



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

Parámetro CIE (L^* , a^* , b^*) por hojas de caña de azúcar y medidos en longitud de onda que atraen a la mosca pinta *Aeneolamia albofasciata* (Hemíptera: *Cercopidae*)

JORGE LUIS LADRÓN DE GUEVARA FUENTES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, MÉXICO, 23 NOVIEMBRE DE

2015.

La presente tesis, titulada: **Parámetro CIE (L^* , a^* , b^*) por hojas de caña de azúcar y medidos en longitud de onda que atraen a la mosca pinta *Aeneolamia albofasciata* (Hemíptera: *Cercopidae*)**”, realizada por el alumno: **Jorge Luis Ladrón de Guevara Fuentes**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

Consejero:



Dr. Francisco Osorio Acosta

Director de Tesis:



Dr. Francisco Hernández Rosas

Asesor:



Dr. Eliseo García Pérez

Asesor:



Dr. José Andrés Herrera Corredor.

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, México, 23 noviembre de 2015.

Parámetro CIE (L^* , a^* , b^*) por hojas de caña de azúcar y medidos en longitud de onda que atraen a la mosca pinta *Aeneolamia albofasciata* (Hemíptera: *Cercopidae*)

Jorge Luis Ladrón de Guevara Fuentes, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

La caña de azúcar forma la agroindustria más importante, durante los ciclos 2014/2015 la derrama económica fue de \$49, 008, 560,654.20 mil millones de pesos aproximadamente, los cuales aportan el 26% al PIB. La mosca pinta, puede mermar la producción hasta un 30% lo cual es un golpe grave a la economía del productor, por esta razón es necesario crear trampas que sean más eficientes y selectivas de mosca pinta. Por medio de parámetros con base en CIE (L^* , a^* , b^*) se puede medir el color que crea una longitud de onda que atrae a la mosca pinta. El objetivo fue el de identificar la relación de la acumulación de clorofila con la fertilización y la variedad utilizada que por la incidencia de la luz generan el parámetro CIE (L^* , a^* , b^*) que es más atrayente a la mosca pinta. Se realizaron tres estudios, dos realizados en campo el cual también se aplicaron encuestas y el uno en invernadero para tener el control de las variables de estudio y dosis de fertilización. Se determinó que las hojas de caña con parámetros CIE $L^*= 65.4$, $a^*= -21.97$ y $b^*= 26.19$ emiten una longitud de onda menor a 560 nm, que las hace más atrayentes al ataque de la mosca pinta. En cuanto a los productores a muchos les preocupa el crecimiento poblacional de mosca pinta y otros creen que no es una plaga que afecte a sus cultivos.

Palabras Clave: CIE (L^* , a^* , b^*), clorofila, color, caña, trampa.

Parameter CIE color (L^* , a^* , b^*) by sugar cane leaves and measured at wavelength that attract the spittlebug adults, *Aeneolamia albofasciata* (Hemiptera : Cercopidae)

.Jorge Luis Ladrón de Guevara Fuentes, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

Sugarcane is the most important agro-industry, during cycles 2014 / 2015 the economic impact was \$49, 008, 560,654.20 billion pesos, which contribute 26% to GDP. Spittlebug adulta can reduce the production up to 30% which is a serious problem to the economy of the sugarcane producer and mills, for this reason it is necessary to create traps that are more efficient and selective to spittlebug adults. Using parameters based on CIE (L^* , a^* , b^*) color that creates a wavelength that attracts the spittlebug adults can be measured. Aimed to the identify the relationship of the accumulation of chlorophyll with fertilization and used variety generated by the incidence of light by the CIE parameter (L^* , a^* , b^*) which is more attractive to the spittlebug adults. Three studies were carry out, two in field which also applied surveys and one in a greenhouse were to take control of the variables of study and dose of fertilization. We determined than leaves of sugarcane with parameters CIE $L^* = 65.4$, $a^* = - 21.97$ and $b^* = 26.19$ emit a wavelength less than 560 nm, which makes them more attractive to the spittlebug adults attack. As for the producers of spittlebug adults population growth worries many and others believe that it is not a pest affecting their crops.

Keywords: CIE (L^* , a^* , b^*), chlorophyll, color, cane, trap.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Gilberto y Lorena sin su invaluable apoyo con el que siempre he contado pude concluir este gran proyecto, todos mis logros son suyos también ya que todo lo que he logrado no podría haberlo realizado sin ustedes, y por eso esta tesis es gracias a ustedes.

A Fabiola y mi hijito León, les dedico esta tesis a ustedes ya que son mi motivación por el cual quiero superarme día a día y me hacen ser una mejor persona, los amo gracias por estar a mi lado, los amo!!

A mi querida prima Erika, te adelantaste en el camino de la vida y donde quiera que estés sé que nos cuidas con mucho cariño y amor, algún día nos encontraremos de nuevo pero hasta ese momento sigue siendo nuestra guía, dedico esta tesis a tu hermosa familia en tu memoria.

A todos mis tíos y primos ya que de alguna forma ustedes me aportaron en su momento algo de conocimiento y motivación que me ayudo en momentos difíciles durante este periodo en nuestras vidas.

Por ultimo pero no menos importante, a mis amigos Nelson y Alejandro y a mis compañeros de maestría y doctorado del programa de Agroecosistemas Tropicales, con los cuales compartí muchos momentos de alegría y tristeza que genera estudiar un postgrado, todos pasamos momentos de mucho estrés pero también de diversión, gracias a ustedes que me apoyaron en algún proyecto, una tarea o algún examen con lo cual logre concluir el programa y mi tesis.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los Doctores que forman parte de mi consejo particular por su gran apoyo y tiempo dedicado en la realización de esta tesis, y de manera especial al Dr. Francisco Hernández Rosas por su confianza y su constante apoyo antes, durante y fin de este maravilloso proyecto.

Agradezco el apoyo económico en la realización de este trabajo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Al colegio de Postgraduados Campus Veracruz por el apoyo en la utilización de sus instalaciones, así como también al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba mediante la Línea Prioritaria de Investigación 13 (LPI13), por el apoyo económico y de sus instalación en el área de Biotecnología Microbiana Aplicada.

