., y López-Acevedo, M. (2019). *Edafología: Uso y protección de suelos*. Mundi-Prensa Libros.

Quispe Ramos, D., y Argani, O. (2014). *Fundamentos de Bromatología*. 41, 2128-2132.

Reeves, T., Thomas, G., y Ramsay, G. (2016). *Ahorrar para crecer en la práctica: Maíz, arroz, trigo. Guía para la producción sostenible de cereales*.

Reol, E. M. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Revista Ecosistemas*, 12(1).

Reyes, L. M., Jiménez, C. E. A., Montiel, M. G. C., Galdámez, J. G., Cabrera, J. A. M., Aguilar, F. B. M., Martínez, J. L., y Padilla, E. G. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 26-37.

Reyes Sánchez, N., y Mendieta Araica, B. (2000). *Determinación del valor nutritivo de los alimentos*.

Roger, J. D. P. (2006). *Salud por los alimentos* (4ta ed.). Editorial Safeliz.

Sainz Rozas, H., y Echeverría, H. E. (1998). Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 103.

Secretaría de Agricultura, G., Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030: Palma de aceite mexicana*.

Thompson, L. M., y Troeh, F. R. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Reverté.

Trujillo, H. I., Aristizábal, L. F., Bustillo, A. E., y Jiménez, M. (2006). Evaluación de métodos para cuantificar poblaciones de broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en fincas de caficultores experimentales. *Revista colombiana de Entomología*, 32(1), 39-44.

Urango, L. A. (2018). Componentes del maíz en la nutrición humana. *Fondo Editorial Biogénesis*, 185-209.

Zermeño González, A., López Rodríguez, B. R., Melendres Álvarez, A. I., Ramírez Rodríguez, H., Cárdenas Palomo, J. O., y Munguía López, J. P. (2015). Extracto de alga marina y su relación con fotosíntesis y rendimiento de una plantación de vid. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(SPE12), 2437-2446.

Zhang, M., Li, R., Cao, L., Shi, J., Liu, H., Huang, Y., y Shen, Q. (2014). Algal sludge from Taihu Lake can be utilized to create novel PGPR-containing bio-organic fertilizers. *Journal of environmental management*, 132, 230-236.

## CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

El que suscribe **Diana Patricia Rojas Soto** Autor(es) del trabajo escrito de evaluación profesional en la opción de **Tesis** con el título **Estudio de Biofertilidad y proximal en cultivo de maíz (*Zea mays L.*) en el Ejido de San Marcos Yachihuacaltepec, Toluca, Estado de México**, por medio de la presente con fundamento en lo dispuesto en los artículos 5, 18, 24, 25, 27, 30, 32 y 148 de la Ley Federal de Derechos de Autor, así como los artículos 35 y 36 fracción II de la Ley de la Universidad Autónoma del Estado de México; manifiesto mi autoría y originalidad de la obra mencionada que se presentó en **Toluca** para ser evaluada con el fin de obtener el Título Profesional de Bióloga.

Así mismo expreso mi conformidad de ceder los derechos de reproducción, difusión y circulación de esta obra, en forma NO EXCLUSIVA, a la Universidad Autónoma del Estado de México; se podrá realizar a nivel nacional e internacional, de manera parcial o total a través de cualquier medio de información que sea susceptible para ello, en una o varias ocasiones, así como en cualquier soporte documental, todo ello siempre y cuando sus fines sean académicos, humanísticos, tecnológicos, históricos, artísticos, sociales, científicos u otra manifestación de la cultura.

Entendiendo que dicha cesión no genera obligación alguna para la Universidad Autónoma del Estado de México y que podrá o no ejercer los derechos cedidos.

Por lo que el autor da su consentimiento para la publicación de su trabajo escrito de evaluación profesional.

Se firma presente en la ciudad de Toluca, a los 23 días del mes de Septiembre de 2021.



Diana Patricia Rojas Soto

---

Nombre y firma de conformidad