

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SEP  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



## **TRABAJO PROFESIONAL**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO BIOQUÍMICO**

**QUE PRESENTA:  
LAURA MUÑUAS GÓMEZ.**

**CON EL TEMA:  
“EFECTO DEL RASTROJO DE MAÍZ SOBRE LA BIOMASA Y  
CINETICA DE CLOROFILA EN CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*, L)  
UTILIZANDO UN EXTRACTO VEGETAL NEEM (*Azadirachta*, A  
Juss) COMO BIOINSECTICIDA”**

**MEDIANTE:**

**OPCION I  
(TESIS PROFESIONAL)**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS**

**MAYO 2014**

<b>ÍNDICE GENERAL</b>		<b>Página</b>
	RESUMEN	4
CAPITULO I.	INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO II.	JUSTIFICACIÓN	6
CAPITULO III.	OBJETIVO GENERAL	7
	3.1 Objetivos particulares	7
	3.2 Hipótesis	7
CAPITULO IV.	MARCO TEÓRICO	8
	4.1 Antecedentes de la planta de maíz (Zea mays,L)	8
	4.2 Características generales de la planta de maíz (Zea mays,L)	9
	4.3 Introducción al proceso fotosintético	10
	4.3.1 Fotosíntesis	12
	4.3.2 Composición de la molécula de clorofila	13
	4.4 Reacciones de reducción del carbono	15
	4.5 Ciclo del Nitrógeno	17
	4.6 Ciclo del fósforo	22
	4.7 Fotosíntesis en la planta de maíz.	24
	4.7.1 Absorción de nutrientes	25
	4.8 Fotosíntesis C4	26
	4.9 Importancia biológica del uso de rastrojo de maíz como cobertura de suelos	29
	4.10 Beneficios del rastrojo de maíz	32
	4.11 Componentes del rastrojo de maíz	33
	4.12 Agricultura de conservación	35
	4.13 Plagas en el maíz	37
	4.14 Insectos benéficos en la planta de maíz	39
	4.14 Bioinsecticida orgánico Neem (Azadirachta indica, Juss)	40
	4.15 Aplicación de fertilizantes	41
CAPITULO V	METODOLÓGIA	43
	5.1 Desarrollo experimental	43
	5.2 Siembra de la semilla de maíz e incorporación del rastrojo de maíz en el suelo.	48
	5.3 Preparación del extracto de neem	48
	5.4 Conteo de insectos	48
	5.5 Medición de clorofila	49
	5.6 Parámetros morfométricos	49
	5.7 Variable Biomasa	49
CAPITULO VI	RESULTADOS Y DISCUSIONES	50
CAPITULO VII	CONCLUSIÓN	64
CAPITULO VIII	BIBLIOGRAFÍA	65
CAPITULO IX	ANEXOS	71

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>		<b>Pagina</b>
Cuadro 1	Clasificación taxonómica de la planta de maíz ( Zea mays, L)	9
Cuadro 2	Componentes de la planta de maíz	33
Cuadro 3	Porcentaje de los componentes de la plata de maíz	34
Cuadro 4	Insectos dañinos en el cultivo de maíz	37
Cuadro 5	Insectos benéficos en el cultivo de maíz	39
Cuadro 6	Tratamientos y abreviaciones.	45
Cuadro 7	Tratamientos y concentración de rastrojo	45
Cuadro 8	Tratamientos en riego y en temporal	46
Cuadro 9	Diseño de bloques completos al azar	46

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>		<b>Página</b>
Figura 1	Crecimiento y desarrollo de la planta de maíz (Zea mays,L)	10
Figura 2	Fotosíntesis en las hojas de las plantas	13
Figura 3	Ciclo de Calvin-Benson	15
Figura 4	Ciclo del Nitrógeno	21
Figura 5	Ciclo del fósforo	23
Figura 6	Plantas C4	27
Figura 7	Fotosíntesis planta C4	28
Figura 8	Descomposición de la materia orgánica en el suelo	30
Figura 9	Ubicación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutierrez	43
Figura 10	Ubicación de la plataforma en Guapinol, Chiapas	44
Figura 11	Unidad Experimental	47
Figura 12	Bloques completos al azar	47
Figura 13 y 14	Variable de longitud de la planta de maíz en condiciones de riego y temporal	50
Figura 15 y 16	Variable de diámetro de tallo de la planta de maíz en condiciones de riego y temporal	52
Figura 17 y 18	Variable altura de la mazorca de maíz en condiciones de riego y temporal	53
Figura 19 y 20	Variable número total de hojas en la planta de maíz en condiciones de riego y temporal	55
Figura 21 y 22	Variable porcentaje de daño en la planta de maíz en condiciones de riego y temporal	56
Figura 23 y 24	Lectura total de clorofila en la planta de maíz en condiciones de riego y temporal	58
Figura 25	Cinética de clorofila	60
Figura 26	Variable de biomasa fresca	61
Figura 27	Variable de biomasa seca	62
Figura 28	Colocación de bloques completos al azar	70
Figura 29	Plantas de maíz a los 25 dde	70
Figura 30	Plantas con fertilizante químico y plantas con rastrojo de maíz	70
Figura 31	Plantas de maíz a los 40 dde	70
Figura 32	Crecimiento de plantas con fertilizante químico y plantas con rastrojo de maíz	70
Figura 33	Daño en las hojas de las plantas por gusano trozador	71
Figura 34	Porcentaje de daño en las plantas con fertilizante químico	71
Figura 35	Plantas con fertilizante químico y plantas con rastrojo de maíz a los 20 dde	71
Figura 36	Floración de las plantas de maíz y producción de mazorcas a los 60 dde	71
Figura 37	Tamaño de las plantas de maíz a los 50 dde	71
Figura 38	Retención de humedad en suelo con rastrojo de maíz	72
Figura 39	Cultivo de plantas de maíz a los 60 dde	72
Figura 40	Medición de parámetros morfométricos	72
Figura 41	Determinación de peso de biomasa	72

## RESUMEN.

El rastrojo de maíz en combinación con el extracto vegetal neem, han demostrado ser una alternativa para evitar la erosión de los suelos. En la realización del presente trabajo se cultivaron plantas de maíz a nivel invernadero utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar, para evaluar el efecto del rastrojo de maíz sobre la biomasa y cinética de clorofila en cultivo de maíz (*Zea mays*, L), utilizando un extracto vegetal neem (*Azadirachta*, A Juss) como bioinsecticida para evitar el daño causado por insectos.

En este estudio se observó el efecto que tiene el rastrojo de maíz (*Zea mays*, L) sobre suelo de cultivo el cual funciona como fuente de carbono y de nitrógeno para el crecimiento y desarrollo de la planta. Se utilizaron siete diferentes tratamientos los cuales consistieron en un blanco, un químico (Urea plus DAP) y cinco tratamientos con diferentes concentraciones de rastrojo de maíz (25 ,50 ,100 ,150 ,200 g), siendo los tratamientos que contienen 100,150 y 200 g de rastrojo los de mejor resultado, obteniendo mayor peso de biomasa, producción de clorofila, mayor longitud y diámetro de la planta, además de observar el efecto que tiene el aplicar extracto vegetal Neem (*Azadirachta indica*, A. Juss.) para la disminución de insectos en el cultivo.

Evitar daños en la planta ayuda, a que esta se desarrolle adecuadamente, lo cual se ve reflejado en las hojas, tallos, frutos, sobre todo en el porcentaje de clorofila de las hojas de las plantas, lo que significa que la fotosíntesis y la absorción de nutrientes se realizó de acuerdo a la demanda en las diferentes etapas de crecimiento. Proporcionar los nutrientes necesarios a la planta, por medio de agentes naturales, resulta beneficioso, no solo para las plantas, sino también para quien realice cualquier tipo de cultivo (Casarrubias & Tiessen, 2007).

La importancia de conservar el rastrojo en los suelos agrícolas, es un beneficio biológico indispensable, pero además representa un beneficio económico significativo para el productor, por su impacto dentro de la productividad de los cultivos, gracias al reciclaje y flujo constante de nutrientes, reduciendo así la necesidad de fertilización inorgánica, y conservando las características físicas, químicas y biológicas que harán un suelo fértil y productivo (Maldonado & Maldonado, 2005). La AC (Agricultura de Conservación) mantiene el suelo cubierto con materiales orgánicos en forma permanente o semipermanente. Su función es proteger físicamente el suelo del sol, la lluvia y el viento, y alimentar el suelo. Los microorganismos y la fauna del suelo reemplazan la función de la labranza y equilibran los nutrientes del suelo (Knowler et al, 2003).

## **CAPITULO I INTRODUCCIÓN.**

La agricultura es una actividad importante por la cual el hombre genera sus alimentos, además de ser una antigua fuente de trabajo. Hoy en día la agricultura se ha vuelto dependiente de pesticidas, agroquímicos, fertilizantes sintéticos, el uso excesivo de maquinaria agrícola, etc. sin considerar que no es sustentable, ya que genera una serie de problemas como: deterioro de suelos, pérdida de la biodiversidad, calentamiento global, entre otros factores que afectan el medio ambiente.

El suelo por ser el centro de los procesos ambientales se encuentra sometido a diversas condiciones de manejo, para poder producir cultivos sanos para el hombre, el suelo presenta características que lo colocan en el concepto de suelo de calidad, estas características son indicadores que reflejan sus propiedades físicas, químicas, biológicas y bioquímicas. Los indicadores de calidad de suelo responden al buen manejo de este y a las condiciones de mejoramiento al que se someta, la incorporación de rastrojos al suelo sirven como fuente de energía y materia orgánica, con la finalidad de mejorar las propiedades del suelo y poder producir cultivos sanos, que permiten evaluar el efecto sobre las características de crecimiento, adaptación y fertilización mineral de los cultivos (Shaxson, 2005).

El crecimiento vegetativo tiene su importancia en el establecimiento del cultivo y en la instalación del sistema foliar, el espaciamiento, la fertilización y la disponibilidad hídrica inicial que junto con factores genéticos como, tamaño inicial de la planta, tasa de aparición de hojas y partición al tejido foliar, nos permitirá llegar a la máxima intercepción de radiación en el menor tiempo posible, de manera de lograr un rápido crecimiento del Índice de Área Foliar (IAF) que junto con la temperatura, la disponibilidad hídrica, la fertilidad y la radiación determinarán la eficiencia de la fotosíntesis (Barrett & Nearing, 2000).

La mayoría de la materia seca producida por la planta consiste en materiales orgánicos de carbono que resultan de la fotosíntesis y de los procesos subsecuentes. Un abastecimiento de la cantidad adecuada de cada nutriente durante cada una de las etapas de desarrollo de la planta es esencial para el desarrollo óptimo del cultivo (Russell, 2000). En lugar de incorporar al suelo la biomasa, como abonos verdes, cultivos de cobertura o residuos vegetales, estos se dejan en la superficie del suelo. La biomasa muerta sirve como protección física de la superficie y como sustrato para la fauna del suelo. De esta forma se reduce la mineralización y se construyen y mantienen niveles apropiados de materias orgánicas en el suelo (Ribes, 2004).

## **CAPITULO II JUSTIFICACIÓN.**

A nivel mundial el problema de la infertilidad de suelos revelaron que en condiciones actuales de uso de suelo, las pérdidas van desde 16,270 ton/ha/año hasta valores de 20,000 ton/ha/año, presentándose valores mínimos de 13.317 ton/ha/año. De modificarse la tendencia actual de deforestación y con buenas prácticas agrícolas en las zonas donde se realiza agricultura de temporal y de riego, la pérdida de suelo se reduciría en un 60 % con respecto a la actual, existen muchos factores que provocan este daño en los suelos de cultivo, entre ellos están el calentamiento global, el exceso en el uso de agroquímicos sintéticos, el sobre uso de maquinaria agrícola, el pastoreo directo en los suelos de cultivo, la quema de los residuos agrícolas, todos estos y otros factores vienen a incidir sobre el medio ambiente (provocando parte del calentamiento global y compactación de suelo) (Santacruz, 2011).

La importancia de conservar el rastrojo en los suelos agrícolas, es un beneficio biológico indispensable, además representa un beneficio económico significativo para el productor, por su impacto dentro de la productividad de los cultivos, gracias al reciclaje y flujo constante de nutrientes. Reduciendo así la necesidad de fertilización inorgánica, y conservando las características físicas, químicas y biológicas que harán un suelo fértil y productivo, contrarrestando el alto nivel de erosión que presentan los suelos (Maldonado & Maldonado, 2005).

La práctica de una agricultura de conservación es beneficiosa para, el medio ambiente y el agricultor. Se busca la conservación máxima del suelo, un recurso no renovable, ya que el verdadero problema de la agricultura es su pérdida y degradación. Para evitarla hay que adoptar técnicas como la reducción y minimización de labores, la rotación de cultivos, el uso racional de fertilizantes químicos, la utilización de los restos vegetales de las cosechas como medio natural de protección y fertilización de los suelos, consiguiendo aumentar sus niveles de materia orgánica, mejorando su estructura de los mismos y manteniendo la productividad de los cultivos.

Adoptando éstas técnicas de agricultura de conservación se puede, reducir la erosión del suelo y con ello su perdida, se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera como consecuencia directa de la disminución de labores y el uso de maquinaria, mejorando la calidad del suelo y con ello lograr un aumento en la productividad de los cultivos de maíz (Eyhorn & Weidmann, 2002).

Evaluar el efecto de rastrojo de maíz (*Zea mays*, L) y la aplicación de un bioinsecticida vegetal neem (*Azadirachta indica*, A. Juss.) sobre la biomasa y cinética de clorofila del cultivo de maíz, bajo condiciones de riego y temporal en agricultura de conservación

**3.1 Objetivos específicos**

1. Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de rastrojo de maíz, en el crecimiento del cultivo de maíz bajo condiciones de riego y temporal en agricultura de conservación.
2. Determinar el efecto que tiene el uso de rastrojo de maíz (*Zea mays*, L.) sobre la biomasa de la planta de maíz.
3. Analizar el efecto que tiene el rastrojo de maíz (*Zea mays*, L.) en la cinética de clorofila en las hojas de la planta de maíz.
4. Determinar los parámetros morfométricos de la planta en el cultivo de maíz.

**HIPOTESIS.**

La adición de rastrojo de maíz y bioinsecticida neem en cultivos de maíz incrementara significativamente el porcentaje de biomasa y clorofila del cultivo de maíz bajo condiciones de riego y temporal.

#### 4.1 Antecedentes del maíz (*Zea mays*, L).

La planta de maíz se deriva del teocintle (*Zea mays spp. mexicana*) que crece de manera silvestre en Mesoamérica. En la época precolombina el maíz se introdujo en Sudamérica, donde también tuvo un amplio proceso de domesticación. Como resultado, el maíz es una especie que presenta varios centros de diversificación que va desde México hasta Sudamérica (Moore et al , 2000).

Es el cereal más ampliamente distribuido a nivel mundial y ocupa la tercera posición en cuanto a producción total, detrás del arroz y del trigo. Su cultivo se realiza en climas cálidos y fríos, con ciclos vegetativos con rangos entre 3 y 13 meses. Ningún otro cereal tiene un uso tan variado; casi todas las partes de la planta de maíz tienen valor económico. México es el quinto lugar en producción de maíz, precedido por EUA, China, Brasil y Argentina. Hablando en términos nacionales, el estado que lidera la producción de maíz es Sinaloa, seguido por Jalisco, Estado de México, Chiapas, Michoacán y Guerrero (Sarmiento et al , 2006).

Este es uno de los cultivos más comerciales, dada la diversidad de usos que presenta, como consumo doméstico para la alimentación humana y animal, como materia prima de bajo costo para la fabricación de más de 3.500 productos y para las aplicaciones industriales como el jarabe de maíz con alto contenido de fructosa, que ha sustituido al azúcar como edulcorante en las bebidas carbonatadas (González , 2004).

Los principales problemas del cultivo del maíz están asociados con la baja productividad por hectárea, los altos costos de producción y la competencia ejercida por el maíz subsidiado proveniente de Estados Unidos. Existen otros factores que afecta la producción eficiente de maíz, entre ellos, que el cultivo pueda crecer libre de la competencia con otros factores bióticos (Moore et al , 2000).

Dentro de los problemas fitosanitarios podemos mencionar a las malezas, los hongos y los insectos, estos últimos pudiéndose separar en cinco grupos importantes; plagas rizófagas, del tallo, del follaje, del elote y en el almacén (Sarmiento et al , 2006).

## 4.2 Características generales de la planta de maíz.

**Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la planta de maíz (*Zea mays*, L)**

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Zea mays</i>
Nombre Científico	<i>Zea mays</i> , L
Nombre común	Maíz

Es una gramínea anual originaria de México, introducida en Europa en el siglo XVI. Actualmente es el cereal más sembrado en el mundo en volumen de producción, superando al trigo y el arroz. *Zea* es una voz de origen griego, derivada de *zeo* = vivir (Cadahía , 2002).

La planta del maíz (*Zea mays*) es de porte robusto, de fácil desarrollo y producción anual; es de inflorescencia monoica. El tallo es erecto, de elevada longitud puede alcanzar 4 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones. Las hojas son largas de gran tamaño, lanceoladas, alternas; se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades, las hojas son afiladas y cortantes (Goycoolea & Rocha , 2003).

El tallo está compuesto a su vez por tres capas: una epidermis exterior, impermeable y transparente, una pared por donde circulan las sustancias alimenticias y una médula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azúcares. Las hojas toman una forma alargada íntimamente arrollada al tallo, del cual nacen las espigas o mazorcas (Cadahía , 2002).

Es una especie de origen que tiene un elevado potencial de rendimiento y una alta productividad. Una semilla puede producir de 600 a 1,000 granos. Tiene una tasa de fotosíntesis máxima de 50-60 mg de CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/h y su temperatura óptima es cerca de los 35-40 °C (García & Breijo , 2006).

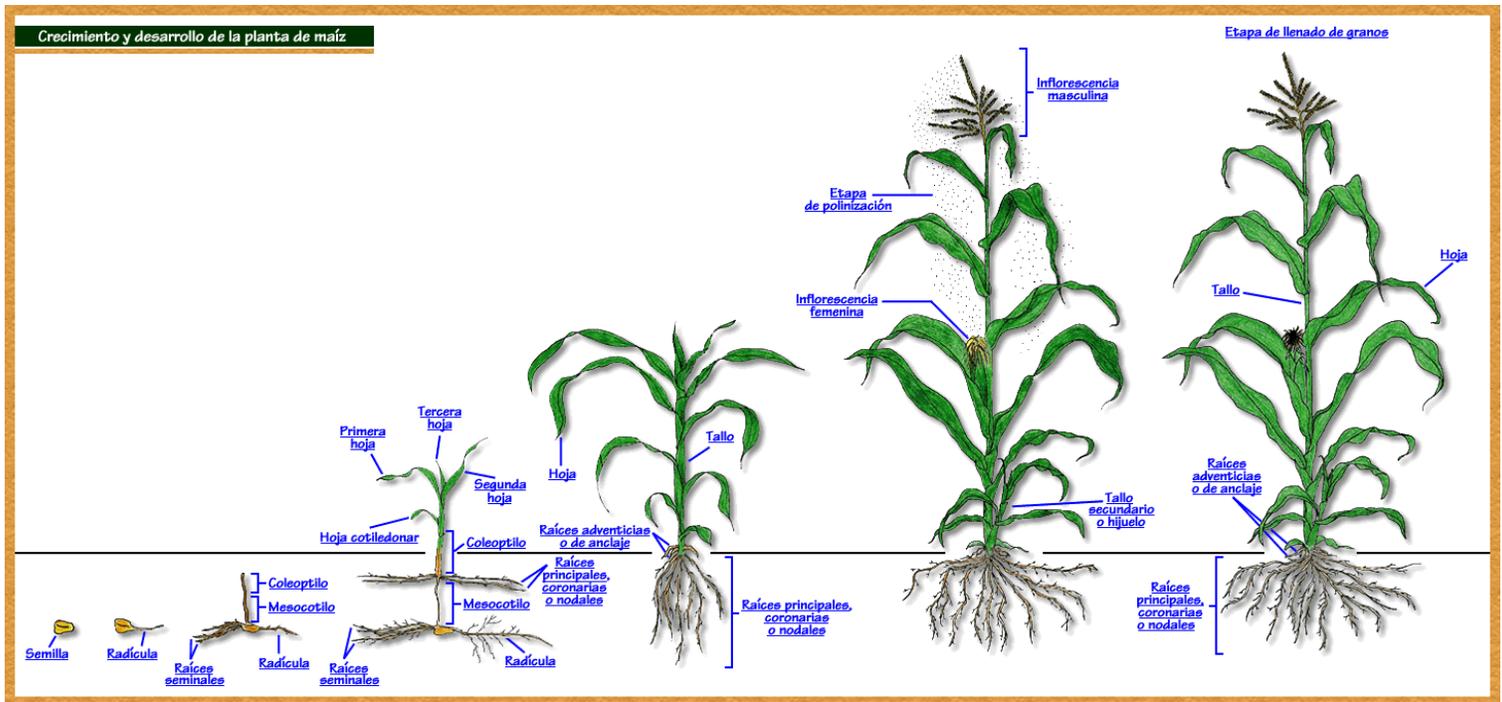


Figura 1. Crecimiento y desarrollo de la planta de maíz (García, 2004).