Agradezco de manera particular a la Dra. Katia Angélica Figueroa investigadora del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, por la oportunidad de trabajar y aprender con ella, y posteriormente el apoyo brindado por el cual comencé mis estudios de postgrado.

Agradecimiento al Dr. Catarino Ávila Reséndiz Profesor Investigador del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, por el apoyo y facilidades prestadas en el uso del medidor SPAD.

Al Ingenio el Potrero por las facilidades brindadas en la utilización de sus instalaciones y por el apoyo del personal administrativo, técnico y de campo.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. ASPECTOS AMBIENTALES	3
2.1.1 Químicos en la agricultura.....	3
2.1.2 Contaminación del suelo.....	4
2.2. ASPECTOS SOCIALES	4
2.2.1. Intoxicación por agroquímicos	4
2.3. ASPECTOS ECONÓMICOS.....	6
2.4. ASPECTOS TÉCNICOS.....	6
2.4.1. Resistencia a insecticidas.....	6
2.5. PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE CAÑA DE AZÚCAR	8
2.6. ESTADOS PRODUCTORES DE CAÑA DE AZÚCAR	8
2.7. MUNICIPIO DE ATOYAC, VERACRUZ.....	11
2.7.1. Población.....	12
2.7.2. Dinámica social.....	12
2.7.3. Actividades económicas.....	13
2.8. SITUACIÓN ACTUAL DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	14
2.8.1. Problemática:	14
2.8.2. Oportunidad:	15
2.8.3. Productos generados por la caña de azúcar.....	16
3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	17

3.1.	FOTOSÍNTESIS.....	17
3.2.	CARBOHIDRATOS	18
3.3.	CONCEPTO DE SISTEMA.....	19
3.4.	CONCEPTO DE AGROECOSISTEMAS	19
3.5.	SUSTENTABILIDAD DE UN AGROECOSISTEMA.....	20
3.6.	AGROECOSISTEMA CAÑA DE AZÚCAR.....	21
3.7.	MOSCA PINTA (SALIVAZO).....	24
3.7.1.	Clasificación	24
3.7.2.	Huevo.....	24
3.7.3.	Ninfas.....	25
3.7.4.	Adulto	25
3.7.5.	Daño.....	27
3.7.6.	Plaga.....	27
3.7.7.	Umbral de daño económico	27
3.7.8.	Control químico	28
3.7.9.	Control biológico	28
3.7.10.	Control etológico	29
3.7.11.	Control integrado de plagas	30
3.7.12.	Luz artificial (Luz de día).....	30
3.8.	TEORÍA DE LOS COLORES OPUESTOS O PROCESOS OPUESTOS	30
3.9.	MODELO CIE.....	31
4.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	33
4.1.	HIPÓTESIS	33
4.1.1.	Hipótesis específicas.....	33
4.2.	OBJETIVO	33

4.2.1.	Objetivos específicos	34
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	35
5.1.	ESTUDIO DE PARÁMETROS CIE (L*, A*, B*) Y CLOROFILA EN CAMPO EXPERIMENTAL DEL INGENIO POTRERO	35
5.1.1.	Establecimiento de bloques y repeticiones	35
5.1.2.	Medición del parámetro CIE (L*, a*, b*).....	36
5.1.3.	Análisis estadístico.....	37
5.2.	ESTUDIO DEL COLOR POR EFECTOS DE DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN CONDICIONES CONTROLADAS	37
5.2.1.	Recolección de mosca pinta.....	38
5.2.2.	Envío de muestras de hojas con daño y sin daño para análisis nutrimental	38
5.3.	PERCEPCIÓN DE LOS PRODUCTORES	39
5.3.1.	Muestreo en parcelas de productores.....	40
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
6.1.	RESULTADOS DE MUESTREO PRELIMINAR PARA ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO EN CAMPO	41
6.1.1.	Muestreo de huevo de mosca pinta.....	41
6.1.2.	Evaluación de pantallas verdes	42
6.2.	RESULTADOS DEL MUESTREO EN CAMPO EXPERIMENTAL POTRERO.....	45
6.2.1.	Comparación del parámetro “L” con dos tipos de cámara	47
6.2.2.	Comparación de bloques con el parámetro “L*”	48
6.2.3.	Comparación de los estratos medio y alto con el parámetro “L*”	49
6.2.4.	Análisis del parámetro rojo (+)/verde (-) “a*”	51

6.2.5.	Análisis del parámetro amarillo (+)/azul (-) “b*”	52
6.2.6.	Influencia de las fechas de muestreo con el parámetro “b*”	53
6.3.	EXPERIMENTO EN INVERNADERO	56
6.3.1.	Análisis de varianza de las variables evaluadas.....	56
6.3.2.	Diferencias en el color de las hojas sanas y con daño	58
6.3.3.	Nutrición de las hojas de caña de azúcar	60
6.4.	ESCALAS DE COLOR EN HOJAS SANAS Y CON DAÑO POR MOSCA PINTA.....	63
6.5.	RESPUESTA DE PRODUCTORES A LA ENCUESTA.....	66
6.5.1.	Variedades de caña de azúcar	66
6.5.2.	Aplicación de fertilizante.....	66
6.5.3.	Combate de la mosca pinta por el productor	66
6.5.4.	Comportamiento de la mosca pinta en el cultivo de caña.....	67
6.5.5.	Acciones utilizadas por los productores para el combate de la mosca pinta	68
6.5.6.	Segundo muestreo evaluación parcelas de productores.....	68
6.5.6.1.	Medidor de clorofila SPAD.....	68
6.5.6.2.	Medición de L.....	69
6.5.6.3.	Medición de a*	70
6.5.6.4.	Medición de b.....	71
7.	CONCLUSIONES	72
8.	LITERATURA CITADA	74

9.	ANEXO.....	86
9.1.	Anexo 1: Encuesta a productores.....	86

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza del parámetro de luminosidad (L^*) en comparación con las variables: fecha de muestreo, estrato de la planta, efecto de bloque y tipo de cámara.	46
Cuadro 2. Agrupación de medias por prueba de Tukey $<.05$ a los dos tipos de cámara utilizadas FUJI-FILM® FINEPIX® S1000 (Fuji Pro) y FUJIFILM® XP50® (Fuji Azul) en función a la luminosidad (L^*).....	48
Cuadro 3. Agrupación de medias por prueba de Tukey $<.05$ a la primer hoja erecta en el ápice de la planta (Estrato Alto) y a la cuarta hoja ubicada por debajo de la primera hoja (Estrato medio).....	51
Cuadro 4. Análisis de varianza del gradiente de rojo (+)/verde (-) parámetro (a^*) comparando las variables: fecha de muestreo, estrato de la planta, efecto de bloque y tipo de cámara.....	52
Cuadro 5. Análisis de varianza del gradiente de amarillo (+)/azul (-) parámetro (b^*) comparando las variables: fecha de muestreo, estrato de la planta, efecto de bloque y tipo de cámara.....	53
Cuadro 6. Agrupación de medias por prueba de Tukey $<.05$ por la influencia en los datos por el día de muestreo en el parámetro (b^*).	55
Cuadro 7. Agrupación de medias por prueba de Tukey $<.05$ por el estrato de la hoja en el parámetro (b^*).	55
Cuadro 8. Análisis de Varianza de los resultados del medidor SPAD y variables estudiadas en terrenos de productores.	69
Cuadro 9. Análisis de Varianza con el parámetro de Luminosidad L^* en terrenos de productores del Ingenio Potrero.	70
Cuadro 10. Análisis de Varianza entre las variable y el parámetro a^* en terrenos de productores del Ingenio Potrero.....	71
Cuadro 11. Comparación de variables con el parámetro b^* en terrenos de productores del Ingenio Potrero.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales países productores de Caña de Azúcar	8
Figura 2. Estados de la Republica Mexicano con mayor producción de azúcar zafra 2013-2014	9
Figura 3. Estados con mayor hectáreas de caña de azúcar cosechada en México zafra 2013- 2014	10
Figura 4. Estados que más han procesado caña de azúcar en la zafra 2013-2014.....	10
Figura 5. Producción Nacional de caña de azúcar zafra 2013-2014.....	11
Figura 6. Número de huevos de mosca pinta en cada punto en el bloque 1.	41
Figura 7. Muestreo de huevos de mosca pinta en el bloque 2.	42
Figura 8. Muestreo de huevos de mosca pinta en el bloque 3	42
Figura 9. Muestreo de huevos de mosca pinta en el bloque 1.	43
Figura 10. Muestreo de huevos de mosca pinta en el bloque 2.	43
Figura 11. Distribución de trampas pegajosas verdes en el Bloque 3	44
Figura 12. Porcentaje de adultos de mosca pinta en los tres bloques de muestreo.	45
Figura 13. Agrupación de medias con prueba de Tukey <0.5 comparando el efecto del bloque con el parámetro de luminosidad (L^*).	49
Figura 14. Comparación del parámetro L^* , con las variables fecha.....	56
Figura 15. Comparación del parámetro rojo (+)/verde (-) parámetro (a^*) con las variables fecha, bloque y tratamiento.....	57
Figura 16. Comparación del parámetro amarillo (+)/azul (-) parámetro (b^*) con las variables.....	58

Figura 17. Diferencia en el color de las hojas sanas y con daño en parámetros L*, a*, b*.	59
Figura 18. Media en longitud de onda (nm) en hojas sanas y con daño.	60
Figura 19. Análisis nutrimental de macro y micro nutrientes con presencia de daño de mosca pinta en hojas de caña.	62
Figura 20. Análisis nutrimental de macro y micro nutrientes sin presencia de daño de mosca pinta en hojas de caña.	63
Figura 21. Color obtenido con el programa Color PixLab® y la concentración de clorofila Minolta SPAD®. Color de hojas con presencia de daño o mosca pinta.	64
Figura 22. Color obtenido con el programa Color PixLab® y la concentración de clorofila Minolta SPAD®. Color en hojas sanas sin daño de mosca pinta.	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sistema general de Caña de Azúcar.....	23
Ilustración 2. Ciclo de vida de la mosca pinta (Bustillo y Castro, 2011).	26
Ilustración 3. Fórmula para tamaño de muestra de un universo.	39

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar conforma la agroindustria más importante en México y representa un lugar preponderante en la actividad económica y social del país (Bautista-Gálvez y González-Cortes, 2005). Es un cultivo ampliamente difundido y existen 15 estados del país que la producen, distribuidos en la costa del Pacífico, Área Central, Golfo de México y Área Caribeña en la Península de Yucatán (Armida *et al.*, 2011). Una de las principales plagas que afectan a este cultivo es la mosca pinta *Aeneolamia albofasciata* (Hemíptera: *Cercopidae*), dentro de los esfuerzos existentes para su control, se encuentran la utilización de plaguicidas y en tiempos más recientes el combate biológico mediante el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Flores, 1994; Hernández Rosas y Figueroa, 2011), además de la utilización de métodos de control etológico como las trampas verdes. Estas últimas se componen de pantallas de plástico con un pegamento y han sido utilizadas incluso para el control de diversas plagas en otros cultivos.

Por otra parte, existen estudios previos que han utilizado imágenes digitales para establecer los colores de alimentos (Gökmen, 2006; Gökmen, 2007). Estos estudios utilizan los indicadores de color medidos en el sistema L^* , a^* y b^* , que son medidas internacionales estandarizadas para la medición de color, adoptadas por la Comisión Internacional d'Eclairgae (Comisión Internacional de Iluminación) (CIE) en 1976. La L^* es la luminosidad (negro o blanco), y los parámetros a^* (van de verde a rojo) y b^* (de azul a amarillo), son los dos componentes cromáticos (Papadakis *et al.*, 2000).