#### 4.3 Introducción al proceso fotosintético.

Los árboles utilizan la radiación solar incidente para sintetizar compuestos orgánicos a partir del  $\text{CO}_2$  atmosférico, agua y nutrientes del suelo o retranslocados desde otros órganos de la planta, mediante el proceso de la fotosíntesis. Estos compuestos una vez sintetizados se utilizan para mantener los propios tejidos de la planta, para mantener las reservas de carbohidratos o para formar nuevos tejidos y crecer (Russell, 2000).

En una planta más del 90% de su peso seco está constituido por las diferentes sustancias y moléculas orgánicas que forman sus estructuras celulares o que regulan su metabolismo. Las cadenas carbonadas iniciales que emplean todas las células proporcionan la fotosíntesis.

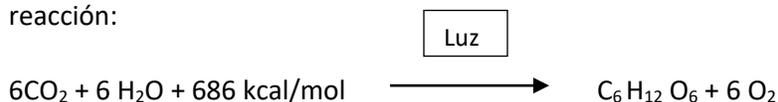
Los organismos fotosintéticos capturan la energía de la luz y, en una serie de reacciones muy complejas, la utilizan para fabricar los glúcidos, y liberar el oxígeno, a partir del  $\text{CO}_2$  y del agua.

Los fotosintetizadores principales son las plantas.

La ecuación global de la fotosíntesis puede resumirse de la siguiente forma:



La fotosíntesis es en esencia un proceso de óxido-reducción, en el que el carbono del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se reduce a carbono orgánico. Aunque en algunos organismos fotosintéticos el proceso es algo diferente, la fotosíntesis en las plantas consiste básicamente en la producción de una sustancia orgánica (un glúcido sencillo) a partir de moléculas orgánicas (el CO<sub>2</sub> como sustrato a reducir, y el agua como dador de electrones que se oxida), mediante el aprovechamiento de la energía lumínica (que queda almacenada como energía química dentro de la molécula sintetizada) y con desprendimiento de oxígeno. El proceso global puede expresarse mediante la siguiente reacción:



El CO<sub>2</sub> se encuentra en la atmosfera, desde donde se traslada por difusión (siguiendo un camino inverso al del vapor de agua durante la transpiración), a través del ostiolo hasta las paredes del mesófilo, y desde allí llega hasta los cloroplastos. Este flujo difusional es directamente proporcional a la diferencia de concentraciones de CO<sub>2</sub> e inversamente proporcional a las resistencias que el camino oponga. La diferencia de concentraciones establece entre la atmosfera, cuya proporción de CO<sub>2</sub> es de aproximadamente un 0.03% y el cloroplasto, donde el CO<sub>2</sub> va siendo transformado por fotosíntesis en otros compuestos y no llega a acumularse en forma significativa. De las diversas resistencias a la difusión, la más relevante es la estomática, los estomas se cierran (por ejemplo; debido a un déficit hídrico) el CO<sub>2</sub> no llegara al cloroplasto y la fotosíntesis se interrumpirá (García & Breijo, 2006).

La cantidad de carbono fijado en la fotosíntesis es controlada principalmente por la radiación incidente y la temperatura, y es limitada por la disponibilidad de agua y de nutrientes. La temperatura controla directamente las tasas de producción bruta y respiración ya que la actividad de las enzimas implicadas en estos procesos depende de la temperatura. Además determina la tasa de fotosíntesis neta (el balance entre el carbono atmosférico fijado por las plantas, la fotosíntesis bruta, y el carbono retornado por las hojas durante el proceso de la respiración oscura) (García & Breijo, 2006).

De toda la radiación incidente sobre una hoja, sólo los fotones cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y los 700 nm resultan útiles para la fotosíntesis. El flujo de fotones

fotosintéticos (PPF) es absorbido por las hojas, constituye la fuente de energía utilizada en la fotosíntesis y determina la tasa de asimilación del CO<sub>2</sub>.

La pérdida de agua por transpiración a través de los estomas es la consecuencia inevitable de la apertura estomática para permitir la entrada de CO<sub>2</sub>, de ahí que exista una estrecha correlación entre fotosíntesis y transpiración, ambas dependientes de la conductancia estomática. La planta debe regular la apertura de los estomas de tal modo que maximice la entrada de CO<sub>2</sub> a la vez que minimice la pérdida de agua (Russell, 2000).

#### **4.3.1 Fotosíntesis.**

El cloroplasto es el orgánulo celular en el que tienen lugar las reacciones bioquímicas asociadas a la fotosíntesis aunque, desde un punto de vista práctico, la hoja es la escala fundamental a la que se mantiene la fotosíntesis como proceso integral. La estructura de la hoja resulta fundamental para soportar los conjuntos de cloroplastos que captan la luz. Además la hoja regula la difusión de CO<sub>2</sub> entre el aire exterior y las células del mesófilo a través de los estomas. En el proceso de la fotosíntesis la energía de la luz absorbida por la planta se utiliza para producir materia orgánica mediante la reducción del CO<sub>2</sub> absorbido (Baldocchi, 2004).

Los pigmentos fotosintéticos presentes en los cloroplastos son los responsables de captar la energía de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que incide sobre la hoja. Las moléculas de clorofila se organizan en grupos funcionales de más de 200 moléculas cada uno que actúan como antenas captadoras. Además de las clorofilas a y b, los carotenoides se hallan presentes en las hojas de las plantas superiores y en todos los organismos fotosintéticos como constituyentes integrales de la membrana del tilacoide. Absorben radiación PAR de longitudes de onda entre 400 y 500 nm lo que les confiere su característico color naranja. Están asociados a las antenas captadoras de energía y a las proteínas del centro de reacción. La energía captada por los carotenos es transferida a las moléculas de clorofila (Silverstein et al, 2008).

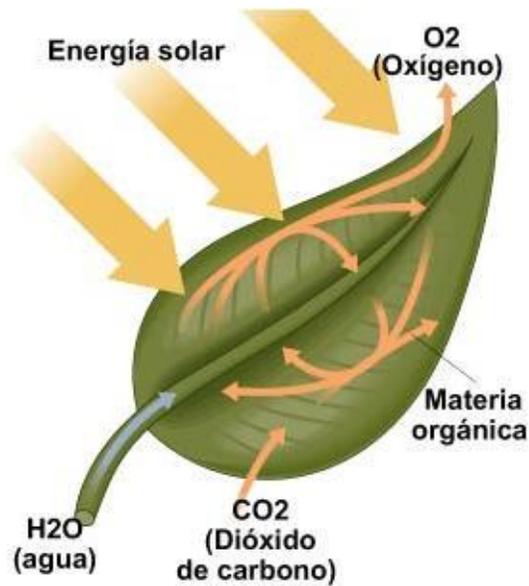


Figura 2. Fotosíntesis en las hojas de las plantas.

#### 4.3.2 Composición de la Molécula de clorofila.

La clorofila es un componente básico de las plantas dado que es el pigmento verde que interviene en la fotosíntesis.

La clorofila presente es color verde porque es capaz de absorber la luz violeta y azul, y reflejar la verde. Por este motivo las hojas y partes internas de las plantas presentan su típica coloración. Igualmente, al llegar el otoño, en muchas plantas la clorofila se descompone y las hojas se tornan en color ocre o marrón (Voet & Voet, 2006).

Se localiza en los cloroplastos que son pequeños gránulos diminutos aplanados que, generalmente, aparecen en el citoplasma cerca de la pared celular. En el interior de los cloroplastos aparecen los pigmentos fotosintéticos rodeados por una sustancia base incolora (Voet & Voet, 2006).

La molécula de clorofila está formada principalmente por carbono e hidrogeno. En el centro de esta molécula se encuentra un solitario átomo de nitrógeno rodeado por un anillo de porfirinas.

El contacto de las partículas luminosas (fotones) con la clorofila produce una excitación de las misma desencadenando una serie de reacciones fotoquímicas que se encargaran de transformar la energía luminosa en energía química (Hopkin et al, 2004).

Cuando una molécula de clorofila absorbe un fotón, pasa a un estado inestable de mayor energía, denominado estado excitado, en el que un electrón periférico se desplaza hacia una posición más externa. Si este electrón pasa a otra molécula de clorofila permanecerá excitada; para volver a su estado fundamental deberá recibir otro electrón que ocupe el hueco dejado por el primero. Cuando coexisten numerosas moléculas de clorofila agrupadas y ordenadas, a energía absorbida por cualquiera de ellas puede transmitirse por resonancia (transferencia del exciton) a todo el conjunto, sin que haya transferencia de electrones. Ambos tipos de transferencia de energía tienen lugar en el proceso de absorción de luz por los pigmentos fotosintéticos necesarios. Esta incorporación de CO<sub>2</sub> en forma de materia orgánica, se denomina fijación de carbono, y se produce en el estroma del cloroplasto (Berk, 2005).

#### 4.4 Reacciones de reducción del carbono

La fase independiente de la luz (reacciones de reducción del carbono), se realiza cuando los productos de las reacciones de luz son utilizados para formar enlaces covalentes (C-C), de los carbohidratos. Estas reacciones pueden realizarse en la oscuridad, con la condición de que la fuente de energía (ATP) y el poder reductor (NADPH) formados en la luz se encuentren presentes. Investigaciones recientes sugieren que varias enzimas del ciclo de Calvin, son activadas por la luz mediante la formación de grupos -SH de tal forma que el termino fase oscura no sería del todo correcto. Las reacciones de reducción del carbono se llevan a cabo en el estroma mientras que las de luz tienen lugar en los tilacoides.

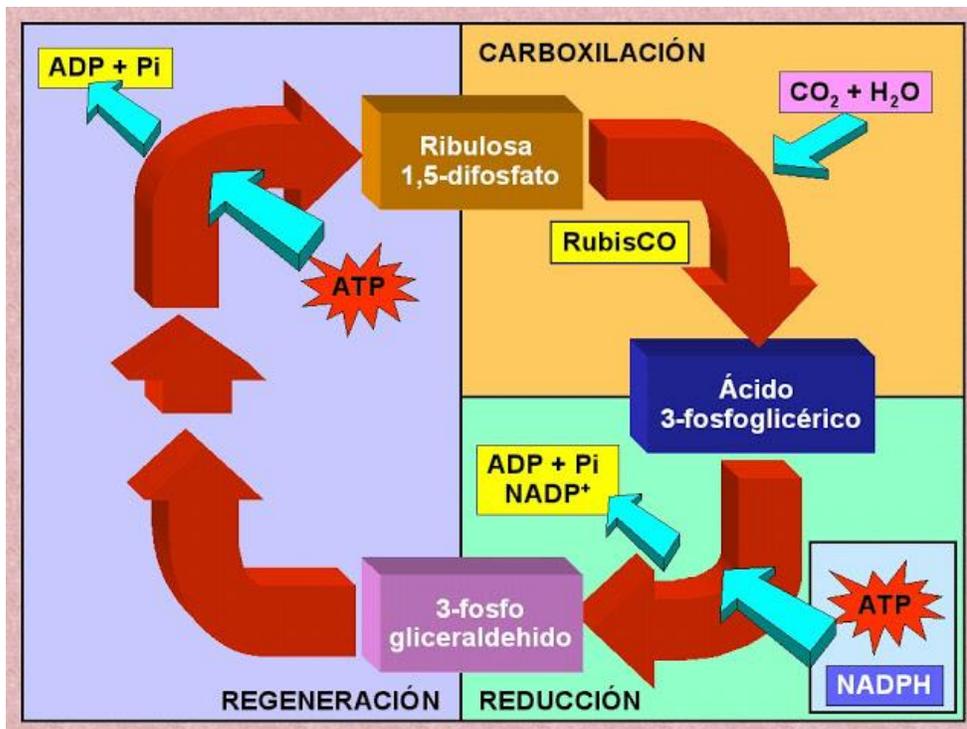


Figura 3. **Ciclo de Calvin-Benson**, en el que tiene lugar la reducción de la molécula de  $\text{CO}_2$ . En el ciclo se fijan tres moléculas de  $\text{CO}_2$  que producen una molécula de 3 gliceraldéhido fosfato con un coste neto de nueve moléculas de ATP y seis moléculas de NADPH que se producen en las reacciones de la fase luminosa (Seoánez, 2012).

En este ciclo de Calvin se utiliza la energía química obtenida en la fase luminosa, para reducir  $\text{CO}_2$ , con el fin de sintetizar glúcidos, aminoácidos y otras sustancias. La fijación del  $\text{CO}_2$  se produce en tres etapas:

1. Carboxilativa: el  $\text{CO}_2$  se fija a una molécula de 5 átomos de carbono, la ribulosa 1,5 difosfato, formándose un compuesto inestable de 6C, que se divide en dos moléculas de ácido 3 fosfoglicérico (PGA).
2. Reductiva: el ácido 3 fosfoglicérico se reduce a gliceraldehido-3-fosfato (PGAL), utilizándose ATP y NADPH. Las moléculas de gliceraldehido-3-fosfato formadas siguen diversas rutas; de cada seis moléculas, una será empleada para sintetizar moléculas de glucosa (vía de las hexosas), ácidos grasos, aminoácidos y, en general, todas las moléculas que necesita la célula.
3. Regenerativa: las cinco moléculas de gliceraldehido-3-fosfato restantes se utilizan para regenerar la ribulosa 1,5 difosfato y hacer que el ciclo de Calvin pueda proseguir (Berg, 2002).

Las reacciones de fijación o reducción del carbono, son conocidas también como reacciones de oscuridad (son independientes de la luz), sin embargo dos sustancias producidas en la luz, como son el NADPH y el ATP participan en la reducción del  $\text{CO}_2$ . En la reducción de un mol de  $\text{CO}_2$  se utilizan 3ATP y 2 NADPH, que a través de una serie de reacciones enzimáticas producen los enlaces C-C de los carbohidratos, en un proceso que se efectúa en la oscuridad. En estas reacciones, el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera se captura y reduce por la adición de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) para la formación de carbohidratos.

El  $\text{CO}_2$  se combina con la ribulosa 1,5 bifosfato (RuBP- es un azúcar de 5 carbonos), mediante la acción de la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa-oxigenasa o rubisco. La rubisco constituye aproximadamente el 50% de las proteínas del cloroplasto y es la proteína más abundante en la tierra. El primer producto estable de la fijación de  $\text{CO}_2$  es el ácido-3-fosfoglicérico (PGA), un compuesto de 3 carbonos. En el ciclo se fijan 3 moles de  $\text{CO}_2$  a 3 moles de ribulosa 1,5 bifosfato, y se forman 6 moles de PGA. La energía del ATP, producido en la luz es utilizada para fosforilar el PGA y se forman 6 moles de ácido 1,3 difosfoglicérico, que es reducido luego mediante la acción de 6 NADPH a gliceraldehido-3-fosfato (PGAL). Dos moles de gliceraldehido-3-fosfato son removidos del ciclo para fabricar glucosa. El resto de los moles de PGAL se convierten en 3 moles de ribulosa-5-fosfato, que al reaccionar con 3 ATP, regenera 3 moles de ribulosa 1,5 bifosfato, que da comienzo al ciclo de nuevo. El gliceraldehido-3-fosfato producido en los cloroplastos sirve

de intermediario en la glucólisis. Una gran parte del PGAL que permanece en los cloroplastos se transforma en el estroma, en almidón, que es un carbohidrato de reserva (Berg, 2007).

#### **4.5 Ciclo del Nitrógeno.**

Es bastante complejo y también bastante perfecto, porque a pesar de que intervienen gran número de organismos es un ciclo muy rápido.

Aunque el nitrógeno se encuentra en un elevado porcentaje en la atmósfera (79%), la inmensa mayoría de los organismos son incapaces de utilizarlo directamente. Solo un número restringido de ellos puede hacerlo: Son los fijadores de nitrógeno, entendiéndose por fijación del nitrógeno. La incorporación del nitrógeno atmosférico a un componente químico utilizable por las plantas y por los animales. Este proceso implica un gasto elevado de energía (Seoáñez et al, 2000).

La circulación del nitrógeno guarda cierta semejanza con la del carbono. Como el C, el nitrógeno atmosférico puede ser fijado directamente por bacterias y hongos; el contenido en agua de lluvia y en las proteínas en los seres vivos, es devuelto al suelo excretado por las raíces y por los restos vegetales (Seoáñez et al, 2000).

El nitrógeno es un componente de los aminoácidos, de las proteínas y como consecuencia, de los RNA y DNA (soporte químico de los genes), así como de numerosas moléculas orgánicas minerales.

Se suele encontrar en la forma de ion nitrato  $\text{NO}_3^-$ , y penetra en los ecosistemas tomando dos caminos:

1. Mediante la transformación fotoquímica del nitrógeno del aire en amoníaco y NO por radiación rica en energía, proceso en el que se producen unos  $35\text{mg/m}^2/\text{año}$ .
2. Mediante la fijación del nitrógeno por bacterias que producen unos  $140\text{mg/m}^2/\text{año}$ .

Estos dos procesos enriquecen el ciclo en un 6.5% anualmente, y esta puede ser la razón de la importancia ecológica del reciclaje de los compuestos nitrogenados provenientes de los residuos.

Son fijadores de nitrógeno bacterias como *Azotobacter*, *Clostridium*, *Desulfovibrio*, *Anabaena*, *Trichodesium*, etc. Y también algunas plantas como las leguminosas en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* (Seoáñez et al, 2000).

Esquemáticamente en ciclo del Nitrógeno se realiza de la siguiente forma; el nitrógeno atmosférico llega hasta las células de los microorganismos fijadores del nitrógeno; una vez fijado pasa al suelo o a las plantas, si estas están en simbiosis con dichos microorganismo. Todos ellos al morir devuelven en nitrógeno fijado al suelo.

Este nitrógeno puede seguir dos vías:

1. Se recicla a través de una nueva generación de plantas y animales.
2. Se rompe en nitrógeno elemental y es devuelto a la atmosfera.

El hombre también interviene en este ciclo y lo desequilibra a través de la fijación industrial del nitrógeno (síntesis de abonos y fertilizantes).

El nitrógeno sufre una serie de transformaciones en el suelo:

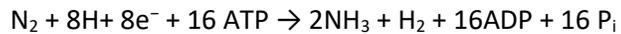
1. Mineralización. Paso de compuestos nitrogenados a forma mineral inorgánica.
2. Inmovilización. Cuando existe una elevada relación C/N, los microorganismos utilizan todo el nitrógeno mineral existente en el suelo.
3. Nitrificación. Conversión de sales amoniacales en nitritos, y por último en nitratos.
4. Desnitrificación. Reducción de los nitratos a nitrógenos libre, gaseos (Seoáñez et al, 2000).

Fijación y asimilación del Nitrógeno.

El primer paso en el ciclo es la fijación del nitrógeno de la atmósfera ( $N_2$ ) a formas distintas susceptibles de incorporarse a la composición del suelo o de los seres vivos, como el ion amonio ( $NH_4$ ) o los iones nitrito ( $NO_2$ ) o nitrato ( $NO_3$ ) (aunque el amonio puede usarse por la mayoría de los seres vivos, las bacterias del suelo derivan la energía de la oxidación de dicho compuesto a nitrito y últimamente a nitrato), y también su conversión a sustancias atmosféricas químicamente activas, como el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), que reaccionan fácilmente para originar alguna de las anteriores (Else et al, 2010).

- Fijación abiótica: La fijación natural puede ocurrir por procesos químicos espontáneos, como la oxidación que se produce por la acción de los rayos, que forma óxidos de nitrógeno a partir del nitrógeno atmosférico.