Aun con el uso de las trampas verdes como una práctica común para el control de la mosca pinta en caña de azúcar, no existen publicaciones previas que definan en términos de los parámetros de la CIE el color de las hojas de caña de azúcar y la razón de las longitudes de onda (λ), lo que nos lleva a las siguientes preguntas:

¿Qué efecto produce la concentración de luz en las hojas de caña de azúcar? Y este efecto de luz

¿Qué longitud de onda genera que atrae a la mosca pinta?

¿Cuál es la relación entre la fertilización y la variedad de caña que influye en la acumulación de clorofila?

1.1.JUSTIFICACIÓN

Se han realizado trabajos donde se han estudiado diferentes colores de trampas para capturar la mayor cantidad de insectos, en este caso la mosca pinta. Sin embargo, en estos estudios se desconoce en términos de parámetros CIE (L^* , a^* , b^*) el color de las hojas de caña de azúcar que provocan una longitud de onda (λ) que atrae a la mosca pinta. La ventaja de este espacio de color es que es más objetivo, ya que no depende del dispositivo. Una misma combinación de a , b y L sirve para describir siempre el mismo color de forma exacta. Por eso, CIE $L^* a^* b^*$ sirve como referencia en el proceso de conversión de colores en los perfiles de color del Consorcio Internacional del Color “ICC”.

Económicamente hablando debido al elevado costo de los productos químicos y biológicos utilizados por los productores para el combate de la mosca pinta (*Aeneolamia albofasciata*), el aporte de este trabajo permitirá el desarrollo de una alternativa de manejo de la mosca pinta, haciendo del control etológico una práctica para reducir el uso de productos contaminantes al medio ambiente. Esto se logrará elaborando trampas más eficientes para la captura de adultos de mosca pinta y al mismo tiempo sean una alternativa de referencia de muestreo de la plaga.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ASPECTOS AMBIENTALES

2.1.1 Químicos en la agricultura

De los 150 millones de km² del mundo, área total de tierra, el 10% está dedicado a la producción agrícola, 55% son praderas, pastizales y bosques y el resto no es adecuado para uso agrícola. La mayoría de esa producción agrícola depende de métodos agrícolas “convencionales” es decir, incluyen la aplicación de productos agroquímicos sintéticos (Ehrlich, 1968; Brown, 1998).

Durante los últimos 40 a 50 años el combate de los insectos que son plaga en la agricultura y el medio rural, se ha hecho principalmente por medio de insecticidas químicos, lo mismo ha sucedido en contra de otros grupos de organismos perjudiciales (SAGARPA, 2012 a).

En este contexto, las consecuencias ecológicas del uso de insecticidas causan gran preocupación. Aunque otros aspectos de la agricultura moderna por lo general tienen un mayor impacto en el medio ambiente, los insecticidas se encuentran entre las herramientas agrícolas que están más asociadas con el daño ambiental. Su objetivo específico es matar plagas de insectos y por consecuencia puede que tenga un impacto letal o subletal en organismos que no son su objetivo (por ejemplo, recicladores de nutrientes del suelo, polinizadores de plantas y depredadores de plagas) y reducir o contaminar productos alimenticios para los niveles tróficos superiores (Devine *et al.*, 2008). Muchas de las plagas se han hecho resistentes a los insecticidas y acaricidas químicos y además el peligro de estos productos para la salud del hombre es cada vez más evidente, lo que ha ocasionado la prohibición o la restricción del uso de un buen número de ellos. Esta tendencia va en aumento y en los próximos años será mayor el número de insecticidas (y otros plaguicidas) prohibidos para la agricultura (SAGARPA, 2012 a).

Las consecuencias ecológicas del uso de insecticidas causan gran preocupación; aunque otros aspectos de la agricultura moderna por lo general tienen un mayor impacto en el medio ambiente, los insecticidas se encuentran entre las herramientas agrícolas que están más asociadas con el daño ambiental. Su objetivo específico es matar plagas de insectos y por consecuencia puede que tenga un impacto letal o subletal en organismos que no son su objetivo (por ejemplo, recicladores de nutrientes del suelo, polinizadores de plantas y depredadores de plagas) y reducir o contaminar productos alimenticios para los niveles tróficos superiores (Devine *et al.*, 2008).

2.1.2 Contaminación del suelo

La biodescontaminación es un proceso espontáneo dirigido mediante procedimientos biológicos, fundamentalmente microbiológicos, por el que se degradan o transforman los contaminantes hasta formas menos tóxicas o no tóxicas y se mitiga, como consecuencia, la contaminación ambiental. Algunos de los parámetros más importantes a tomar en consideración para la caracterización de un emplazamiento contaminado, incluyen la biodegradación, la distribución del contaminante en las distintas fases, el potencial de lixiviación, la reactividad química de los contaminantes, el tipo y propiedades del suelo, la disponibilidad de oxígeno y la presencia o ausencia de sustancias inhibidoras (Moreno, 2004).

2.2. ASPECTOS SOCIALES

2.2.1. Intoxicación por agroquímicos

Los plaguicidas son una de las familias de productos químicos más ampliamente empleadas por el hombre. Se han usado sobre todo para combatir plagas, por su acción directa sobre las cosechas o como vectores de enfermedades transmisibles al humano, animales y plantas. Los plaguicidas pueden clasificarse en función de su empleo (insecticidas, fungicidas, herbicidas, raticidas...) o de su

familia química (organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, compuestos bipiridílicos, sales inorgánicas...). Todos ellos son biocidas lo que implica, habitualmente una alta toxicidad humana que ha sido motivo de preocupación desde mitad del siglo XX debido al amplio e indiscriminado empleo de estos productos (Ferrer, 2003).

El Instituto Nacional de Salud (2010) menciona que las intoxicaciones agudas por plaguicidas (IAP), son una de las principales causas de muerte por intoxicaciones en el mundo, sin embargo, el sub-registro de este tipo de eventos aún es importante. Cada año, nuevos productos para el control de plagas y malezas salen al mercado y su uso se formula específicamente para cada producto o para múltiples productos según los requerimientos de quien los utilice. En el mundo, la creciente tendencia de consumo de plaguicidas se refleja en las estadísticas presentadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el consumo de estas sustancias y de las intoxicaciones que causan. En cada año del periodo comprendido entre 1998 y 2002 se notificaron en el mundo 252, 256, 315, 344 y 342 casos de intoxicaciones por mil habitantes, respectivamente. Para 2002, Europa, el sudeste asiático y la región del Pacífico oeste presentaron respectivamente 29,5%, 27,8% y 21,9% del total de casos reportados en el mundo. Para todo el periodo, las regiones con menos casos notificados y con comportamiento similar fueron Las Américas y el Mediterráneo este, mostrando una leve tendencia decreciente contraria a las otras regiones. Con respecto a los siete países del Istmo centroamericano (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá), se ha observado un aumento en la casuística por el uso intensivo de plaguicidas, lo que ha representado un progresivo aumento del riesgo para el periodo, pues las tasas pasaron de 6,3 por cien mil habitantes en 1992 a 19,5 en 2000. El aumento en la cantidad de casos notificados en los reportes mundiales puede atribuirse a una mejora significativa en los sistemas de notificación.

Es común la exposición crónica a plaguicidas, cuyos efectos en la salud surgen a largo plazo. Por ejemplo, de las enfermedades dermatológicas, respiratorias y del sistema digestivo, manifestadas por los habitantes de la comunidad conocida como “La Vereda”, no se tiene la certeza del compuesto químico específico causante, ni de su concentración, ni del tiempo de exposición. Según la literatura científica, los pesticidas y los plaguicidas, utilizados a largo plazo, generan efectos tóxicos como: malformaciones, carcinomas, parálisis, daños nerviosos, mutaciones, infertilidad, teratogénesis y convulsiones, entre otros (Rang y Dale, 2004).

2.3. ASPECTOS ECONÓMICOS

El uso de pesticidas químicos en los sistemas agrícolas en los Estados Unidos devuelve aproximadamente \$4 por \$1 invertido en comparación en la utilización de productos biológicos en el control de plagas. Por lo tanto, queda claro por qué los métodos convencionales de manejo de plagas son tan atractivos (Pimentel, 2005). Sin embargo, esos costos no incluyen los costos sociales o ecológicos de la agricultura. Los costos ambientales y sociales asociados con el uso de pesticidas agrícolas en los Estados Unidos alcanzan los \$10 mil millones anuales y sólo \$2 mil millones para la vigilancia del agua y la limpieza de pesticidas (Pimentel, 2005).

2.4. ASPECTOS TÉCNICOS

2.4.1. Resistencia a insecticidas

En ausencia de genes de resistencia, la susceptibilidad a insecticidas tiene una distribución normal. Algunos individuos son altamente sensibles, otros poseen una sensibilidad reducida, mientras que la mayoría tiene un valor medio (Lagunes *et al.*, 2008). En las poblaciones de insectos hay intervalos normales de respuesta a cada insecticida. Esto se conoce como nivel de susceptibilidad base o Línea Base y representa la respuesta natural a estos tóxicos, en ausencia de la expresión del gen de resistencia. Es importante comparar los valores de Línea Base con aquellos observados en la

población, una vez que ésta es seleccionada con determinado insecticida. Para conocer dichos valores se realizan ensayos en laboratorio en condiciones ambientales controladas y estandarización de la condición de los insectos (edad, peso, instar, etc.). Se evalúan concentraciones crecientes de tóxico (estímulo) y, después de un tiempo de exposición, se evalúan variables (respuesta) como mortalidad, número de larvas que llegan al próximo instar, reducción de peso (Lagunes *et al.*, 2008). Un desarrollo reciente en el combate químico de plagas es el Manejo de Resistencia a Insecticidas (MRI). Éste fue alentado por la creciente documentación de casos de artrópodos resistentes a plaguicidas (Georghiou y Lagunes, 1991) y el inicio de una base de datos interactiva del tema (Whalon *et al.*, 2008)

La resistencia a insecticidas ha sido demostrada en varias especies de insectos plaga. La ocurrencia de este fenómeno está ampliamente expandida en las regiones agrícolas del mundo. Representa la respuesta a la prolongada exposición a insecticidas que actúa como una fuerza de selección, que concentra los distintos factores genéticos preexistentes en diferentes organismos y que confieren resistencia (Plapp y Wang, 1983)

La productividad y características morfológicas y fisiológicas de los cultivos (altura, frondosidad, reacción a plagas y factores climáticos, etc.) puede ser modificada por cambios nutricionales (fertilización al suelo o foliar), cambio genético (hibridación y selección o introgresión génica), o cambios en los factores específicos de la regulación del desarrollo (fitorregulación) lo que genera una reducción significativa en el rendimiento del cultivo (Silva *et al.*, 2001). El salivazo o mosca pinta es la plaga más perjudicial en caña de azúcar y pastos. Esta plaga puede llegar a provocar reducciones significativas hasta del 60% en los rendimientos (Bayer, 2010). Pero el ataque de este insecto no solo afecta a la caña de azúcar y pastos por efecto de su picadura, sino que también afecta económica y socialmente.