- Fijación biológica de nitrógeno: Es un fenómeno fundamental que depende de la habilidad metabólica de unos pocos organismos, llamados diazótrofos en relación a esta habilidad, para tomar N<sub>2</sub> y reducirlo a nitrógeno orgánico:



La fijación biológica la realizan tres grupos de microorganismos diazotrofos:

- Bacterias gram negativas de vida libre en el suelo; de generos como *Azotobacter*, *Klebsiella* o el fotosintetizador *Rhodospirillum*, una bacteria purpúrea.
- Bacterias simbióticas de algunas plantas, en las que viven de manera generalmente endosimbiótica en nódulos, principalmente localizados en las raíces. Hay multitud de especies relacionadas con el genero *Rhizobium*, que guardan una relación muy específica con el hospedador, de manera que cada especie alberga la suya, aunque hay excepciones.
- Cianobacterias de vida libre o simbiótica. Las bacterias de vida libre son muy abundantes en el plancton marino y son los principales fijadores en el mar. Además hay casos de simbiosis, como el de la cianobacteria *Anabaena* en cavidades subestomáticas de helechos acuáticos del genero Azolla, o el de algunas especies de Nostoc que crecen dentro de antoceros y otras plantas ( Else et al, 2010).

La fijación biológica depende del complejo enzimático de la nitrogenasa.

### **Nitrificación.**

La nitrificación es la oxidación biológica al nitrato por microorganismos anaerobios que usan el oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) como receptor de electrones, es decir, como oxidante. A estos organismos el proceso les sirve para obtener energía, al modo en que los heterótrofos la consiguen oxidando alimentos orgánicos a través de la respiración celular. El C lo consiguen del CO<sub>2</sub> atmosférico, así que son organismo autótrofos. La nitrificación consiste en dos procesos distintos, separados y consecutivos, realizados por organismos diferentes:

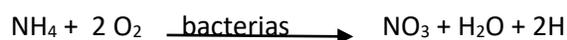
- Nitritación. Partiendo de amonio se obtiene nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Lo realizan bacterias de, entre otros, los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*.
- Nitratación. Partiendo de nitrito se produce nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Lo realizan bacterias del género *Nitrobacter*.

La combinación de amonificación y nitrificación devuelve a una forma asimilable por las plantas, el nitrógeno que ellas tomaron del suelo y pusieron en circulación por la cadena trófica ( Mosier A etal, 2004)

Las reacciones se expresan de la siguiente manera:



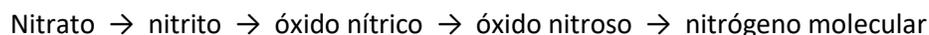
Todo el proceso de nitrificación se puede resumir en la siguiente reacción:



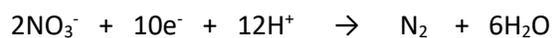
**Desnitrificación.** La desnitrificación es la reducción del ion nitrato ( $\text{NO}_3$ ), presente en el suelo o el agua, a nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ), la sustancia más abundante en la composición del aire. Por su lugar en el ciclo, este proceso es el opuesto a la fijación del nitrógeno.

Lo realizan ciertas bacterias heterótrofas como *Pseudomonas fluorescens*, para obtener energía. El proceso es parte de un metabolismo degradativo de la respiración anaerobia, en la que distintas sustancias, en este caso el nitrato, toma el papel de oxidante (aceptor de electrones) que en la respiración celular normal o aerobia corresponden al oxígeno ( $\text{O}_2$ ). El proceso se produce en condiciones anaerobias por bacterias que normalmente prefieren utilizar el oxígeno si está disponible (Capene et al, 2006)

El proceso sigue unos pasos en los que el átomo de nitrógeno se encuentra sucesivamente bajo las siguientes formas:



Expresado como reacción redox:



Como se ha dicho, la desnitrificación es fundamental para que el nitrógeno vuelva a la atmósfera, la única manera de que no termine disuelto íntegramente en los mares, dejando sin nutrientes a la vida continental. Sin la desnitrificación la fijación de nitrógeno, abiótica y biótica, terminaría por provocar la depleción (eliminación) del  $\text{N}_2$  atmosférico (Stevenson et al, 2000)

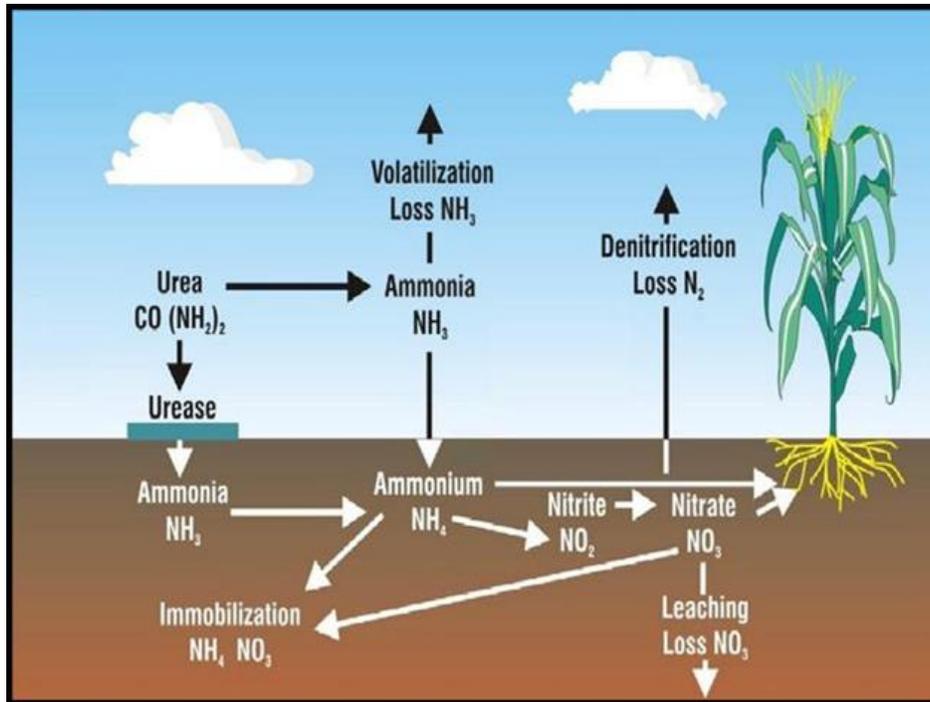


Figura 4. Ciclo del Nitrógeno (Ibáñez, 2011).

#### 4.6 Ciclo del Fósforo.

Es un ciclo sedimentario que carece totalmente de fase gaseosa, menos perfecto y más lento, pudiendo incluso producirse en él un estancamiento, permaneciendo el ciclo abierto.

Por otra parte, el fósforo es el elemento que más puede limitar el crecimiento de los ecosistemas. El fósforo que podemos encontrar en el suelo se presenta en forma inorgánica (ion fosfato  $\text{PO}_4$ ), o como compuesto orgánico procedente de restos de animales y vegetales (Seoáñez et al, 2000).

Su forma mineral es el ion fosfato  $\text{PO}_4$ . Los fosfatos se separan de la roca madre y pasan a disposición de las plantas. Las principales fuentes de fósforo inorgánico son los depósitos minerales. Como consecuencia del lavado de estos depósitos por el agua de lluvia, el fósforo inorgánico se pone en circulación.

Puede ser absorbido por las plantas, pasando posteriormente por los distintos niveles de consumidores animales. Los restos y cadáveres de plantas y animales serán mineralizados por bacterias, pudiendo ser de nuevo reutilizado por los seres vivos, cerrándose así el ciclo (Seoáñez et al, 2000).

Los seres vivos toman el fósforo (P) en forma de fosfatos a partir de las rocas fosfatadas, que mediante meteorización se descomponen y liberan los fosfatos. Éstos pasan a los vegetales por el suelo y, seguidamente, pasan a los animales. Cuando éstos excretan, los componentes actúan volviendo a producir fosfatos.

Una parte de estos fosfatos son arrastrados por las aguas al mar, en el cual lo toman las algas, peces y aves marinas, las cuales producen guano, el cual se usa como abono en la agricultura ya que libera grandes cantidades de fosfatos; los restos de los animales marinos dan lugar en el fondo del mar a rocas fosfatadas ( Else et al, 2010).

De las rocas se libera fósforo y en el suelo, donde es utilizado por las plantas para realizar sus funciones vitales. Los animales obtienen fósforo al alimentarse de las plantas o de otros animales que hayan ingerido. En la descomposición bacteriana de los cadáveres, el fósforo se libera en forma de ortofosfatos ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) que pueden ser utilizados directamente por los vegetales verdes, formando fosfato orgánico (biomasa vegetal), la lluvia puede transportar este fosfato a los mantos acuíferos o a los océanos. El ciclo del fósforo difiere con respecto al del carbono, nitrógeno y azufre en un aspecto principal. El fósforo no forma compuestos volátiles que le permitan pasar de los océanos a la atmósfera y desde allí retornar a tierra firme. Una vez en el mar, solo existen dos

mecanismos para el reciclaje del fósforo desde el océano hacia los ecosistemas terrestres. Uno es mediante las aves marinas que recogen el fósforo que pasa a través de las cadenas alimentarias marinas y que pueden devolverlo a la tierra firme en sus excrementos. Además de la actividad de estos animales, hay la posibilidad del levantamiento geológico de los sedimentos del océano hacia tierra firme, un proceso medido en miles de años (Stevenson et al, 2000).

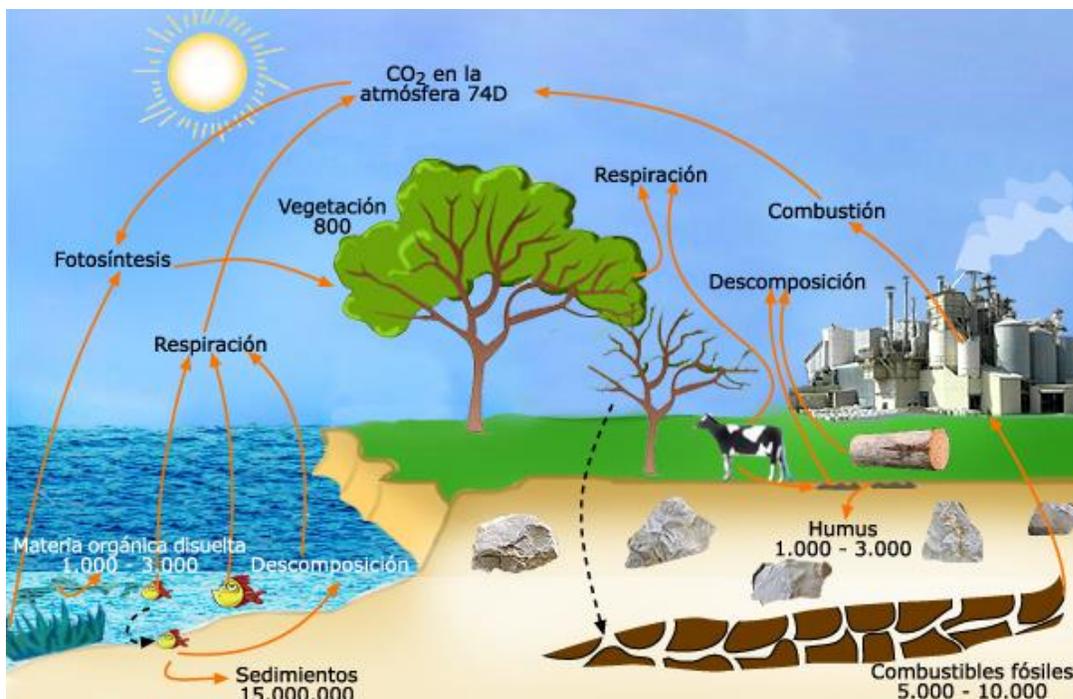
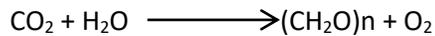


Figura 5. Ciclo del fósforo (Calvo, 2010).

#### 4.7 Fotosíntesis en la planta de maíz.

La fotosíntesis es un proceso biosintético por medio del cual la planta es capaz de sintetizar materia orgánica a partir de las moléculas inorgánicas que se encuentra en el medio utilizando la energía lumínica.

La reacción del proceso de forma simplificada sería:



La fotosíntesis, es el proceso por medio del cual los organismos autótrofos convierten a la energía proveniente del sol en energía química aprovechable, se considera una reacción endergónica, donde intervienen cuatro componentes básicos:

1. Fotosistema I (PSI)
2. Fotosistema II (PSII)
3. Cadena transportadora de electrones
4. Enzimas ATP-sintetasas

Existen especies de plantas en los que la fijación del  $\text{CO}_2$  tiene cuatro átomos de carbono (C-4), concretamente ácidos oxalacético, málico y aspártico. Entre las plantas con fotosíntesis C-4, se encuentran la caña de azúcar, el maíz, el sorgo y el amaranto.

La captura del  $\text{CO}_2$  en las plantas C-4, comienza con la reacción del  $\text{CO}_2$  con el ácido fosfoenol pirúvico (PEP), catalizada por la enzima PEP-carboxilasa, con la formación de ácido oxalacético (OAA). El OAA se convierte a ácido málico o aspártico (C-4), que luego son transportados desde las células del mesófilo, hacia las células de la vaina.

En las células de la vaina el ácido málico (C-4) es descarboxilado, produciéndose  $\text{CO}_2$  y ácido pirúvico (C-3). Luego el  $\text{CO}_2$  entra al Ciclo de Calvin y el ácido pirúvico después se convierte en PEP que retorna a las células del mesófilo (Berg, 2002).

Las plantas de maíz incrementan su peso poco a poco, muy despacio inicialmente, temprano en la temporada de cultivo. A medida que la planta produce más hojas y éstas son expuestas a la luz del sol, la velocidad con la que se acumula la materia seca se incrementa rápidamente.

Las hojas de la planta se desarrollan antes que otros órganos superficiales como el tallo, elote, flor, etc. Cuando la planta tiene alrededor de 10 hojas, la velocidad de acumulación de materia seca es rápida. Esta velocidad de acumulación de materia seca en las partes aéreas de la planta va a ser constante a través del tiempo, casi hasta la madurez de la planta (Stephen, 2002).

La división celular en las hojas ocurre en la punta de crecimiento de tallo. Las hojas se alargan, se ponen verdes y aumentan de peso al salir del centro de la planta y tener contacto con la luz. Sin embargo, la división celular o el alargamiento de las hojas se detienen cuando estas están totalmente abiertas. Todas las hojas tienen su tamaño final cuando la planta tiene alrededor de 12 hojas, sin embargo solo cerca de la mitad de las hojas de la planta están expuestas a la luz solar.

Los mayores rendimientos solo se podrán lograr cuando las condiciones ambientales y el manejo del cultivo sea el óptimo durante todas y cada una de las etapas de desarrollo del cultivo.

Condiciones desfavorables: En las etapas tempranas del desarrollo de la planta de maíz da como resultado hojas de menor tamaño (menos fotosíntesis). En etapas tardías de desarrollo, las condiciones no favorables para el desarrollo de la planta pueden reducir el número de estilos (pelos del elote), resultando esto en una polinización pobre de los óvulos y un menor número de granos por mazorca. Bajo condiciones extremas el crecimiento de la planta puede detenerse prematuramente y restringir el tamaño de grano, mazorca y planta, afectando así de manera muy significativa la producción de materia seca (Stephen, 2002).

#### **4.7.1 Absorción de nutrientes:**

La mayoría de la materia seca producida por la planta consiste en materiales orgánicos de carbono que resultan de la fotosíntesis y de los procesos subsecuentes. Un abastecimiento de la cantidad adecuada de cada nutriente durante cada una de las etapas de desarrollo de la planta es esencial para el desarrollo óptimo del cultivo.

La absorción de potasio (K) por la planta se detiene prácticamente después del jilote (floración), pero la absorción de otros nutrientes como el nitrógeno y el fósforo sigue hasta muy cerca de la madurez de la planta. Mucho del nitrógeno y fósforo, así como otros nutrientes esenciales para la planta, se translocan (mueven) de las partes vegetativas (hojas y tallo) de la planta hacia los granos en desarrollo durante las etapas finales de crecimiento del maíz. Esta translocación puede resultar

en deficiencias en las hojas a menos que cantidades adecuadas de nutrientes estén disponibles para la planta durante ese periodo de crecimiento (Russell, 2000).

Una gran proporción del nitrógeno y fósforo que la planta de maíz absorbe se encuentra en el grano. Pero la mayoría del K absorbido se regresa al suelo en las hojas, tallos y otras partes de la planta. Solo si removemos toda la parte aérea de la planta para ensilaje, por ejemplo, es obvio que nos llevaremos también todos los minerales que la planta extrajo del suelo durante su crecimiento. Un ejemplo de la absorción de N, P y K por maíz (Russell, 2000).

#### **4.8 Fotosíntesis C4.**

Las plantas cuyo primer producto de la fijación de CO<sub>2</sub> tiene tres átomos de carbono (plantas C3), como el ácido-3-fosfoglicérico, poseen el Ciclo de Calvin. Sin embargo, existen otras especies en las que el primer producto de la fijación del CO<sub>2</sub> son los ácidos oxalacético, málico y aspártico que poseen cuatro átomos de carbono (plantas C4). La captura del CO<sub>2</sub>, en estas plantas, comienza con la reacción del CO<sub>2</sub> con el ácido fosfoenol pirúvico (PEP), catalizada por la enzima PEP-carboxilasa, con la formación de ácido oxalacético (OAA). El OAA se convierte a ácido málico o aspártico (C4), que luego son transportados desde las células del mesófilo, hacia las células de la vaina.

En las células de la vaina el ácido málico (C4) es descarboxilado, produciéndose CO<sub>2</sub> y ácido pirúvico (C3). Luego el CO<sub>2</sub> entra al Ciclo de Calvin y el ácido pirúvico después se convierte en PEP que retorna a las células del mesófilo (Berg, 2002).

Los azúcares formados durante este proceso, se transportan por los conductos del floema en las nervaduras a toda la planta.

La fotosíntesis C4 no constituye una única ruta metabólica. Por el contrario, existen una serie de ajustes bioquímicos y estructurales que han explotado el papel de la fosfoenol piruvato carboxilasa y otras enzimas preexistentes para concentrar el CO<sub>2</sub> en la proximidad de la rubisco (Iriarte & Jiménez, 2003).

Anatómicamente, la fotosíntesis C4 requiere la modificación de la estructura de la hoja para formar los compartimentos donde se localiza la rubisco y en los que se concentra el CO<sub>2</sub>. Esta modificación ha conducido a la denominada anatomía de Kranz. En todas las versiones de la fotosíntesis C4, la primera fase consiste en la fijación de carbono inorgánico por la fosfoenol

piruvato carboxilasa seguido por el transporte de la molécula de 4 átomos de carbono resultante al interior de un compartimento donde se concentra la rubisco (Iriarte & Jiménez, 2003).

En este compartimento, el  $\text{CO}_2$  se libera mediante la descarboxilación del ácido de 4 átomos de carbono formado, y su concentración alcanza niveles que se aproximan al punto de saturación de los centros activos de la rubisco

La descarboxilación produce a su vez un ácido de 3 átomos de carbonos que retorna al compartimento donde está presente la fosfoenol piruvato-carboxilasa (Iriarte y Jiménez, 2003).

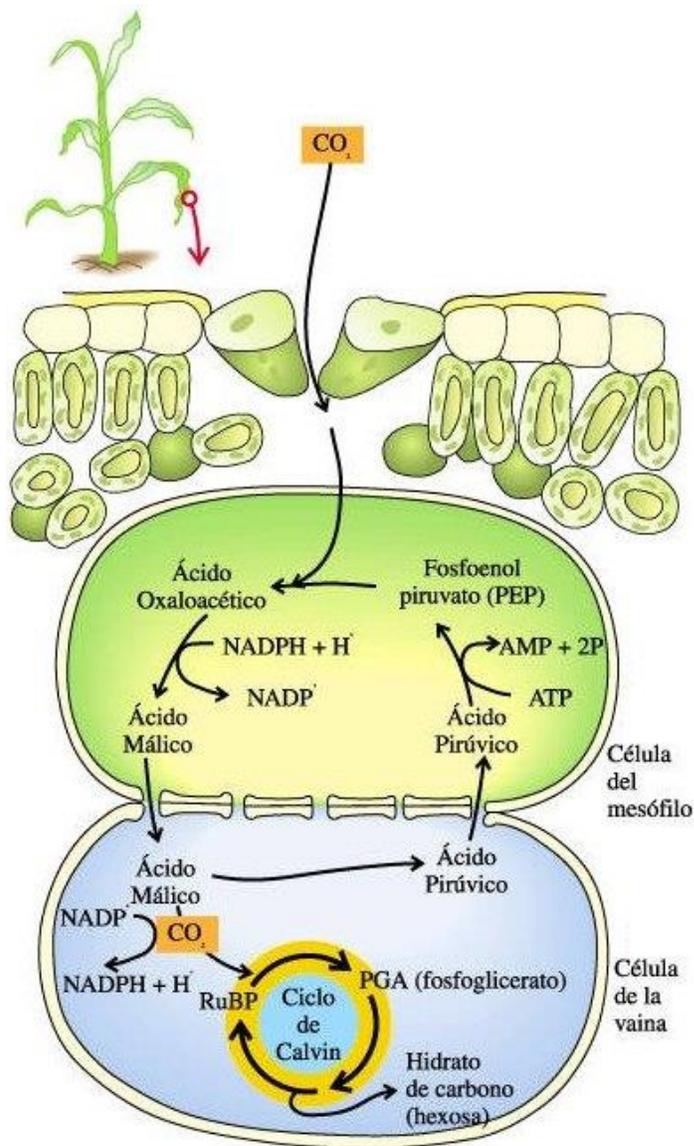


Figura 6. Plantas C4 (Iriarte & Jiménez, 2003).

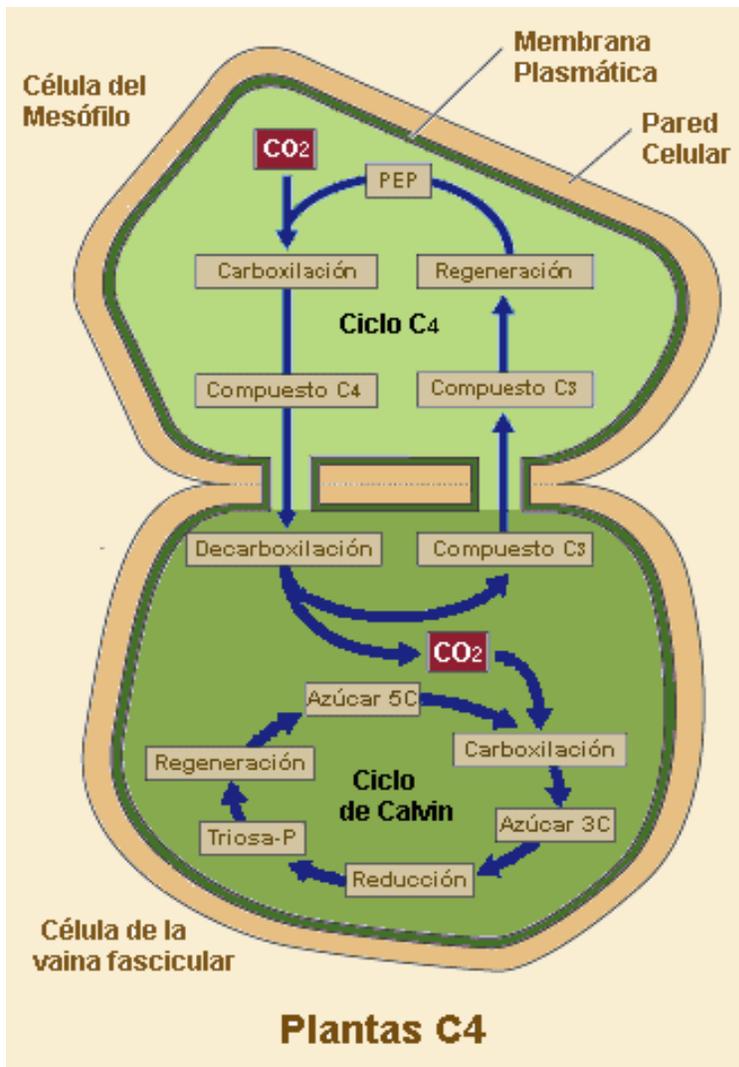


Figura 7. Fotosíntesis plantas C4 (Iriarte & Jiménez, 2003).

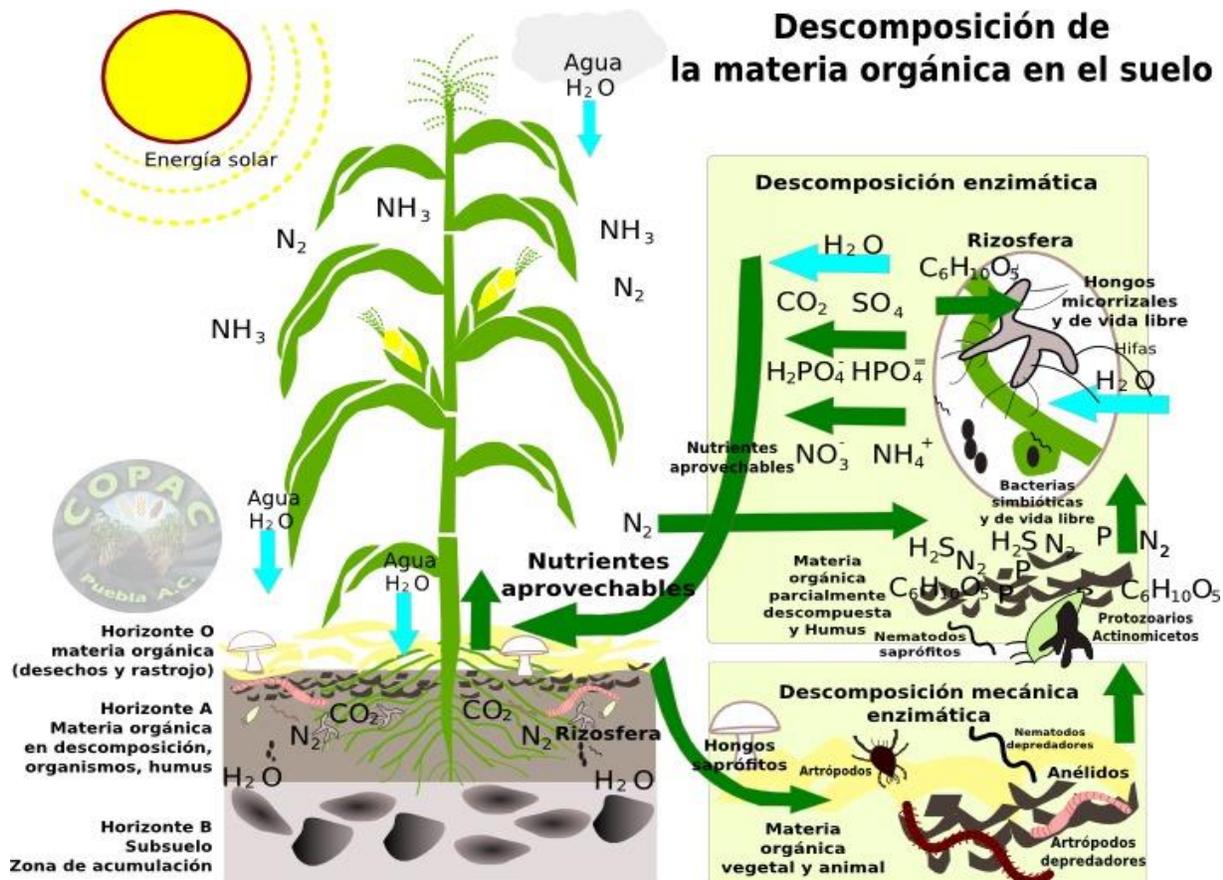
#### **4.9 Importancia biológica del uso de rastrojo de maíz como cobertura de suelos.**

Se han estudiado acciones de respuesta y prevención, para devolver y especialmente conservar la fertilidad en nuestros suelos agrícolas, reducir los costos de producción y al final aumentar la productividad. Lo anterior se traduce en beneficios “ecológicos” y económicos, para los productores y para la humanidad misma.

Para comprender el beneficio del rastrojo se debe visualizar el suelo como un organismo, que podemos decir que se encuentra “vivo” y por tanto se alimenta, crece, se reproduce y aunque parezca difícil de creer, también muere; lo último por cierto a diferencia de “plantas y animales”, requiere de mucho tiempo de mal manejo, mala alimentación y una vida inadecuada, para finalmente provocar la “muerte”, que aunque inexacto, lo consideraremos como la pérdida de la fertilidad y por tanto de la productividad (Maldonado & Maldonado, 2005).

Así que si el suelo esta “vivo”, significa que lo que éste no utiliza para sobrevivir (“el material de desecho del suelo vivo”) termina siendo los nutrientes necesarios para el cultivo, por lo que existe una relación de la planta con el suelo “vivo”, la cual funciona igual que la relación, de animales (incluidos los humanos) y el resto de las plantas, necesarias como alimento y como productoras de oxígeno, y ellas necesitando nuestros desechos como abono; en la relación planta – suelo , el efecto es muy similar, así que al cosechar, después de haber usado los “desechos” del suelo como nutrientes para nuestros cultivos, es justo que los desechos del cultivo sean devueltos a nuestro suelo “vivo”, cumpliendo un ciclo necesario para los seres que le proporciona el significado de “vivo” a nuestro suelo (Maldonado & Maldonado, 2005).

Pero ¿qué pasa en el suelo al dejar el rastrojo?, y ¿por qué decimos que esta “vivo”? , en el suelo hay toda una comunidad de seres vivos la mayoría microscópicos, y al igual que “plantas y animales”, conviven en cierto equilibrio y cierta comunión, cada miembro de esta comunidad de seres vivos realiza una parte fundamental de un proceso que conocemos como “descomposición” o reciclaje de la materia orgánica, a través de muchos pasos realizados por cada miembro vivo de la comunidad del suelo, el rastrojo o materia orgánica, pasa de ser ese “desecho” o “basura”, a transformarse en nutrientes vitales para los seres vivos en el suelo, los cuales a su vez “desechan”, lo que para nuestro cultivo son los nutrientes necesarios.



**Figura 8.** Esquema de algunas de las interacciones y procesos que ocurren durante la descomposición de la materia orgánica en el suelo, empezando por la acción mecánica y finalizando con la fijación y reciclaje de nutrientes aprovechables (Maldonado, 2005).

Por lo tanto si los miembros vivos de la comunidad en el suelo mueren por falta de nutrientes, el suelo “muere” también, perdiendo fertilidad. Si esto pasa, ya no habrá quien “deseche” los nutrientes que la planta requiere, por lo tanto, nuestros cultivos terminan por morir también. En términos más estrictos: el rastrojo o materia orgánica se deja en la capa superficial del suelo, al ser una fuente de alimento cercana y disponible, tiende a ser preferida por los miembros más grandes de la comunidad del suelo: hongos macroscópicos, ácaros, insectos, lombrices y nematodos entre los que también se encuentran algunos considerados “plagas”; es importante mencionar que si existe el alimento suficiente los organismos no se atacan o depredan entre sí, esto incluye a las plagas y a nuestros cultivos, esta materia es “atacada” para su descomposición principalmente de manera mecánica, reduciéndola a componentes pequeños (Maldonado y Maldonado, 2005).

El siguiente paso es la acción de ciertas especies de hongos, protozoarios y nematodos, reduciendo los desechos de los organismos más grandes, o depredando a los organismos más pequeños como bacterias, algas y levaduras, digiriendo y liberando materia aún más pequeña y especialmente más simple en composición; a cada paso, cada miembro de la comunidad obtiene una pequeña cantidad de nutrientes, y desecha compuestos más pequeños y simples; los hongos por un proceso exo-enzimático y los protozoarios por digestión (Maldonado & Maldonado, 2005).

Aunque existen muchos pasos intermedios, la acción final la realizan las bacterias, las cuales reciben desechos más simples como fuente de alimento, y son capaces de procesarlo y desechar elementos aún más simples, como Nitratos, Nitritos, Fosfatos, Sulfatos, Oxígeno, Carbono y agua, nutrientes fácilmente identificables como indispensables para los cultivos; son las plantas quienes al final obtienen estos nutrientes de los “desechos” de los seres vivos en el suelo, de todo esto podemos notar sin duda la importancia de la práctica de conservar el rastrojo.

Se debe mencionar que seguirá siendo necesario integrar a esta práctica, la aplicación ocasional de fertilizantes inorgánicos, especialmente en el caso del rastrojo del maíz por su bajo contenido de Nitrógeno en comparación con el alto contenido de Carbono (el principal alimento de la mayoría de los organismos del suelo) (Maldonado & Maldonado, 2005).

Esto se debe a que los organismos, para aprovechar o digerir su alimento con altos contenidos de carbono, necesitan utilizar otros nutrientes en dicho proceso (en los humanos podemos mencionar a los cofactores o vitaminas, e incluso el agua), en este caso al encontrarse el Nitrógeno en cantidades reducidas, se puede producir un déficit de dicho nutriente y a última instancia impactar en el crecimiento de nuestro cultivo, provocando una impresión errónea sobre la práctica.

En conclusión la importancia de conservar el rastrojo en los suelos agrícolas, es un beneficio biológico indispensable, pero además representa un beneficio económico significativo para el productor, por su impacto dentro de la productividad de los cultivos, gracias al reciclaje y flujo constante de nutrientes provenientes la formación de reservorios en forma de compuestos muy complejos, reduciendo así la necesidad de fertilización inorgánica, y conservando las características físicas, químicas y biológicas que harán un suelo fértil y productivo, contrarrestando el alto nivel de erosión que presentan los suelos poblanos y en general en México (Maldonado & Maldonado, 2005).

#### **4.10 Beneficios de la utilización de rastrojos.**

El manejo de rastrojos permite obtener una serie de beneficios ambientales, tales como:

- Al evitar la quema del rastrojo, se reduce la contaminación ambiental.
- Mejora la oportunidad de siembra.
- Los rastrojos, al cubrir el suelo, disminuyen la erosión por el agua de lluvia y la pérdida de agua del suelo por evaporación.
- Favorece la infiltración del agua.
- Aumenta la actividad biológica y el contenido de materia orgánica en el suelo.
- Aporta abono orgánico a las plantas y mejora la fertilidad del suelo, disminuyendo así el costo en fertilizantes.
- Mejora la estructura del suelo.
- Evita el endurecimiento superficial de los suelos.
- Evita las temperaturas muy altas y muy bajas en el suelo (Eyhorn & Weidmann, 2002).

#### 4.11 Componentes del rastrojo de maíz.

El cultivo del maíz produce una gran cantidad de biomasa, de la cual el hombre cosecha apenas cerca del 50% en forma de grano. El resto, corresponde a diversas estructuras de la planta tales como caña, hoja, limbos y mazorca entre otros.

La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz de grano (cañas y hojas), fluctúa entre 20-35 toneladas por hectárea. La proporción entre los componentes del residuo depende principalmente de la variedad, nivel de fertilización y tipo de cultivar.

**Cuadro 2. Componentes de la planta de maíz.**

Componentes	Porcentaje de peso seco del maíz
Panoja	12.0
Tallos	17.6
Chalas	8.9
Total caña	38.5
Mazorca	11.8
Grano	49.7
Total espiga	61.5

Cada una de estas estructuras posee características físico-químicas propias, lo que le confiere un valor nutritivo muy diferente, dependiendo de si el residuo corresponde a maíz de grano o maíz para consumo fresco. Los tallos presentan las estructuras más lignificadas y de menor contenido de proteína bruta (3.1%) y las hojas entre 4 y 7 %.

Proteína bruta y digestibilidad de la materia seca en diferentes componentes del rastrojo de maíz.

**Cuadro 3. Porcentaje de Componentes de la planta de maíz.**

<b>Componentes</b>	<b>PB%</b>	<b>DIV MS %</b>
Hojas	4.5	55.6
Tallos	3.1	59.7
Chalas	4.7	69.1
Mazorcas	4.7	58.0
Cañas + hojas.	4.2	55.8

Dependiendo del tipo de cultivo, el método de cosecha y almacenamiento, la calidad puede variar considerablemente. En el maíz destinado a uso o consumo en fresco, el residuo que queda en el campo es de mejor calidad en cuanto a digestibilidad y contenido proteico, pero con diferencia de energía, ya que se ha retirado la mazorca. La digestibilidad de este residuo, así como la concentración de nutrientes, será significativamente superior a las del residuo de maíz destinado a grano.

#### **4.12 Agricultura de Conservación.**

En la actualidad, la agricultura enfrenta muchos y variados retos, como son la degradación de los suelos, el cambio climático, la falta de agua, el aumento en el precio de los insumos, la baja rentabilidad y la disminución en la productividad que, entre otras situaciones, han provocado el abandono del campo (Knowler et al, 2003).

Para enfrentar estos retos, la iniciativa Modernización Sustentable de la Agricultura, a través de su componente Desarrollo Sustentable, tiene como objetivo elevar las capacidades productivas de los pequeños productores de maíz y frijol, fomentar rendimientos altos y estables que contribuyan a la soberanía alimentaria del país en ambos cultivos, así como mitigar los efectos del cambio climático a través de prácticas agronómicas sustentables. Como base para estas prácticas sustentables se propone la Agricultura de Conservación. México es uno de los líderes mundiales en la investigación de sistemas de producción con base en la Agricultura de Conservación (AC), que se sustenta en tres principios básicos:

1. Mínimo movimiento del suelo.
2. Retención de residuos del cultivo anterior sobre la superficie del terreno.
3. Rotación y diversificación de siembras (Knowler et al, 2003).

En los antecedentes, se menciona que la primera intervención en agricultura fue una forma de no-labranza en el contexto de la agricultura de corte y quema, usando un palo aguzado para hacer un hueco y colocar la semilla.

Cuando la agricultura comenzó a ser más intensiva, las tecnologías para el control de las malezas que estaban disponibles en ese entonces, solamente permitían la limpieza del suelo por medio de la labranza para la agricultura a gran escala.

La labranza produce la aireación del suelo y por consiguiente una rápida mineralización de la materia orgánica en los suelos vírgenes. En razón de la sustracción de las materias orgánicas del suelo se produce una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas para el próximo cultivo, pero esto solo ocurre durante un número limitado de años. Este es el origen de la idea errónea de que la labranza aumenta la fertilidad del suelo (Shaxson, 2005).

Una vez que el efecto fertilizante de la materia orgánica del suelo fue reemplazado por el uso de fertilizantes minerales, se debió recurrir a una labranza más intensiva para lograr una buena

estructura del suelo. Esta estructura del suelo que se logra mecánicamente no dura mucho tiempo, por lo cual cada vez se requiere más trabajo de labranza. A través de los años, la labranza reduce el contenido de materia orgánica, lo cual agrava el problema.

Consecuencias:

- En la mayor parte de los suelos agrícolas es imposible desarrollar un cultivo sin labranza debido a un proceso general de degradación del suelo.
- La labranza se entiende como un problema puramente mecánico.
- Muchos agricultores y el público en general no pueden imaginar como un cultivo puede desarrollarse en un terreno que no ha sido labrado (Shaxson, 2005).

La AC mantiene el suelo cubierto con materiales orgánicos en forma permanente o semipermanente. Esto puede ser hecho con materiales orgánicos vivos o muertos. Su función es proteger físicamente el suelo del sol, la lluvia y el viento, y alimentar el suelo. Los microorganismos y la fauna del suelo reemplazan la función de la labranza y equilibran los nutrientes del suelo. La labranza mecánica perturba este proceso. Por consiguiente, la labranza cero, la labranza mínima y la siembra directa son elementos importantes de la AC. La rotación de cultivos es también importante para evitar problemas de enfermedades y plagas (Knowler et al, 2003).

En lugar de incorporar al suelo la biomasa, como abonos verdes, cultivos de cobertura o residuos vegetales, en la AC estos se dejan en la superficie del suelo. La biomasa muerta sirve como protección física de la superficie y como sustrato para la fauna del suelo. De esta forma se reduce la mineralización y se construyen y mantienen niveles apropiados de materias orgánicas en el suelo. Por lo cual se debe tomar en cuenta los diferentes puntos que afectan y benefician esta actividad.

1. Manejo de residuos: El manejo de los residuos de los cultivos y de las malezas es un elemento esencial. Por ejemplo, cortar un cultivo de cobertura o las malezas antes de su floración o de la formación de semillas, o aplastar con un rodillo los residuos de los cultivos, inhibe el crecimiento de las malezas, incrementa la infiltración de la lluvia y protege la humedad del suelo contra la evaporación. La cobertura de residuos también protege y alimenta la fauna del suelo, que a su vez produce y mantienen un sistema de poros abiertos en el suelo.

2. Rotación de cultivos: La rotación de cultivos es necesaria con el fin de evitar el aumento de plagas, malezas o enfermedades y para asegurar un sistema de raíces que penetren en el suelo a diferentes profundidades. Esto también conduce a una extracción más equilibrada de los nutrientes de suelo.
3. Labranza de conservación: Las prácticas de labranza de conservación dejan algunos residuos de cultivos sobre la superficie, lo cual incrementa la infiltración del agua y reduce la erosión. Estas prácticas se usan en la agricultura convencional para reducir la erosión en suelos desnudos (Ribes, 2004).

Sin embargo, en vista de la importancia de la vida en el suelo para el sistema, los compuestos agroquímicos, incluidos los fertilizantes, se aplican con mucho cuidado y las cantidades que se aplican tienden a disminuir a través de los años (Ribes, 2004).