2.5. PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE CAÑA DE AZÚCAR

Como se muestra en la Figura 1 a nivel mundial, nuestro país figura como el séptimo productor, con un promedio de 5,504 millones de toneladas en los últimos tres años, antecedido por Brasil, que es el primer productor mundial de caña de azúcar, así como de su producto procesado. El país sudamericano ha generado en los últimos tres años alrededor de 33 millones de toneladas de azúcar, seguido por la India y la Unión Europea (ASERCA, 2010)

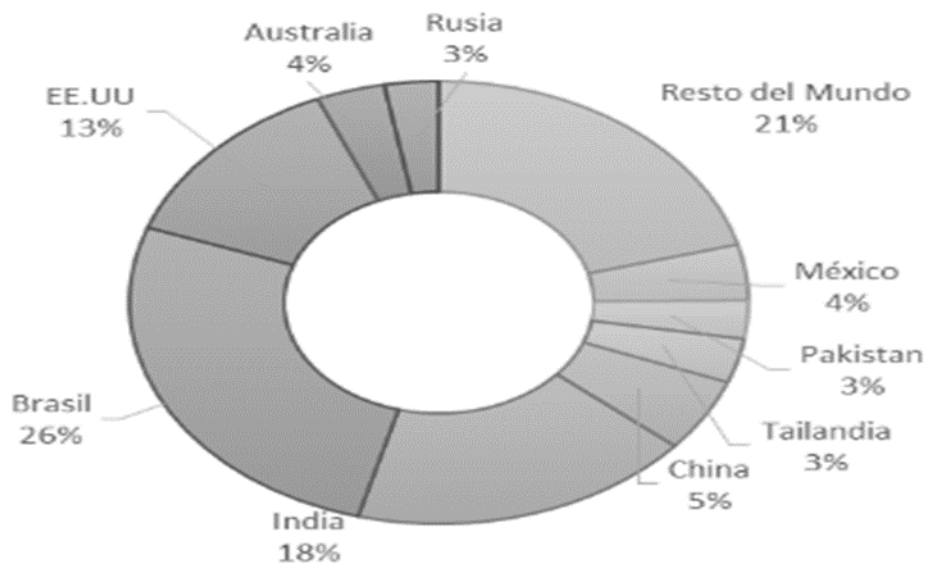


Figura 1. Principales países productores de Caña de Azúcar. (Zafranet, 2014)

2.6. ESTADOS PRODUCTORES DE CAÑA DE AZÚCAR

En la actualidad, en la República Mexicana se encuentran en actividad 57 ingenios azucareros, de los cuales se cosecha una superficie de 315243.49 hectáreas y un volumen industrializado de 37,641,805.35 millones de toneladas de caña molida bruta.

La producción cañera se concentra principalmente, en Veracruz, Jalisco, San Luis Potosí, Chiapas y Oaxaca, quienes producen el 69.52% de caña molida bruta y el 70.07% del total de la producción nacional de azúcar.

En cuanto a la producción azucarera, ésta se concentra en Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí, con una participación entre los tres estados del 59.18% del total de la producción del endulzante en nuestro país, que durante 2013-2014 fue de 1, 573,127.62 millones de toneladas hasta el mes de enero (Zafranet, 2014).

Las Figuras 2, 3, 4 y 5 presentadas a continuación muestran los diferentes aspectos de la producción de caña de azúcar en los estados de la república.

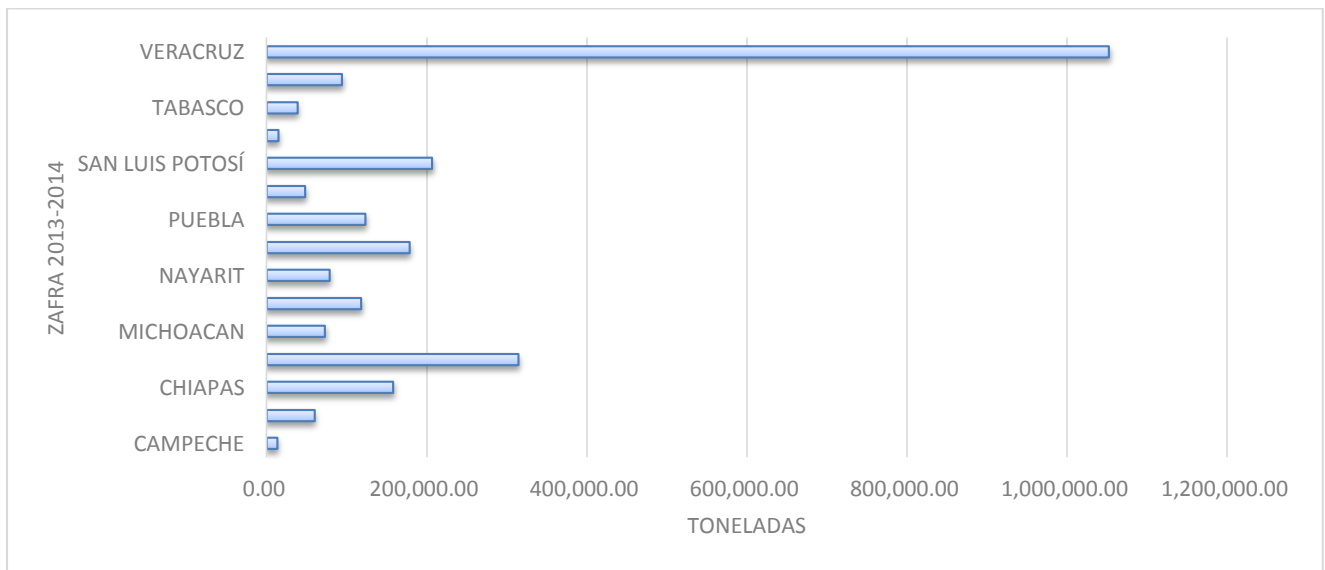


Figura 2. Estados de la Republica Mexicano con mayor producción de azúcar zafra 2013-2014(Zafranet, 2014).