#### 4.13 Plagas en el maíz.

La identificación correcta de las plagas y sus hábitos son de suma importancia para evitar aplicaciones innecesarias de insecticidas selectivos, para lograr el rápido y eficiente control de las plagas que afectan al cultivo.

**Cuadro 4. Insectos dañinos del cultivo de maíz.**

Insecto	Daño
Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )	Sus daños son más evidentes en su etapa de larva, al penetrar al cogollo y alimentarse del mismo, cuando la planta de maíz mide alrededor de 50 cm de altura o menos, generando perforaciones a las hojas y en ataque severos muerte del cogollo, las larvas tienden a abandonar los cogollos y perforar los tallos de la planta para buscar refugio.
Gusanos trozadores ( <i>Agrotis ipsilon</i> )	Los trozadores cortan en su totalidad el tallo de la planta ocasionando que ésta caiga, mientras que el gusano cogollero actúa como un barrenador; además, los trozadores por lo regular hacen el daño por la tarde o noche y en el día se refugian en las grietas del suelo.

Gusano elotero <i>Helicoverpa zea (boddie)</i>	Es el ataque al elote, y su daño se concentra en la parte apical del elote, mientras que <i>S. frugiperda</i> concentra su ataque en la porción media basal del elote.
Gallinas ciegas <i>(Phyllophaga spp)</i>	El daño principal de estas larvas, es ocasionado al alimentarse de las raíces del maíz, ya que ocasionan la marchitez de la planta, amarillamiento, reducción del crecimiento y en ataques severos la muerte de las plantas.
Diabroticas <i>(Diabrotica balteata LeConte)</i>	Su principal daño se observa en el sistema radicular cuando las plantas aún son pequeñas.
Trips <i>(Frankliniella sp)</i>	El daño es ocasionado tanto por los estados juveniles como por adultos, al alimentarse succionando la savia de las hojas, este daño se observa como un raspado y puede presentarse además en tallos, inflorescencias y mazorcas, sin embargo es en la etapa de desarrollo de la planta cuando se ve mayormente el impacto de los trips, ya que pueden llegar a detener el crecimiento del cultivo.
pulgones <i>(Rhopalosiphum maidis)</i>	Ocasionan daños similares al alimentarse de la savia de la planta, aunque estos tienen la particularidad de vivir en grupos bien establecidos en los cogollos de la planta de maíz.

(White & Listman et al, 2004)

#### 4.14 Insectos benéficos en la planta de maíz.

Son aquellos que en algún momento de su vida se van a alimentar de los insectos plaga para poder completar su desarrollo, por ello son considerados como benéficos o buenos porque van a contribuir a mantener la población de las plagas a niveles en los que no causen un impacto económico grande, además de evitar el uso de productos químicos como insecticidas.

**Cuadro 5. Insectos benéficos en el cultivo de maíz.**

Insecto	Beneficio
Abeja <i>(Apis , honey bee)</i>	La polinización constituye el principal aporte de las abejas, tanto por el incremento de la actividad agrícola como por la protección de la biodiversidad que esta genera, aumenta las cosechas sin dañar el ambiente, al contrario de eso, equilibra el ecosistema, asegurando la supervivencia de la flora y fauna.
Hormiga <i>(Messor barbarus)</i>	En muchos ecosistemas, las hormigas son importantes dispersores de las semillas que ellas recogen. Comen una variedad de insectos pequeños que capturan, insectos muertos que encuentran, néctar o zumo dulce (ligamaza).
Cigarras <i>(Cicada orni)</i>	Su alimentación consiste en comerse a otros insectos de menor tamaño, insectos muertos.
Chinche verde <i>(Dichelops furcatus)</i>	Se alimentan de trips, pulgones y algunas otras plagas.
Ala de ángel <i>(Begonia Sophie)</i>	Estos insectos también son carroñeros de esporas de hongos y de vez en cuando comen pequeños ácaros.
Avispas <i>(Trichogramma spp)</i>	Las avispas son tan adeptas a controlar las plagas. se alimentan de muchos insectos que destruyen las plantas,
Grillos <i>(Acheta Domesticus)</i>	Se alimentan de basura comiendo material orgánico, tanto como material de plantas desintegradas, hongos y plántulas.

<p>Tijerillas (<i>Forficula Auricularia</i> Linnaeus)</p>	<p>La mayor importancia de estos insectos está en el hecho de ser eficientes depredadores, principalmente de huevecillos de mariposas. En cultivos de maíz, tanto los estados inmaduros como los adultos se alimentan de huevos y larvas de primeros estadios del “gusano cogollero” <i>Spodoptera frugiperda</i> siendo considerado uno de los enemigos naturales más eficaces de esta plaga</p>
---	---

(Nájera & Souza, 2010)

#### **4.15 Bioinsecticida orgánico Neem (*Azadirachta indica*, A. Juss.)**

Para el control de plagas agrícolas, generalmente los agricultores utilizan agroquímicos sintéticos, provocando contaminación en el ambiente, en el producto cosechado y problemas de salud humana.

Una de las alternativas actuales para el control de plagas es la utilización de plaguicidas de origen vegetal, para lo cual, el árbol de neem (*Azadirachta indica*, A. Juss.). Con el bioplaguicida de neem elaborado artesanalmente, se controlan plagas en una forma sana y económica, en comparación a los plaguicidas sintéticos; lo que permite utilizarlo en la agricultura orgánica (Osuna, 2005).

El neem es un insecticida, fungicida, nematocida y repelente. También inhibe el crecimiento de otras plantas. Es una especie esclerofolia que crece rápidamente en zonas tanto semiáridas como semihúmedas.

El neem actúa principalmente contra afidios, nemátodos, gusanos de la mazorca y comedores de follaje, arañas, barrenadores, trozadores, la mosca mediterránea y la mariposa de la col. Debido a que su principio activo es descompuesto rápidamente por los rayos ultravioletas, se recomienda efectuar su aplicación durante la noche. Finalmente, es bueno anotar que el neem tiene poco o ningún efecto sobre insectos benéficos para los cultivos. El principio activo "azadirachtina" es efectivo a dosis de 0'1 parte por millón (Osuna, 2005).

Componentes químicos del neem y su efecto sobre insectos: El neem posee constituyentes biológicamente activos como los triterpenoides, (llamados más específicamente limonoides), y de estos los más importantes son azadiractina, salanina, meliantrol, nimbina y nimbidina, reconociéndose los siguientes efectos: interrumpen o inhiben el desarrollo de huevos, larvas y

pupas; bloquean la muda de larvas a ninfas; repele larvas y adultos; repele a las hembras para ovipositar; esteriliza a los adultos; envenena a las larvas y adultos; disuade a los insectos a alimentarse; confunde a los insectos para realizar la metamorfosis e inhibe la formación de quitina.

Puede afirmarse que en términos generales los extractos de neem afectan cerca de 300 especies de insectos en los siguientes ordenes: orthoptera (chapulines); blattaria (cucarachas); homóptera (pulgones), lepidóptero (mariposas); díptera (moscas); coleóptera (escarabajos y gorgojos), himenóptera (avispas y hormigas); isóptera (termitas), thyzanoptera (trips) y siphonaptera (pulga). Los extractos de neem son efectivos para proteger a las plantas de los defoliadores, sin afectar a las abejas las cuales son benéficas para la polinización (Osuna, 2005).

#### **4.16 Aplicación de fertilizantes.**

Las plantas pequeñas no absorben grandes cantidades de fertilizante. Sin embargo, la concentración necesaria de nutrientes cerca de la planta joven debe estar disponible para un rápido crecimiento y desarrollo inicial. Esto último ayuda con un crecimiento vigoroso durante las primeras semanas de desarrollo. Aun cuando la cantidad de nutrientes absorbida es relativamente pequeña, el tamaño final de las hojas, tallo, mazorca y otras partes de la planta dependen en gran medida de la disponibilidad adecuada de nutrientes durante este periodo inicial de desarrollo de la planta.

Durante las épocas tempranas de crecimiento, el sistema radicular es pequeño y muchas veces el suelo está frío, lo que limita la absorción de elementos minerales. La raíz de la plántula (radícula), que se está estirando, sirve como sistema radicular durante las primeras semanas después de la emergencia de la planta. El aplicar fertilizante a un lado y ligeramente por debajo de la semilla es bueno; ya que la radícula, al crecer, puede interceptar la banda de fertilizante. Las raíces pueden ramificarse y proliferar al estar cerca o entrar en contacto con la banda del fertilizante en la solución del suelo; pero las raíces no son "atraídas" ni "buscan" al fertilizante o el agua, así que el fertilizante debe de ponerse donde la raíz va crecer y la humedad del suelo debe de ser la ideal; el agua es el vehículo de la mayoría de los nutrientes que "alimentan" a las plantas" (Bustamante, 2002).

En etapas más tardías de crecimiento, las plantas requieren cantidades mucho mayor de nutrientes. Estos nutrientes deben de encontrarse en lugares del suelo que tengan suficiente humedad para poder ser absorbidos por la raíz. Independientemente del sistema de labranza que se tenga, un suelo con niveles altos de P o de K debe de proveer la cantidad de nutrientes adecuada para un buen desarrollo del cultivo (Bustamante, 2002).

En este caso la colocación del nutriente no debe de representar mayor problema. Para los sistemas de labranza de conservación o labranza mínima, en suelos bajos en P o K, la aplicación de un "arrancador" en banda subterránea o inyectado 15 a 20 cm bajo la superficie del suelo es recomendable y seguramente traerá beneficios si lo comparamos con aplicaciones al "voleo". La aplicación del fertilizante nitrogenado debe de basarse siempre en las necesidades del cultivo, buscando el momento de máximo aprovechamiento por la planta. Aplicar de 20% a 25% del nitrógeno total a la siembra es muy recomendable y el resto según la demanda del cultivo (Bustamante, 2002).

## CAPITULO V

## METODOLOGÍA.

### 5.1 Desarrollo experimental

El desarrollo experimental se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ubicado en Carretera Panamericana Km. 1080, Col. Terán, con las siguientes coordenadas:

Altura= 576m    N= 16° 45' 26.2"    O= 93° 10' 25.3"

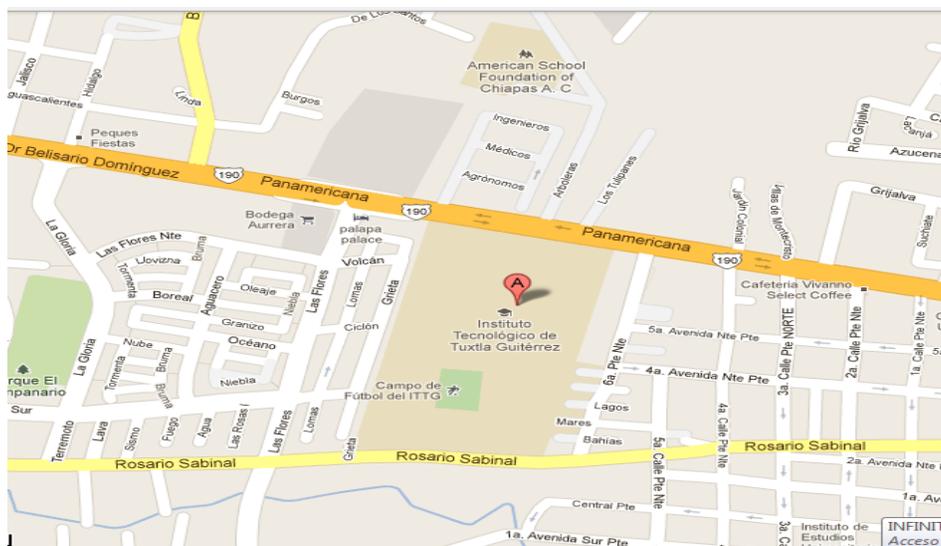


Figura 9. Ubicación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

### Condiciones de cultivo

Se realizaron dos cultivos consecutivos en riego y temporal. En el ciclo de riego se sembró el día 20 de febrero de 2013 y se le aplicó un riego cada tercer día a una proporción del 60% capacidad de retención de agua, en temporal se sembró el día 24 de junio de 2013.

### Material biológico

Se utilizó por cada unidad experimental 2 plantas de maíz de la variedad 424 teniendo un total de 84 plantas de maíz, adicionando diferentes cantidades de rastrojo de maíz (*Zea mays*, L.) y usando como fertilizantes sintéticos UREA plus DAP.

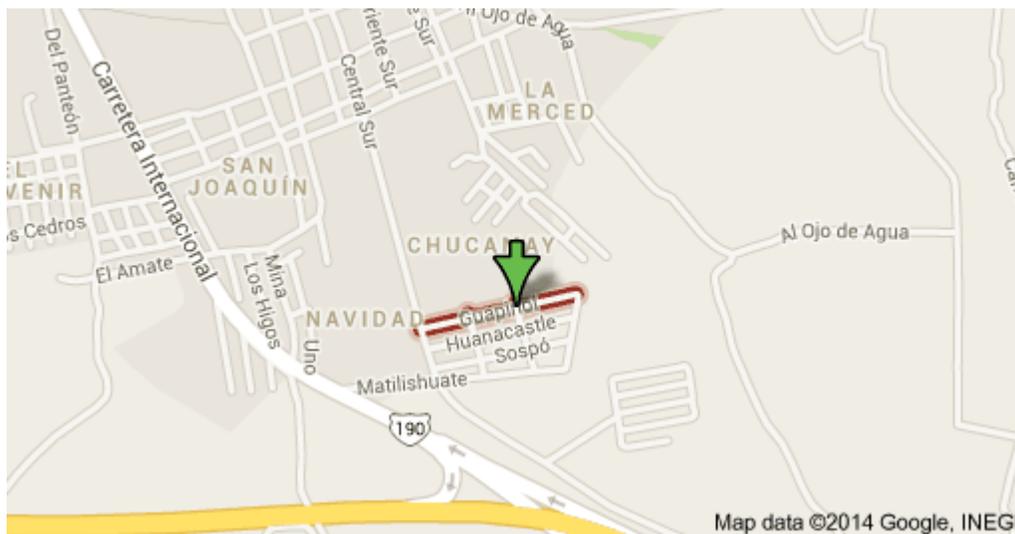
Las pruebas relacionadas con el suelo, rastrojo de maíz y bioinsecticida neem, se realizaron en:

- Laboratorio de Biotecnología del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, se realizó el análisis de Cantidad de Retención de Agua (CRA) y análisis de textura del suelo.

- b) Laboratorio de alimentos, preparación del bioinsecticida vegetal, fue a base de Neem (*Azadirachta indica*. A. Juss ) preparado con hojas de 10 arboles ubicados en el ITTG, tomando de cada árbol 500 gr. de hojas a partir de los 30 cm. de las puntas de las ramas, se elimino el polvo haciendo un lavado con agua para eliminar el polvo y otras estructuras adheridos a la hoja, se pusieron a remojo en agua la cual contenía el 1% de hipoclorito de sodio, para esterilizar por tres minutos, después se hicieron tres lavados con agua estéril para eliminar el excedente de hipoclorito, de estas hojas se tomo la cantidad de hoja necesaria para preparar el Bioinsecticida a una concentracion del 10% p/v (Montes et al, 2008)
- c) El suelo fue obtenido de la parcela ubicada en el Invernadero del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, ubicado en las siguientes coordenadas :
- Altura= 582 m   N= 16° 45' 25.5"   O = 93° 10' 25.5"

El maíz fue de la variedad V-424, cosechado en noviembre del 2012, picada en una picadora de pastura.

El rastrojo de maíz fue obtenido de la plataforma de Guapinol Chiapas, que se encuentra ubicada en el kilómetro 55 de la carretera Tuxtla La Garza, molido y tamizado a dos tamaños de partícula: de 0.5 a 1 mm y de 1 a 2 mm. Con un 12 % de humedad.



**Figura 10. Ubicación de la plataforma en Guapinol Chiapas.**

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones por bloque, los tratamientos fueron un control (blanco), un control químico (Urea plus DAP), y cinco diferentes concentraciones de rastrojo de maíz, se desarrollaron dos cultivos consecutivos uno en riego y otro en temporal.

**Cuadro 6. Tratamientos y abreviaciones.**

Tratamiento		Abreviatura
1	Agricultura de conservación Sin rastrojo de maíz con bioinsecticida Neem	Cs-s-N
2	Agricultura de conservación con 25 gr de rastrojo de maíz con bioinsecticida Neem	Cs-c-v-N
3	Agricultura de conservación con 50 gr de rastrojo de maíz con bioinsecticida Neem	Cs-c-ci-N
4	Agricultura de conservación con 100 gr de rastrojo de maíz con bioinsecticida Neem	Cs-c-ce-N
5	Agricultura de conservación con 150 gr de rastrojo de maíz con bioinsecticida Neem	Cs-c-cc-N
6	Agricultura de conservación con 200 gr de rastrojo de maíz con bioinsecticida Neem	Cs-c-d-N
7	Agricultura de conservación con fertilizante químico (UREA Y DAP) bioinsecticida Neem	Cs-q-N
1	Agricultura de conservación Sin rastrojo de maíz con insecticida semevin	Cs-s-S
2	Agricultura de conservación con 25 gr de rastrojo de maíz con insecticida semevin	Cs-c-v-S
3	Agricultura de conservación con 50 gr de rastrojo de maíz con insecticida semevin	Cs-c-ci-S
4	Agricultura de conservación con 100 gr de rastrojo de maíz con insecticida semevin	Cs-c-ce-S
5	Agricultura de conservación con 150 gr de rastrojo de maíz con insecticida semevin	Cs-c-cc-S
6	Agricultura de conservación con 200 gr de rastrojo de maíz con insecticida semevin	Cs-c-d-S
7	Agricultura de conservación con fertilizante químico (UREA Y DAP) insecticida semevin	Cs-q-S

**Cuadro 7. Tratamientos y concentración de rastrojo.**

Tratamiento	Concentración de rastrojo	Color de banderilla
1	Sin rastrojo ( Cs-s)	Negra
2	25 gramos (Cs-c-v)	Naranja
3	50 gramos (Cs-c-ci)	Verde
4	100 gramos (Cs-c-ce)	Morada
5	150 gramos (Cs-c-cc)	Rosa
6	200 gramos (Cs-c-d)	Blanca
7	Químico (Cs-q)	Celeste

**Cuadro 8. Tratamientos en riego y temporal.**

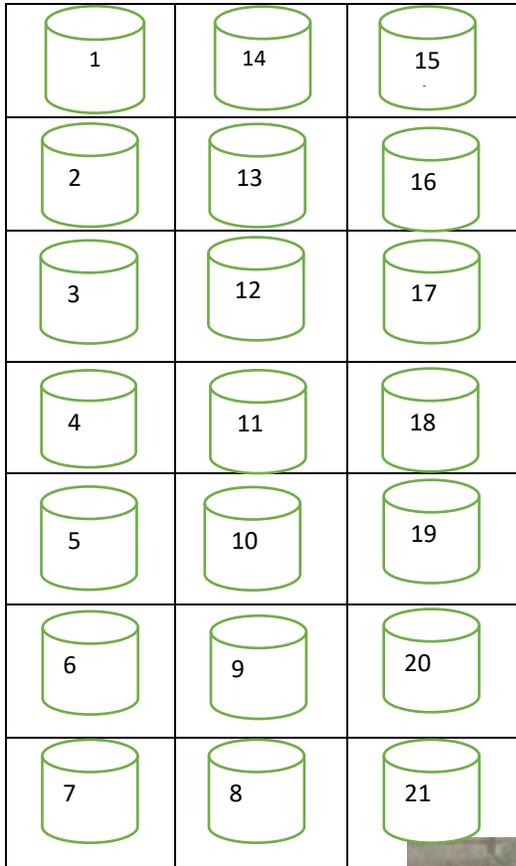
		Tratamientos						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Riego	Bloque I	X <sub>1,1</sub>	X <sub>2,1</sub>	X <sub>3,1</sub>	X <sub>4,1</sub>	X <sub>5,1</sub>	X <sub>6,1</sub>	X <sub>7,1</sub>
	Bloque II	X <sub>1,1</sub>	X <sub>2,1</sub>	X <sub>3,1</sub>	X <sub>4,1</sub>	X <sub>5,1</sub>	X <sub>6,1</sub>	X <sub>7,1</sub>
Temporal	Bloque I	X <sub>2,1</sub>	X <sub>2,2</sub>	X <sub>3,2</sub>	X <sub>4,2</sub>	X <sub>5,2</sub>	X <sub>6,2</sub>	X <sub>7,2</sub>
	Bloque II	X <sub>2,1</sub>	X <sub>2,2</sub>	X <sub>3,2</sub>	X <sub>4,2</sub>	X <sub>5,2</sub>	X <sub>6,2</sub>	X <sub>7,2</sub>

**Cuadro 9. Diseño de bloques completos al azar.**

Bloque I (Neem)		
BI T1	BI T2	BI T4
BI T3	BI T5	BI T3
BI T6	BI T2	BI T7
BI T7	BI T3	BI T1
BI T1	BI T4	BI T6
BI T4	BI T7	BI T2
BI T5	BI T6	BI T5

Bloque II (Semevin)		
BII T1	BII T2	BII T4
BII T3	BII T5	BII T3
BII T6	BII T2	BII T7
BII T7	BII T3	BII T1
BII T1	BII T4	BII T6
BII T4	BII T7	BII T2
BII T5	BII T6	BII T5

Bloque I (Neem)



Unidad experimental.