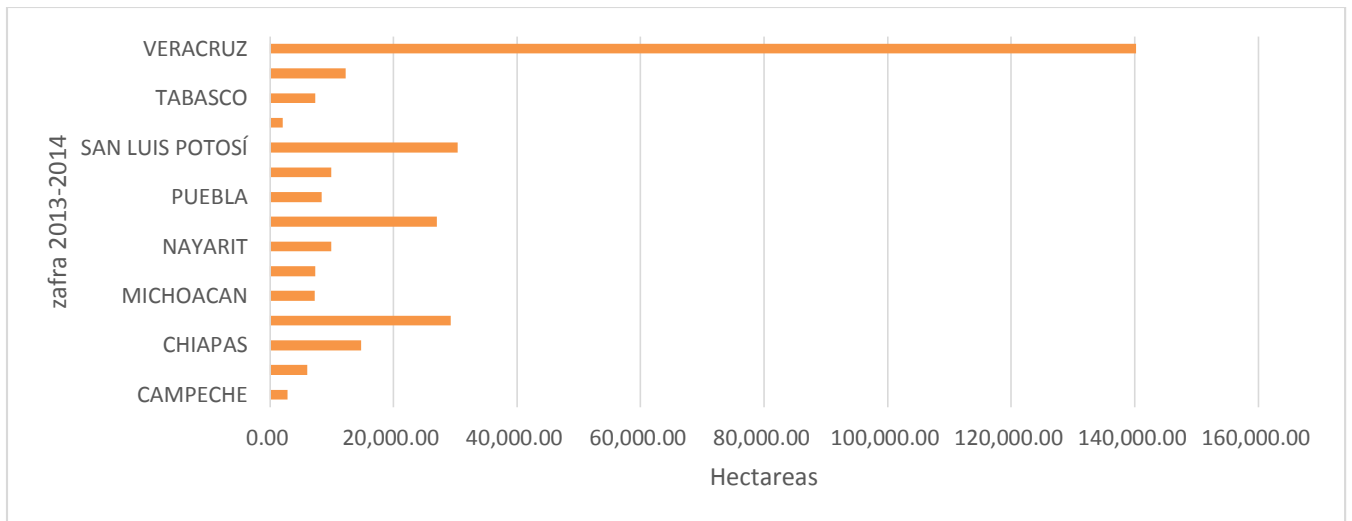


Figura 3. Estados con mayor hectáreas de caña de azúcar cosechada en México zafra 2013-2014 (Zafranet, 2014).

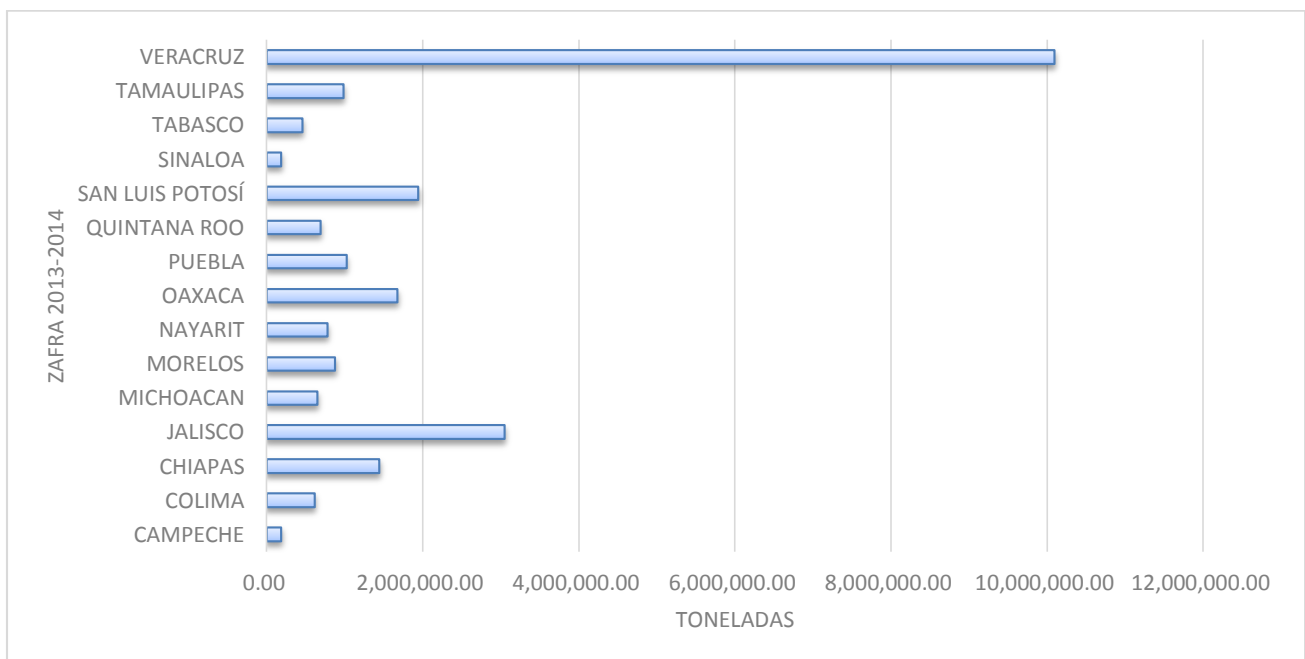


Figura 4. Estados que más han procesado caña de azúcar en la zafra 2013-2014, (Zafranet, 2014).