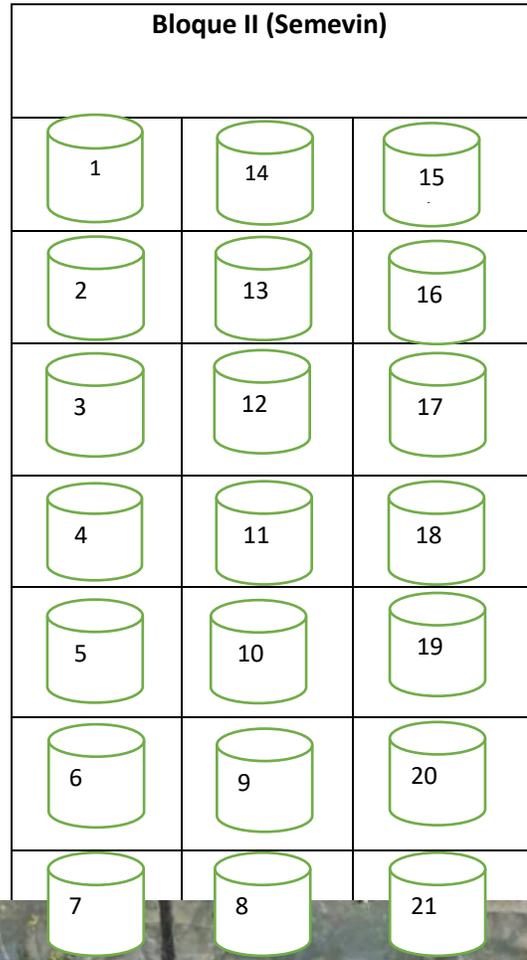


Figura 11.



Figura 12. Bloques completos al azar. (Imágenes de cultivo, ver anexo 1)

La unidad experimental consistió en 20 kg de suelo en un recipiente de pvc con la siguiente dimensión (30 cm de diámetro), con dos plantas de maíz en cada garrafón por cada tratamiento.

En el estudio tuvimos por cada bloque 21 unidades experimentales, con un total entre los dos bloques de 42 unidades experimentales, que correspondieron a 84 plantas de maíz, total en los dos bloques.

## **5.2 Siembra de la semilla de maíz e incorporación del rastrojo de maíz al suelo.**

Para establecer el experimento primero se pesó las diferentes concentraciones de rastrojo de maíz (*Zea mays*, L), se buscaron los recipientes de pvc que tuvieran igual número y medida en las perforaciones en el fondo del recipiente, para tener una filtración del agua por el suelo, igual en cada unidad experimental. Con la ayuda de una pala y una balanza granataria, se pesaron 20 kg de suelo, se colocaron dentro del recipiente.

Los recipientes de pvc contenían 20 kg de suelo se mezcló el con el rastrojo de maíz, se adiciono agua a un 60% CRA (Cantidad de Retención de Agua, previamente obtenidos para este suelo), para iniciar la actividad microbiana, dejándolo actuar durante 24 horas. Posteriormente al día siguiente se sembraron tres semillas de maíz y se dejaron dos plantas a los 15 días después de la emergencia. Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar.

## **5.3 Preparación del extracto de Neem.**

Se preparo al 10% P/V, se realizo una reducción del tamaño de la hoja por medio de una licuadora hasta un tamaño de dos a tres mm, se dejo reposar durante 72 h, cubierto protegido de la luz, al término de este tiempo, se filtro y con el filtrado se preparo una solución 1:3, y esta solución fue aplicada al cultivo como bioinsecticida ( de 3 a 5 ml por planta) .

## **5.4 Cuento de insectos.**

El conteo de insectos se realizó a las 7:00 h, a los 10, 18, 26, 34, 42, 50 y 58 dde (Días Después de la Emergencia), se contaban insectos dañinos y benéficos, antes y dos horas después de fumigar la planta de maíz obteniéndose el número de insectos, se contaron las plantas para observar el daño de las tres hojas más tiernas obteniéndose así el número y porcentaje de plantas dañadas (Montes et al, 2008).

El conteo se utilizó de guía para observar el efecto que tenían los insecticidas que se aplicaban en las plantas de maíz, insecticida químico semevin y el bioinsecticida orgánico neem (*Azadirachta indica*, A. Juss.). Los cuales fueron utilizados para conocer el efecto antes y después de la fumigación sobre las plagas que se presentaron durante el estudio.

#### **5.5 Medición de clorofila.**

La medición de clorofila se realizó a los 30, 60 y 90 dde, utilizando un clorofilometro digital Marca Minolta SPAD 502.

Las hojas que se midieron fueron las comprendidas en V-2 a V-12 (edafida de la planta)

#### **5.6 Parámetros Morfométricos.**

La medición de los parámetros Morfométricos se realizó con un flexometro marca KNOVA, auto lock 5 m (altura de la planta, altura de la mazorca) y un vernier digital Marca SURTEK, 0-150 mm (diámetro del tallo).

Realizando las mediciones en todas las unidades experimentales.

#### **5.7 Medición de la variable biomasa**

Para determinar el parámetro de biomasa se colectaron las plantas de maíz, se pesaron en una balanza granataria el mismo día que se cortó, para obtener peso húmedo, se volvió a pesar 8 días después de dejarlas secar dentro de bolsas de papel, para así obtener el peso seco y tener porcentaje de humedad de cada una de las plantas de maíz.

**CAPITULO 6 RESULTADOS Y DISCUSIONES.**

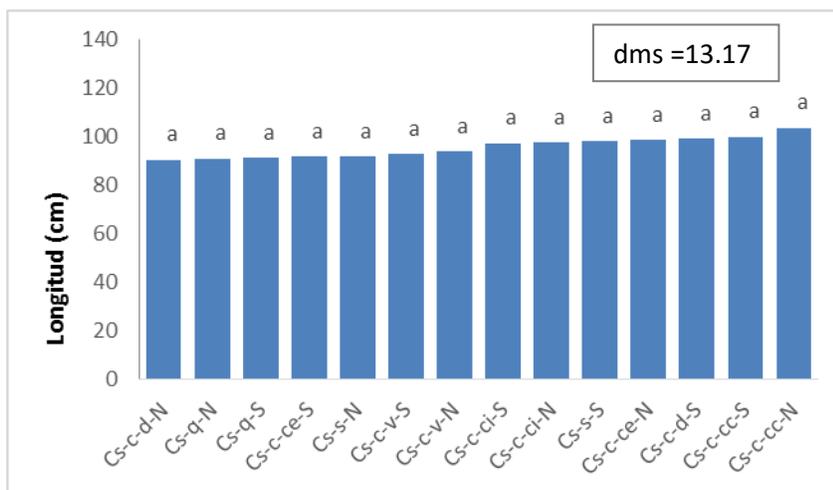


Figura 13. Variable longitud de la planta de maíz en condiciones de riego. \*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

En la figura 13 del experimento 1 no se observó diferencia significativa. Sin embargo se observó que en las plantas tratadas con 150 g de rastrojo de maíz y fumigadas con neem (*Azadirachta Indica*, A. Juss) en condiciones de riego, tuvieron 13% más longitud que las plantas fumigadas con neem conteniendo 200 g de rastrojo de maíz.

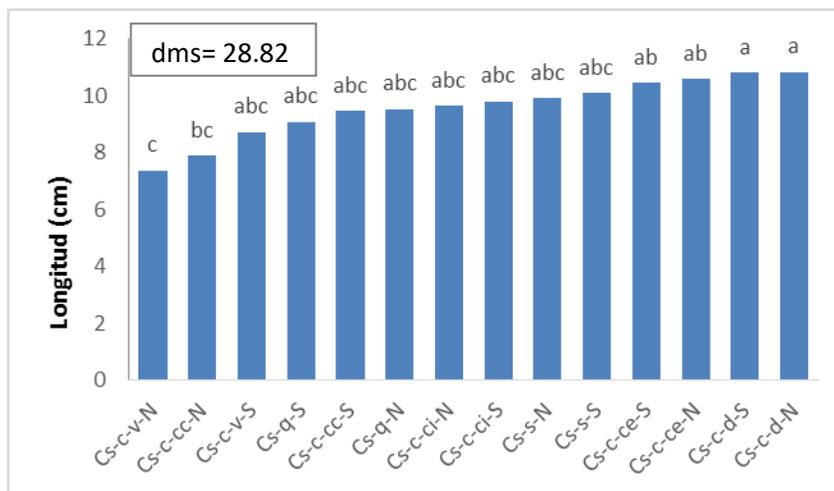


Figura 14. Variable longitud de la planta de maíz en condiciones de temporal. \*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

En la figura 14 del experimento 2 los resultados mostraron diferencia significativa. Observándose que para la variable de longitud las plantas tratadas con 150 g de rastrojo de maíz fumigadas con

semevin en condiciones de temporal, tuvieron 28% más longitud que las plantas con fertilizantes químicos fumigadas con bioinsecticida neem.

Los resultados obtenidos nos indican que el uso de rastrojo no tiene variación respecto al tratamiento con fertilizantes químicos, en ambos experimentos la concentración de 150 g de rastrojo de maíz fue la adecuada dando como resultado mayor longitud de planta.

El ciclo en el cual se encuentre el cultivo influye en el crecimiento y desarrollo de la planta de maíz, tal como lo mencionan:

Shen et al, (2010). Utilizo diferentes tratamientos en el cultivo de maíz en dos diferentes etapas del año y en etapas tempranas de desarrollo de la planta de maíz, utilizando un diseño de bloques completos, coloco rastrojo en el primer bloque al sembrar la semilla de maíz, en el segundo bloque coloco rastrojo a los 20 cm de la altura de la planta de maíz y un tercer bloque sin contenido de rastrojo.

En el periodo de 10 hojas total en la planta de maíz se observó que el área foliar y la altura de la planta es la mejor, lo que indica que la utilización de rastrojos en los suelos y cultivos, pueden cumplir con los requisitos de siembra y beneficio para el crecimiento de las plantas, este resultado se obtuvo del cultivo realizado bajo condiciones de temporal. Se mostró que la profundidad de siembra y la uniformidad de distancia en el punto de surgimiento de maíz, eran los adecuados por lo tanto no hubo diferencia mínima significativa.

Segura & Andrade (2010). Mencionan que el ciclo de siembra influye en el crecimiento de la planta de maíz, siendo el agua el principal factor. En este ensayo el ciclo en temporal fue de mayor precipitación que el primer ciclo que fue en riego, obteniendo mayor producción de biomasa y clorofila en condiciones de temporal.

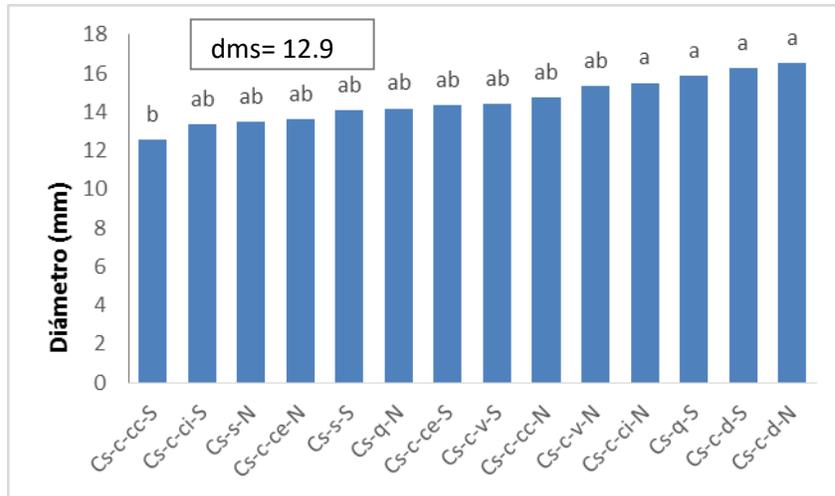


Figura 15. Variable diámetro de la planta de maíz en condiciones de riego. \*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

En los resultados del experimento 1 se observó diferencia significativa para la variable de diámetro de tallo en condiciones de riego las plantas que fueron tratadas con 200 g de rastrojo de maíz y fumigadas con bioinsecticida neem, tuvieron 3.9% más diámetro que las plantas fumigadas con semevin que contenían 100 y 150 g de rastrojo.

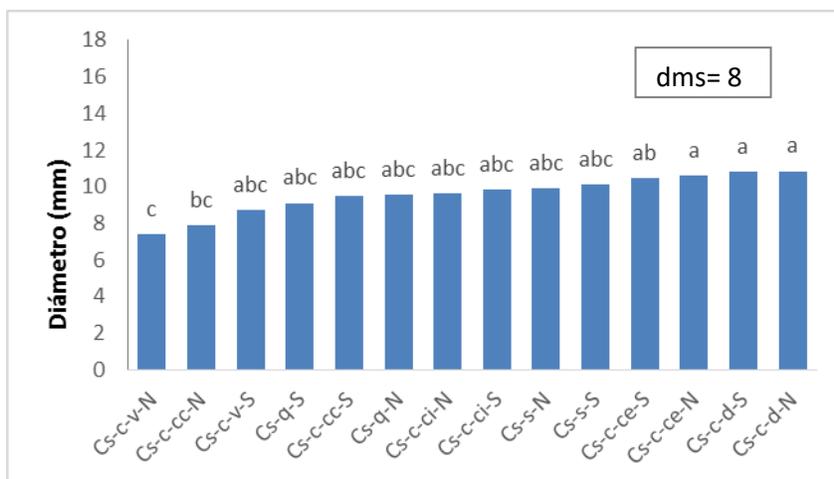


Figura 16. Variable diámetro de la planta de maíz en condiciones de temporal\*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

En los resultados del experimento 2 se observó diferencia significativa. Las plantas que fueron tratadas con 200 g de rastrojo y fumigadas con neem en temporal, tuvieron 3.4% más diámetro que las plantas tratadas con 150 y 25 g de rastrojo de maíz fumigadas con bioinsecticida neem.

En los dos experimentos se observó que el tratamiento que contiene 200 g de rastrojo de maíz fumigado con bioinsecticida neem presenta mayor diámetro de tallo.

Morón, (2002), indica que cuando se da a la planta un suelo suelto este puede extender más sus raíces y por ende formar un tallo más grueso, caso contrario si se le proporciona un suelo compactado se dificulta el desarrollo de la raíces de la planta, en siembra directa las raíces crecen menos que en aquellos suelo removidos por la labranza.

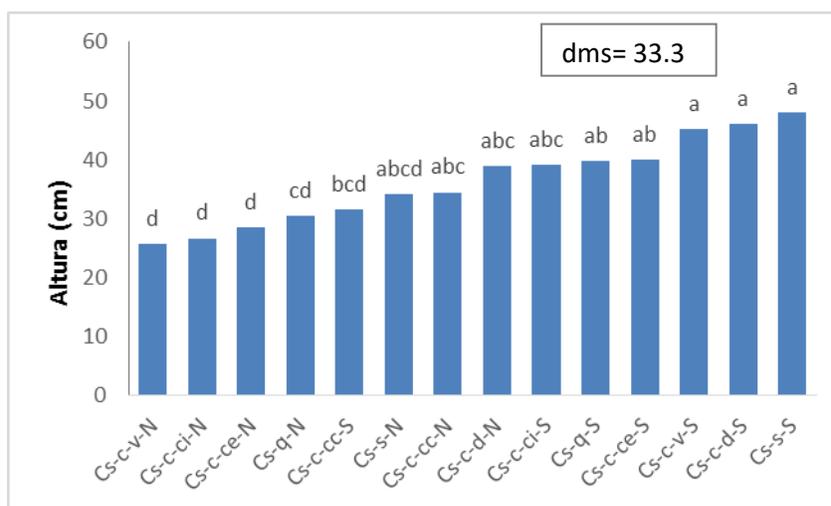


Figura 17. Variable altura de mazorca de la planta de maíz en condiciones de riego\*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

En los resultados de la figura 17 se observó diferencia significativa, las plantas que fueron tratadas sin rastrojo de maíz y fumigadas con insecticida semevin presentaron 22% más de altura de mazorca respecto a los demás tratamientos que contenían 50 y 25 g de rastrojo fumigadas con bioinsecticida neem.

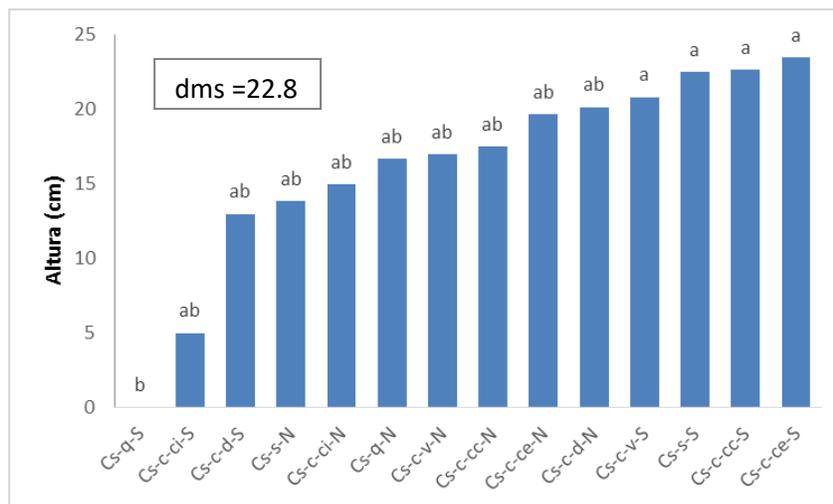


Figura 18. Variable altura de la mazorca de la planta de maíz en condiciones de temporal.\*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

En el experimento 2 los resultados mostraron diferencia significativa, observándose que las plantas tratadas con 100 g de rastrojo de maíz y fumigadas con insecticida semevin en condiciones de temporal, tuvieron 22% más altura de mazorca que las plantas que contenían fertilizantes químicos (UREA plus DAP).

Acosta & Galarraga (2011). Mencionan que las condiciones ambientales, pudieron influir en el desarrollo de las plantas, en el ciclo de temporal se obtuvo mayor volumen de lluvia lo que favoreció la altura de la planta para una mayor producción de mazorca y el insecticida químico fue el que presentó el resultado mayor en los dos ciclos, lo que indica que la adición de N favorece al cultivo.

Como menciona Mei et al, (2011). La labranza de conservación y la utilización de rastrojo en cultivos de maíz, ayudan a mejorar la temperatura y retención de humedad en los cultivos, algunas propiedades físicas del suelo y mejora los rendimientos en la cosecha de maíz.

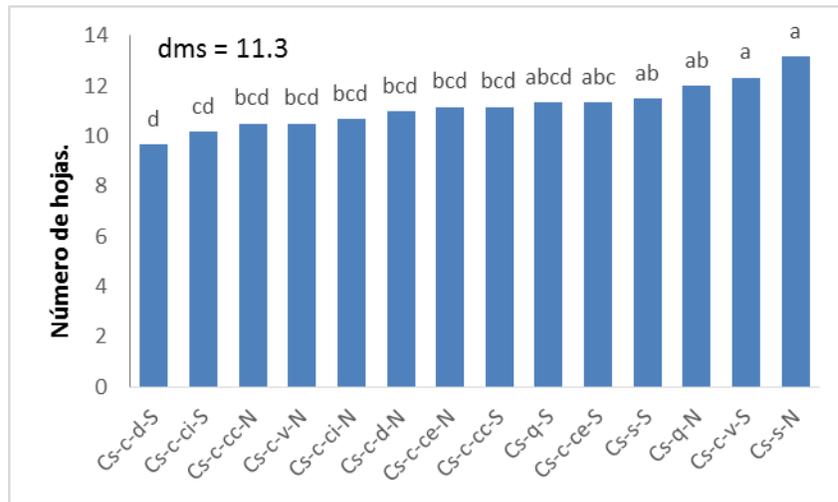


Figura 19. Variable número total de hojas de la planta de maíz en condiciones de riego.\*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

Los resultados de la figura 19 mostraron diferencia significativa entre los tratamientos. Observándose en las plantas que no contenían rastrojo de maíz fumigadas con bioinsecticida neem y las plantas que contenían 25 g de rastrojo fumigadas con insecticida semevin en riego, tuvieron 3.5% más número de hojas que las plantas que contenían mayor cantidad de rastrojo de maíz.

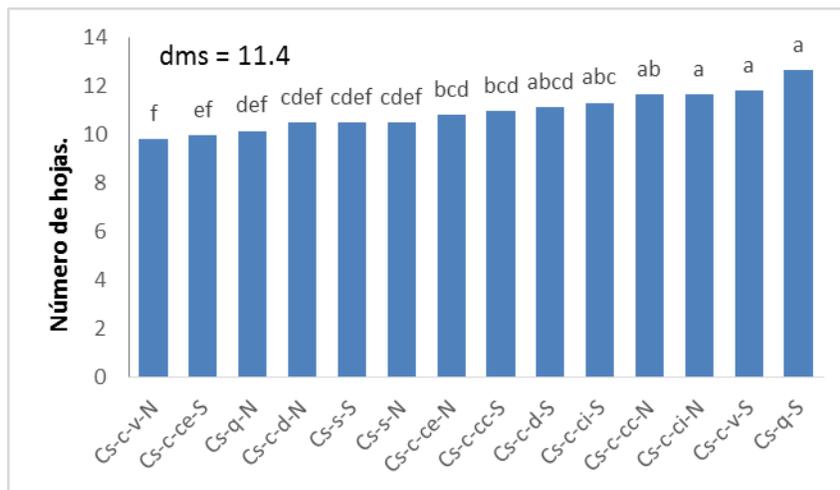


Figura 20. Variable número total de hojas de la planta de maíz en condiciones de temporal.\*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

En la figura 20 se observó diferencia significativa en los resultados obtenidos. Sin embargo, para la variable número de hojas, las plantas tratadas con fertilizantes químicos (UREA plus DAP) fumigadas con insecticida químico semevin en condiciones de temporal tuvieron 2.8% más número de hojas respecto a los tratamientos que contenían 100 y 25 g de rastrojo de maíz, fumigados con semevin y neem.

Como menciona Barrett & Nearing , (2000) El crecimiento vegetativo tiene su importancia en el establecimiento del cultivo y en el sistema foliar, para lo cual se deben optimizar prácticas como la densidad de plantas, el espaciamiento, la fertilización y la disponibilidad hídrica inicial que junto con factores genéticos como, tamaño inicial de la planta, tasa de aparición de hojas y partición al tejido foliar, nos permitirá llegar a la máxima interceptación de radiación en el menor tiempo posible, de manera que se pueda lograr un rápido crecimiento del Índice del Área Foliar (IAF) que junto con la temperatura, la fertilidad y la radiación determinaran la eficiencia de la fotosíntesis.

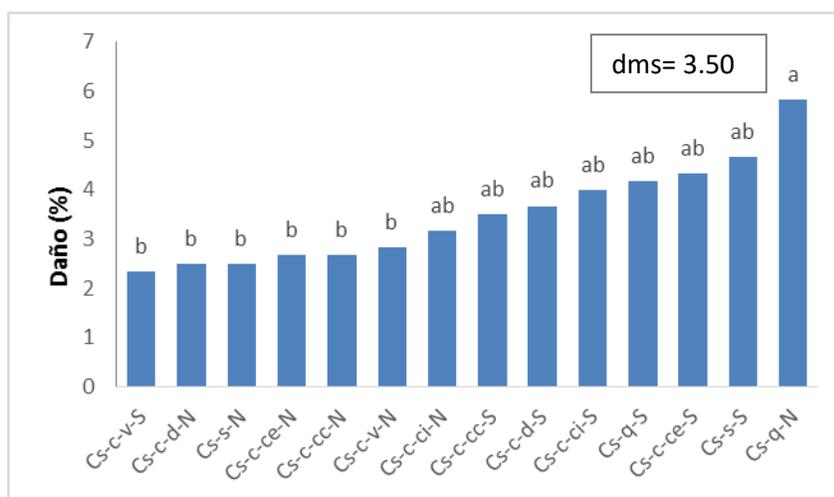


Figura 21. Variable porcentaje total de daño en la planta de maíz en condiciones de riego.\*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

Los resultados del experimento 1 en condiciones de riego mostraron diferencia significativa. Las plantas tratadas con fertilizantes químicos (UREA plus DAP) fumigadas con bioinsecticida neem presentaron mayor daño por insectos, obteniendo 3.5 % más que las plantas tratadas con 25 g de rastrojo fumigadas con semevin.

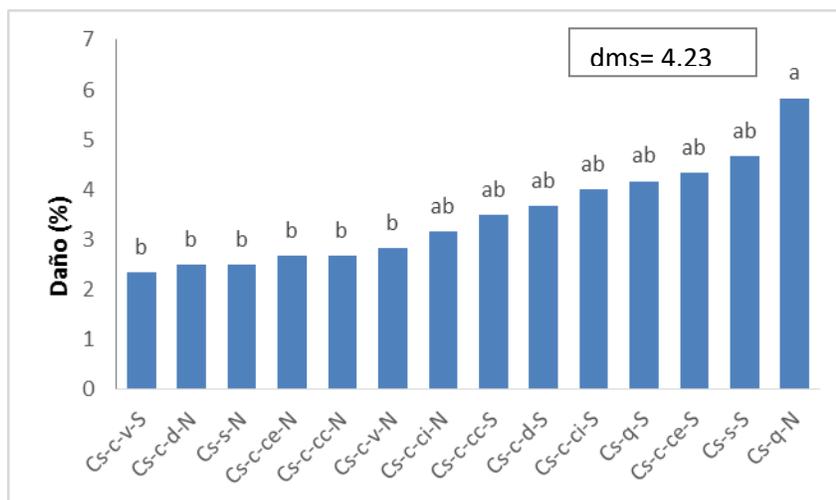


Figura 22. Variable porcentaje total de daño en la planta de maíz en condiciones de temporal.\*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

En los resultados obtenidos del experimento 2 se observó diferencia significativa, las plantas que contenían fertilizantes químicos (UREA plus DAP) fumigadas con neem, tuvieron 4.23 % más daño por insecto comparadas con las plantas que fueron tratadas con 25 g de rastrojo de maíz fumigadas con insecticida químico semevin.

Casarrubias & Tiessen, (2007). Mencionan que evitar ciertos daños en la planta ayuda a que esta se desarrolle adecuadamente, lo cual se ve reflejado en las hojas, tallos, frutos, sobre todo en el porcentaje de clorofila de las hojas de las plantas, lo que significa que la fotosíntesis y la absorción de nutrientes se realizó de acuerdo a la demanda en las diferentes etapas de crecimiento.

Como menciona López & Estrada, (2005). Los productos del neem son efectivos en el combate de importantes plagas agrícolas, sin mostrar intoxicidad en los cultivos.

Resultados obtenidos en el estudio realizado por Mossini et al, (2009). La investigación actual ha demostrado que el aceite de neem podría ser implementado como parte de una estrategia de manejo integrado de plagas sostenible para enfermedades de las plantas, una vez que el aceite de Neem se ha demostrado que es fungitóxico al crecimiento y la esporulación.

Malar, (2009). Menciona que la formulación de aceite de Neem se ha encontrado eficaz en el control de larvas de mosquitos en diferentes lugares de cría en condiciones de campo naturales, las formulaciones pueden resultar ser un larvicida eficaz y respetuoso del medio ambiente, que podría ser utilizado como una alternativa para el control de la malaria.

En los estudios realizados por Osuna, (2005), menciona: En insectos adultos del orden Orthóptera (chapulines) o insectos en general en estado larvario, los bioplaguicidas de neem son efectivos en pequeñas cantidades; otros, como son los picudos, pulgones, trips, mosquita blanca y minadores de la hoja, son resistentes o difíciles de controlar, por lo que se requieren cantidades mayores de bioplaguicida. La cantidad de la materia prima (hoja o semilla) recomendada para elaborar el plaguicida de neem está en función de la seguridad para controlar una diversidad de insectos plagas y de la frecuencia de aplicación, de acuerdo a la infestación que se presente; por lo que puede ser muy variable de superficie de cultivo a proteger.

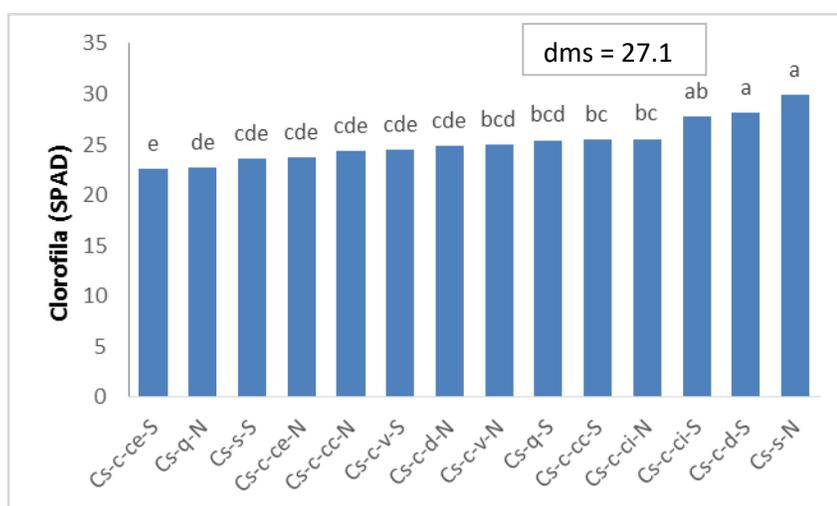


Figura 23. Variable porcentaje total de clorofila en la planta de maíz en condiciones de riego.\*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

Los resultados de la figura 23 mostraron diferencia significativa. Para la variable porcentaje de clorofila las plantas tratadas sin rastrojo de maíz fumigadas con bioinsecticida neem, presentaron mayor producción de clorofila, obteniendo 7.27 % más de clorofila que las plantas que contenían 100 g de rastrojo de maíz fumigadas con insecticida semevin.

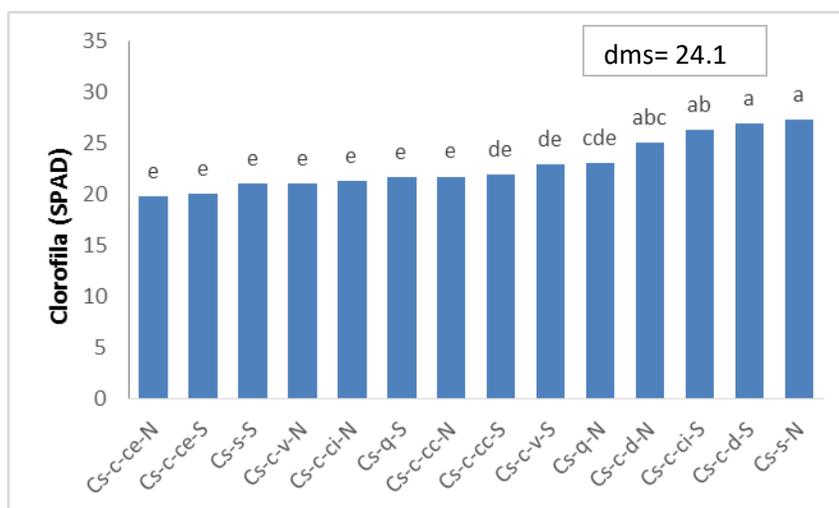


Figura 24. Variable lectura total de clorofila en la planta de maíz en condiciones de temporal. \*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

Los resultados del experimento 2 en condiciones de temporal mostraron diferencia significativa. Las plantas que fueron tratadas sin rastrojo de maíz fumigadas con bioinsecticida orgánico hecho a base de hojas de neem en condiciones de temporal, tuvieron 7.49% más de clorofila comparadas con las plantas que contenían 100 g de rastrojo de maíz fumigadas con bioinsecticida neem.

Attanandana & Yost, (2003). El uso eficiente de nitrógeno requiere de la detección previa de su deficiencia y del potencial de respuesta a la aplicación de los fertilizantes.

Para determinar la concentración de clorofila en toda la lámina foliar del maíz se realizaron mediciones en la base, mitad y parte superior de cada hoja.

Los fertilizantes químicos que se utilizaron para el tratamiento son; Urea la cual se agregó en una concentración de 150 Kg/Ha<sup>-1</sup>, agregándose el 50% a los 15 dde y el otro 50% a los 45 dde (75kg/hect, 1.25 g por planta) y DAP (90kg/hect, 1.5 g por planta) control químico.

Júnior et al, (2004). El maíz necesita alrededor de 20 a 25 kg ha<sup>-1</sup> de N por cada tonelada de grano producida. La eficiencia de conversión de fertilizante nitrogenado a forraje de gramíneas puede alcanzar valores promedios de 26 kg ha<sup>-1</sup> MS por kg de N aplicado. Las mayores eficiencias se han obtenido con dosis de nitrógeno 150 kg ha<sup>-1</sup>. La respuesta en la producción de forraje a la fertilización con N depende de la especie de la semilla, de los niveles de otros nutrientes en el suelo, del manejo del pastoreo y de las características de clima y suelo de la región.

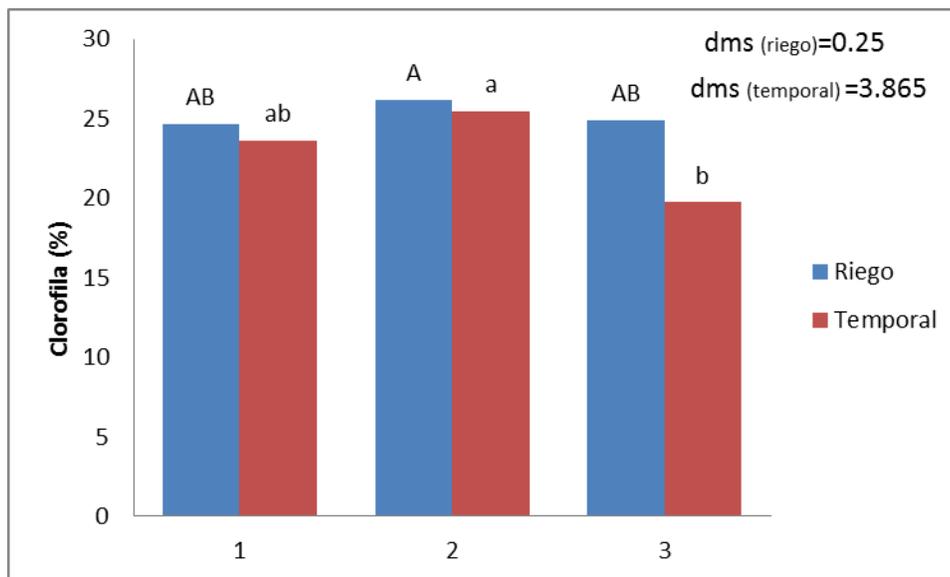


Figura 25. Cinética de clorofila;(1): 45 dde; (2): 60 dde; (3): 75 dde. De acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

Se observó diferencia significativa entre los tratamientos del experimento 2 en condiciones de temporal.

Los resultados del experimento 1 efecto del rastrojo de maíz en condiciones de riego mostraron 6.92% más de clorofila en comparación con el experimento 2 efecto del rastrojo de maíz, en condiciones de temporal. Sin embargo, en ambos experimentos se observó que a los 60 dde, la planta está en etapa de floración, por lo que la clorofila se está produciendo en mayor cantidad de igual forma se está consumiendo rápidamente por la etapa fisiológica en la cual se encuentra la planta, debido que contiene mayor cantidad de fósforo, está desarrollando mazorcas, además de los diversos factores que intervinieron en el desarrollo de la planta de maíz, como son (luz, nutrientes, agua, temperatura) y algunos metabolitos internos de las plantas. El N es necesario para la síntesis de la clorofila y como parte de esta molécula, está involucrado en el proceso de la fotosíntesis.

(Argenta et al, 2001, Zotarelli et al, 2003). En las plantas de maíz, el contenido de N foliar y el contenido de clorofila medido mediante el clorofilómetro SPAD 502 están positivamente correlacionadas, excepto en los estados iniciales de desarrollo del maíz. En situaciones en que la disponibilidad de N es grande, las lecturas del contenido de clorofila con SPAD 502 y el N foliar son poco correlacionadas, porque el potencial del sistema fotosintético ya se encuentra convirtiendo

la energía lumínica en energía química y el excedente de N se encuentra formando parte de otros compuestos de reserva.

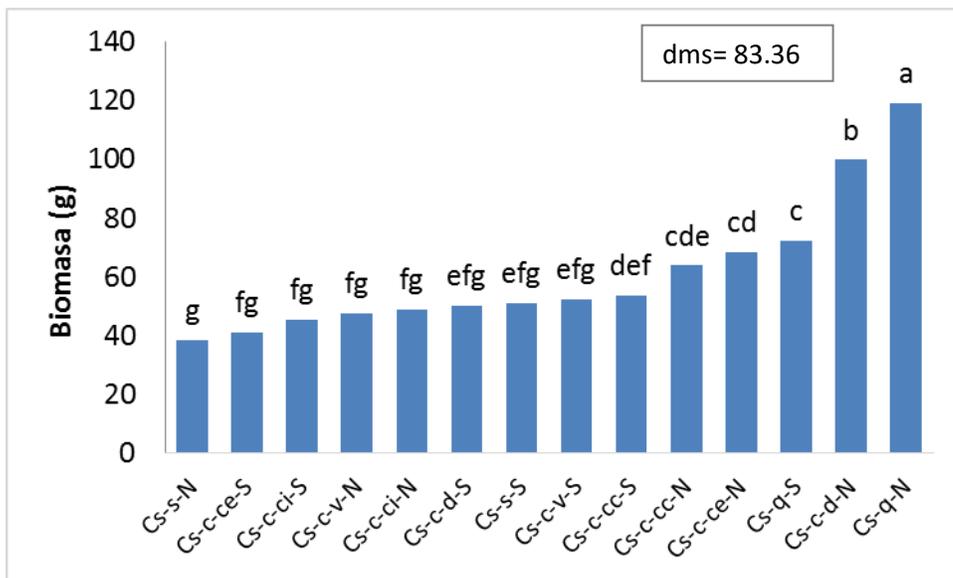


Figura 26. Variable de biomasa total fresca.\*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

Los resultados mostraron diferencia significativa entre los tratamientos. Las plantas fumigadas con bioinsecticida neem con el tratamiento de fertilizantes artificiales (N /kg de rastrojo) mostro un 18% más de biomasa fresca, que el tratamiento fumigado de igual manera, pero conteniendo 200 gramos de rastrojo de maíz (0.01 g de rastrojo/Kg de suelo correspondiente a N/kg). Los tratamientos que mostraron mejor resultado, tenían mayor altura de la planta, mayor diámetro del tallo, mayor número de hojas, por lo tanto presentaron mayor cantidad de biomasa fresca.

Muñoz et al, (2013). Menciona que existe una amplia producción de rastrojo dependiendo de la región, tomando como base la utilización de bioinsecticida que no dañe el cultivo protegiéndolo de agentes patógenos, la utilización de agentes que proporcionen los nutrientes necesarios para la absorción de nutrientes que ayuden al crecimiento y una mayor producción de clorofila de la planta de maíz. Las mayores eficiencias se han obtenido con dosis de nitrógeno de 150 kg por hectárea, la respuesta del forraje a la fertilización de nitrógeno depende de la especie de la semilla, de los niveles de otros nutrientes de suelo, y características del suelo de la región.

La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz de grano (cañas, hojas, chalas y mazorcas), varía entre 20 a 35 toneladas por hectárea y en el maíz de choclo (cañas y hojas) varía entre 16 a 25 toneladas por hectárea. La proporción entre los componentes del residuo depende principalmente de la variedad, nivel de fertilización y tipo de cultivar.

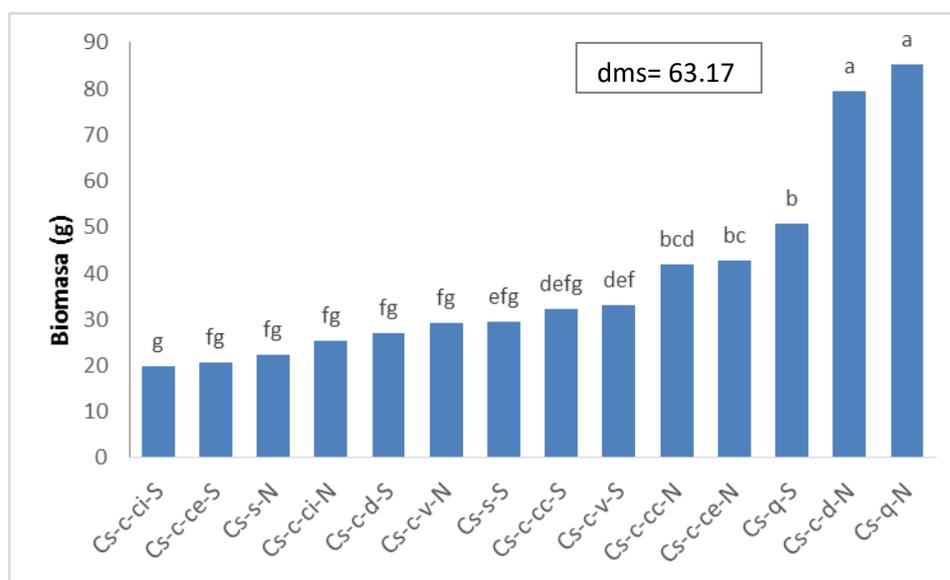


Figura 27. Variable de biomasa total seca.\*Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey al 95% ( $p < 0.05$ ).

Las plantas fumigadas con bioinsecticida neem con el tratamiento de fertilizantes artificiales (N /kg de rastrojo) mostro un 18% más de biomasa, que el tratamiento fumigado de igual manera pero conteniendo 200 gramos de rastrojo de maíz (0.01 g de rastrojo/Kg de suelo correspondiente a N/kg). Presentándose diferencia significativa entre los tratamientos.

Resultados obtenidos en el estudio realizado por Mossini et al, (2009). La investigación actual ha demostrado que el aceite de neem podría ser implementado como parte de una estrategia de manejo integrado de plagas sostenible para enfermedades de las plantas, una vez que el aceite de Neem se ha demostrado que es fungitóxico al crecimiento y la esporulación, permitiendo un mejor crecimiento en el sistema foliar de las plantas de maíz.

Edmeades et al ,2000. Los déficits hídricos pueden reducir el rendimiento por efectos sobre el crecimiento de plantas, área foliar, radiación interceptada, aceleración de la senescencia, esterilidad, y llenado de granos.

## **CAPITULO 6 CONCLUSION.**

Se observó que a mayor concentración de rastrojo obtuvimos mayor crecimiento y desarrollo de las plantas, es probable que el contenido de nutrientes fuera mayor, y a mayor cantidad de rastrojo la humedad se conserva por mayor tiempo permitiendo que la temperatura sea menor.

Proporcionar los nutrientes necesarios a la planta, por medio de agentes naturales, resulta beneficioso, solo para las plantas si no para quien realice cualquier tipo de cultivo.

La hoja de neem puede funcionar como un recurso auxiliar para la fabricación del plaguicida para el control y prevención de plagas.

A los 60 días después de la emergencia las plantas de maíz presentaron mayor producción de clorofila relacionado con el contenido de nitrógeno foliar del maíz. El N es necesario para la síntesis de la clorofila y como parte de esta molécula, está involucrado en el proceso de la fotosíntesis, la clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de N y por lo tanto, refleja el estado nutricional relacionado a este importante nutriente.

Por lo que concluimos que esta etapa está relacionada con la etapa de floración de la planta de maíz, en la cual se están formando otros principios activos que requiere la planta para la formación de flores, frutos y semillas.

Observamos que a mayor concentración de rastrojo hay mayor producción de biomasa, comparado con el tratamiento en el cual se colocó fertilizantes sintéticos, entre ellos no obtuvimos diferencia mínima significativa, lo cual nos indica que podemos utilizar el rastrojo como fertilizante dándonos el mismo resultado que un fertilizante sintético.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Albert B., Johnson H., Lewis R y Roberts W., 2004. Introducción a la biología celular, Ed. Panamericana, 2da.edición, pag. 482-498.
2. Aragón J. R., 2002. Guía de reconocimiento y manejo de plagas tempranas relacionadas a la siembra directa, Ed.Limusa, pag. 57-113
3. Bakrim B. J., Vidal J., and Chollet R., 2001. Phosphoenolpiruvate carboxylase kinase is controlled by a similar signaling cascade in CAM and C4 plants. Bichem Biophys Res Commun, Ed.Panamericana, pag. 1158-1172.
4. Barber R. S., 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo, Ed.Mundi-prensa, pag. 162-185.
5. Berg J. J., Tymoczko J. L., and Stryer L., 2002, Biochemistry, Ed.M. Freeman and Company, 5 Th. Chaps 16 and 17, pag. 512-605.
6. Berg M. J., Stryer L., y Tymoczko J. L., 2007. Bioquímica. Ed. Reverte, 6ta edición, pag. 574-590.
7. Barrett J. R., and M. A. Nearing., 2000. Humanization of Decision Support Using Informations from simulations. Agricultural System Modelling and Simulation. Marcel Dekker Inc., New York, USA, pag. 1-17
8. Bothe H., Ferguson S., and Edward W., 2007. Biology of the Nitrogen Cycle, Ed.Elsivier B.V, first edition, pag. 37-75.

9. Bustamante C. J. M., 2002. Respuesta del maíz a la aplicación de fertilizantes químicos y dos abonos orgánicos, Universidad Autónoma de Nayarit, pag. 82-114.
  
10. Capene D. G., Popa R., Flood B., and Nealson K. H., 2006. Geochemistry. Follow the nitrogen, Science, Ed.Limusa, pag. 708-709.
  
11. Casarrubias G. A., y Tiessen F.A., 2007. Cinética de azúcares durante el proceso de germinación del *Zea Mays*. Laboratorio de Metabolómica y Fisiología Molecular, Depto. De Ingeniería Genética, CINVESTAV-IPN Unidad Irapuato. Journal of Experimental Botany, Vol 85 No 9, pag. 2270-3389
  
12. Else K. B., Oberson A., and Frossard E., 2010. Phosphorus in Action: Biological Processes in Soil Phosphorus Cycling, Ed.Springer, pag. 134-272.
  
13. Eyhorn F., Heeb M., y Weidmann G., 2002. Manual de capacitación en agricultura orgánica. IFOAM, Ed. Grupo editorial ISEF, pag. 34-52.
  
14. Gaitán H. R., Salmones P. M. R., y Mata G, 2002. Manual práctico de cultivo de setas. Aislamiento, siembra y producción. Instituto de Ecología A.C, Xalapa, pag.56.
  
15. García B. F. J., Roselló C. J., y Santamarina S. P., 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas, Ed. Universidad Politécnica de Valencia, pag.120-135.
  
16. Gliessman S. R., 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible, Ed. Turrialba, C.R: CATIE, pag.359.

17. González A., 2004. Maíz, transgénicos y pueblos indígenas de México. Revista Semillas No 22, pag. 78-93.
18. Hunter R, Moore P., Cummings B., Thurston L., Simmons T., y Fineberg R., 2004. Noticias sobre Maíz, transgénicos y consumidores. Boletín electrónico. Greenpeace, 13 octubre.
19. INFOAGRO. Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maíz2.htm>
20. Iriarte A. J., y Parrondo S., 2000. La fotosíntesis C4: revisión del síndrome Kranz, Universidad de la Laguna, Ed. Reverte, pag. 182-318.
21. Knowler B., Bradshaw B., Gordon D., Evers G., Lopez C.I., Mac M. A, Plummer J., Poulisse J., y Bergen T.V., 2003. Los aspectos económicos de la agricultura de conservación. Servicio de manejo de las tierras y de la nutrición de las plantas. Dirección de fomento de tierras y agua .Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, (FAO), Ed. Roma, pag. 69-93.
22. Listman M., Almazán W., Castro M. C., y McNab A., 2004. Enfermedades del maíz: Una guía para su identificación en el campo, Ed.TABA S, 4ta edición, pag. 29-100.
23. Lodish B., Matsudaira K., Krieger S., y Zipursky D., 2005. Biología celular y molecular, Ed.Panamericana, 5ta edición, pag. 334-348.
24. López D. M. T., and Estrada O. J., (2005). The neem bioinsecticides in pest insects control in economics crops. LA HABANA (CUBA). Tomo XXXVII. N° 2, pag. 41-49
25. Malar J., 2009. Larvicidal effects of a neem (*Azadirachta indica*) oil formulation on the malaria vector *Anopheles gambiae*. National Institute of Malaria Research. Published online 2009.

26. Ma-Chun-mei., MA-Xiu F., Tang Yuan Z., Liu H., Yu L., Yang Y., and Gong Z., 2011. (Northeast Agricultural University, Harbing, Heilongjiang. Academy of Agricultural Sciences) Application of Conservation Tillage Technology in Heilongjiang Province. Agricultural Sciences. Published online 2011.
27. Mendivil S. C., Sánchez A., Grijalva M. I., y Esqueda. M., 2001. Composición química de *Pleurotus* cultivado sobre residuos vitivinícolas. Revista Iberoamericana de Tecnología Pos cosecha, pag. 207–214.
28. Montes M. J. A., Luna G. M., Ceballos R. J., Fernández L F., Espinoza P. N., Rincón R. R., Gutierrez M. F. A. and Deendoven L. 2008. Effect of pest- controlling neem and mata-raton on vean growth, soil N and soil CO<sub>2</sub> emissions. INRA, EDP. Sciences, pag. 1-7.
29. Morón A. 2002. Siembra Directa en el Cono Sur. El Rol de los Rastrojos en la Fertilidad del Suelo. Programa cooperativo para el desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR). Uruguay, pag. 387-401.
30. Mosier A., Syers J. K., and Freney R. J., 2004. Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment, Ed. EFOSED, pag. 103-129.
31. Muñoz F.T., Guerrero R. J. D. D., López P. A., Gil M. A, López S. H., Ortiz T. E., Hernández G. A., Taaboada G. O., and Vargas L. S., 2013. Stover and grain production from maíz landraces under rainfed conditions in the highland plateau of Libres-Serdán, Puebla, Mexico, pag. 515-530.
32. Osuna L. A., 2005 Uso del neem para la elaboración artesanal de bioplaguicidas. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA).

33. Peter R H., Ken S., and Raj G., 2007. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. Published online July 24, pag. 543–555.
34. Ribes G. J. A., Roldan B. L., y Rodríguez L. A., 2004. Técnicas de agricultura de conservación, Ed. Eumedia S.A, / Mundi-Prensa, pag. 50-64.
35. Russell E. J., y Wild A., 2000. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed.Mundi-prensa, pag. 31-62.
36. Sánchez A. E., Ortega C. M. E., Mendoza M. G., Montañez V. O and Buntinx D. S. E., 2012 Corn stubble treated with urea and protected methionine in diets for growing sheep, Ed.reverte. pag: 530-556
37. Seoáñez C. M., Bellas V. E., Ladaria S. P., y Seoáñez O. P., 2000. Ingeniería del medio ambiente. Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos, Ed.Mundi-prensa, pag. 65-84.
38. Simone A. G. M., Arrosteia C. C., and Kemmelmeier C., 2009. Effect of Neem Leaf Extract and Neem Oil on *Penicillium* Growth, Sporulation, Morphology and Ochratoxin A Production. Toxins (Basel). 2009 September.
39. SHEN Xue-Shan., Li J.C., and Hui J., 2010. Effects of Different Treatments of Winter Wheat Residues on Planting Quality and Early-stage Growth of Summer Maize (*Zea mays* L.) Agronomy College, Anhui Agricultural University, China.
40. Silverstein A., and Silverstein B. V., 2008. Photosynthesis, Ed.Mundi-prensa, pag. 44-75.

41. Stevenson F. J., and Cole M. A., 2000. Cycles of Soils Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients, Ed.Panamericana, second.edition, pag. 269-330.

42. Voet D., y Voet J. G., 2006. Bioquímica .Ed.Panamericana, 3era edición, pag. 912-945.

43. White G. D., 2004. Plagas y enfermedades del maíz, Ed.Mundi-prensa, pag. 78-91.

## ANEXO 1.

### IMÁGENES DE CULTIVO.



Figura 28. Colocación de bloques completos



Figura 29. Plantas de maíz a los 25 dde



Figura 30. Plantas con fertilizante químico y plantas con rastrojo de maíz.



Figura 31. Plantas de maíz a las 40 dde.



Figura 32. Diferencia de coloración de hojas entre plantas con fertilizante químico y plantas con rastrojo de maíz.



Figura 33. Daño en las hojas de la planta por gusano trozador.



Figura 34. Porcentaje de daño en las plantas con fertilizante químico.



Figura 35. Diferencia de tamaño entre plantas de maíz con rastrojo y fertilizante químico.



Figura 36. Floración de las plantas y producción de mazorcas a los 60 dde.



Figura 37. Tamaño de las plantas de maíz a los 50 dde



Figura 38. Retención de humedad en suelo con rastrojo de maíz.



Figura 39. Cultivo de plantas a los 60 dde.



Figura 40. Medición de parámetros morfométricos.



Figura 41. Determinación de peso de biomasa.

## ANEXO 2

### CÁLCULOS Y ANALISIS DE LAS DETERMINACIONES REALIZADAS.

#### Determinación del CRA.(cantidad de retención de agua)

1. Pesar papel filtro seco.
2. Pesar papel filtro + 10 gr de suelo seco.
3. Agregar 100 ml de agua tapar con papel aluminio el embudo sobre el cual está colocado el papel filtro + 10 gr de suelo, durante 24 hrs.
4. Después de 24 hrs Pesar el papel filtro + suelo humedo
5. Dejar durante 3 días para saber la pérdida total de agua.
6. Calcular CRA y el porcentaje de CRA.

$$\text{CRA} = \frac{(\text{P.papel humedo} + \text{suelo}) - (\text{P.suelo}) - (\text{P.papel filtro seco}) - (\text{gr de agua abs.por el papel filtro})}{\text{P.suelo}}$$

$$\% \text{CRA} = \text{CRA} * 100$$

#### Análisis de textura.

Objetivo: Hallar la textura del suelo a partir de la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión.

Pesar 50 gr de suelo y agregar un poco de agua en el vaso de una batidora, agregar 10 ml del dispersante hexametáfosfato de sodio (conc. 50gr/lt), agitar por 10 min. Colocarlo en una probeta de 1 lt y aforarlo con agua destilada. Agitar 1 min para homogenizar. Tomar la primera lectura después de 40 seg con el densímetro bouyoucos y la temperatura con el termómetro. Dejar reposar 2 hrs y tomar la segunda lectura y temperatura.

$$\% \text{ limos} + \% \text{ arcilla} = (1\text{era lectura} + (T1-20) 0.36) * 100 / \text{Peso del suelo.}$$

$$\% \text{ Arcillas} = (2\text{da lectura} + (T1-20) 0.36) * 100 / \text{Peso del suelo.}$$

$$\% \text{ Arena} = 100 - (\% \text{ limos} + \% \text{ arcillas})$$

**Resultados:**

%limos + % arcilla =	53.96
%arcilla =	34.96
%arena =	11.08

**ANEXO 3.**

**PREPARACION DEL EXTRACTO DE VEGETAL NEEM.**

El bioinsecticida fue preparado con hojas de 10 árboles ubicados en el ITTG, tomando de cada árbol 500 gr. de hojas a partir de los 30 cm. de las puntas de las ramas, se eliminó el polvo haciendo un lavado con agua potable, se pusieron a remojo en agua la cual contenía el 1% de hipoclorito de sodio, para esterilizarlas, luego se hicieron tres lavados con agua esteril para eliminar el excedente de hipoclorito, de estas hojas se tomó la cantidad de hoja necesaria para preparar el Bioinsecticida.

Se preparó al 10% P/V, se dejó reposar durante 72 h, cubierto protegido de la luz, al término de este tiempo, se filtró y con el filtrado se preparó una solución 1:3 y esta solución fue aplicada al cultivo como bioinsecticida

Se necesita aproximadamente 6 litros para rociar correctamente las plantas de maíz por cada bloque, por lo tanto, se duplicó la cantidad de hoja y se prepararon 6 lt del insecticida, es decir:

Se licuaron 200 g de cada hoja y se diluyó en 6 lt d agua.

El bioinsecticida e insecticida fue aplicado en los tiempos (10, 18, 26, 34, 42 y 50 dde), aplicando aproximadamente 5 ml por planta.

### ANEXO 3.

#### CÁLCULO DE CANTIDAD DE FERTILIZANTES POR PLANTA.

Los fertilizantes se aplican 15 DDE y 45 DDE, para saber la cantidad a utilizar se realizaron los siguientes cálculos de Urea y DAP.

El rastreo de maíz se utilizó como fuente de N, C, P, K y otras fuentes minerales para el crecimiento de la planta, los fertilizantes químicos que se utilizaron para el tratamiento número siete son; Urea la cual se agregó en una concentración de 150 Kg/Ha, agregándose el 50% a los 15 dde y el otro 50% a los 45 dde (75kg/hect, 1.25 g por planta) y DAP (90kg/hect, 1.5 g por planta) control químico.

❖ Urea conc. 75kg/hect.....60, 000 plantas

0.00125 kg.....1.25g por planta

UREA contiene 46% Nitrógeno

2.5 g N.....100%

X= 1.15g N.....46%

❖ DAP conc. 90kg/hect.....60, 000 plantas

0.0015 kg.....1.5 g por planta

DAP contiene 17% Nitrógeno

1.5 g N.....100%

X= 0.255 g N.....17%

En los primero 15 DDE se aplica la mitad de cada fertilizante, y 45 DDE se agrega el resto de Urea y DAP.

**ANEXO 4.**

**DESCRIPCIÓN DE LOS FERTILIZANTES QUÍMICOS.**

**Semevin 350**

Importado y distribuido por: Bayer de México. S.A de C.V

**Insecticida**

*Suspensión acuosa*

Producto registrado

**Composición porcentual:**

**Porcentaje en peso**

**Ingrediente activo:**

Thiodicarb: Dimetil N,N (tiobis (metilimino)  
carboniloxi) bis etanimidotioato

No menos de:..... 31.50%

(Equivalente a 350 g de I.A./L)

**Ingredientes inertes:**

Diluyentes y compuestos relacionados.

No más de:..... 68.50%

Total:..... 100.00%

Plataforma de capacitación Cimmyt – Tec

Combate: Gusano cogollero, gusano trozador, gusano de alambre, gusano saltarín.



**Urea.**

Urea: 46-00-00

Hecho en Rusia

Envasado en México.

Distribuido por YARA México S.A de C.V

Análisis garantizado.

N-total 46 %

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 00.0 %

K<sub>2</sub>O 00.0 %

### **Propiedades Físico - Químicas**

Estado físico y apariencia: Sólido (Sólido Granulado)

Color: Blanco.

pH (10% sol n/agua): 8

Inodoro: Levemente amoniacal.

Punto de ebullición: Se descompone.

Umbral de Olor: 17 ppm como amoniacal.

Punto de fusión: 132.7°C ( 270.9°F )

Sabor: Salino.

Temperatura crítica: No aplicable.

Volatilidad: No disponible.

Gravedad específica: 0.72 (agua=1)

Solubilidad: Fácilmente soluble en agua caliente y soluble en agua fría, parcialmente soluble en

Metanol, éter dietílico, Insoluble en N-octanol.

En su mayoría se utiliza como fertilizante de nitrógeno en la agricultura, también se utiliza como materia prima en la producción de plásticos, resinas, recubrimiento, y la medicina.

Lt se utiliza como fertilizante de la superficie, solo o mezclado con otros fertilizantes;

-Es muy eficaz para los cultivos con largas temporadas de cultivo;

-Determinación sobre el terreno es sobre la base de la cultura y las condiciones climáticas y del suelo.

La urea puede ser utilizada en todos los suelos;

-Se aplica tanto a comienzos de la primavera y durante la vegetación.

Mejor aplicar junto con k, p, o abonos orgánicos.



### **DAP.**

Fosfato del diamonio - DAP 18-46-0

Información Básica

Apariencia: Granulado

Velocidad de fertilización. Rápido

Clasificación: Fertilizante compuesto

Tipo: estiércol

### **Descripción del Producto**

Fertilizante DAP 18-46-0

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> disponible el 46% Min

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> soluble en agua el 41% Min.

Nitrógeno total el 18 % Min.

Máximo de la humedad 2.0%

Tamaño de partícula el 90% Min. Entre 1m m a 4 mm.

Color brown oscuro.

Uso.

Utilizado como alto no-cloruro eficaz N, fertilizante compuesto de P en agricultura.

Contiene los elementos del fertilizante del total 74 %, usados como materia prima básica para el fertilizante compuesto de N, de P y de K.

Embalaje.

En los bolsos netos 50 kg, almacenar en un lugar fresco y seco.