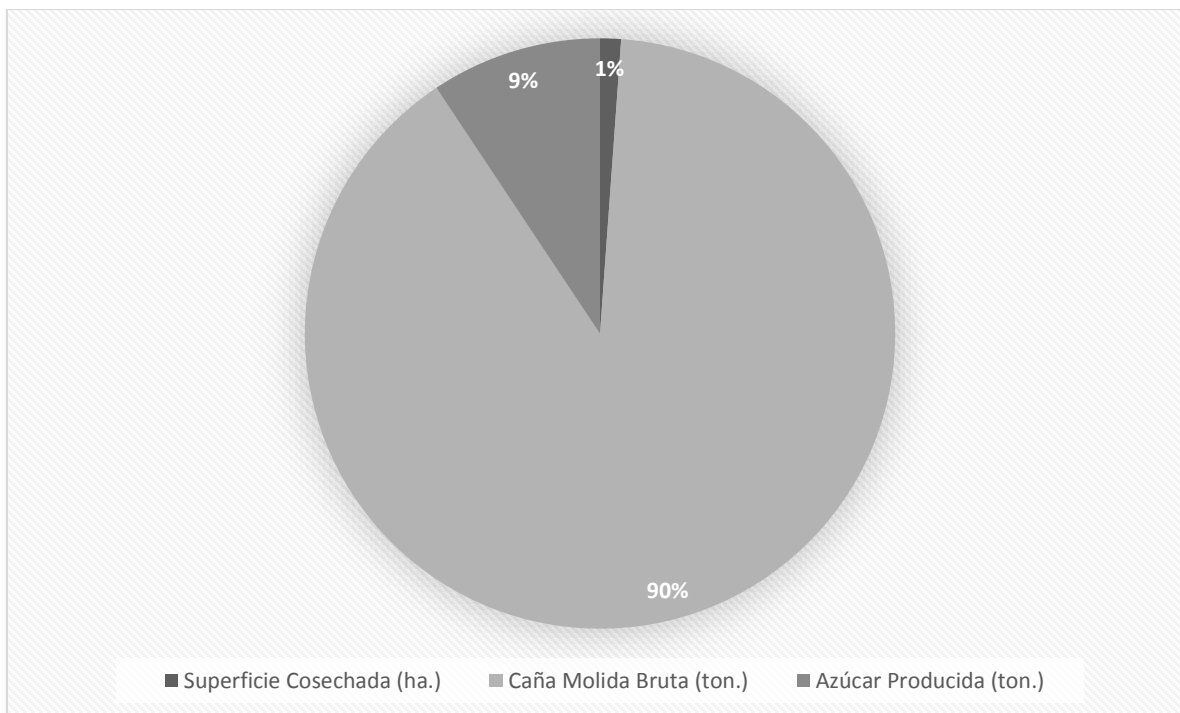


Figura 5. Producción Nacional de caña de azúcar zafra 2013-2014, (Zafranet, 2014).

2.7. MUNICIPIO DE ATOYAC, VERACRUZ

El municipio de Atoyac en Veracruz produce una gran variedad de cultivos que son de gran importancia para la economía local y estatal. Este municipio se localiza en la zona centro montañoso del estado, en las coordenadas 18 ° 55' latitud norte y 96° 46' longitud oeste, a una altura de 480 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Tepatlaxco, al este con Paso del Macho, al sureste con Cuitláhuac, al sur con Yanga y al oeste con Amatlán de los Reyes. Su distancia aproximada por carretera a la capital del estado es de 196 Km (INAFED, 2015).

Su clima es cálido-seco-regular con una temperatura promedio de 26 °C; su precipitación pluvial media anual es de 3200 mm. Su principal ecosistema cuenta con diferentes tipos de flora en el bosque templado caducifolio especies como el liquidámbar, ocozote, encino, fresno, álamo y sauce. En cuanto su fauna está compuesta por poblaciones de conejos, ardillas, liebres, tejones;

reptiles como víboras de cascabel, coralillo y masacuata. También se encuentran especies acuáticas como langostinos, camarones, mojarra, juiles y truchas (INAFED, 2015).

En cuanto a sus recursos naturales la riqueza de este municipio está representada por minerales como el aluvión, piedras calizas y bancos de materiales (INAFED, 2015).

2.7.1. Población

Para el año 2010, fecha en que se realizó el último Censo de Población y Vivienda por el INEGI (Hoy Instituto Nacional de Estadística y Geografía), el municipio de Atoyac contaba con 22,986 habitantes de los cuales 11,078 eran hombres y 11,908 mujeres. De acuerdo a las cifras oficiales la tasa de crecimiento media resultó ser de 1.42 % en el periodo 2005-2010, contrastando con el periodo inmediato anterior 2000-2005 en el que la tasa de crecimiento media fue -0.87. La presencia de población indígena es escasa registrándose en 2010 sólo 247 habitantes en total, mismos que se integran por 146 menores de cinco años y 101 adultos, con el náhuatl como lengua materna (INEGI, 2010).

2.7.2. Dinámica social

El municipio tiene un total de 75 localidades registradas en el último censo general, de las cuales 2 agrupan el 74.14 % de la población total; 14,287 personas habitan en la localidad de Gral. Miguel Alemán (Potrero Nuevo) y 2,755 en Atoyac y tan sólo 5,944 personas habitan en la zona rural, por lo que la población se distribuye de manera desigual en el municipio. Atoyac es un municipio integrado en su mayoría por gente joven, toda vez que la población con edades que oscilan entre 0 y 34 años de edad es la que más destaca en el Censo de Población y Vivienda, siendo la edad mediana 28 años para mujeres y hombres (Orfis, 2014).

2.7.3. Actividades económicas

La superficie total de Atoyac es de 122.7 kilómetros cuadrados, la mayor parte es accidentada, al encontrarse la zona de las Grandes Montañas con un 82% de terreno no apto para agricultura o ganadería. En ganadería la producción porcina, bovina y avícola, son las principales actividades, aunque la superficie destinada al pastoreo no permite que los niveles de producción cubran las demandas del consumo local. La matanza que se realiza en el municipio se hace con métodos e instalaciones obsoletos, el rastro no representa una opción para los productores, por lo que el sacrificio se hace mayormente en otros municipios. En agricultura la superficie sembrada en el municipio es de 6,333 hectáreas, que se ocupan en la producción de café cereza, caña de azúcar y maíz. Para el primer producto se destinan 3,138 hectáreas, para el segundo 2,571 hectáreas y para el tercero 345 hectáreas, este último producto se usa más para el autoconsumo que para el comercio; su producción forestal maderable es incipiente. Se describirán algunos aspectos específicos de los tres principales cultivos, Café: Debido al clima predominante, el cultivo de café ocupa la actividad agrícola más importante. Sin embargo, los bajos precios en el mercado nacional e internacional, hacen improductivo el cultivo de aromático, lo que genera que cada vez más se abandonen las plantaciones proliferando así plagas, maleza y envejeciendo las plantas o pies de café, agregando la dificultad para comercializar los productos por la falta de vías de comunicación. Aunado a ello, la baja rentabilidad del cultivo hace que la población se traslade a la fuente de empleo permanente en la zona, como el ingenio El Potrero en Miguel Alemán o bien, migren a otros sitios en busca de fuentes de empleo, presentándose el fenómeno de aglomeración en esa localidad, siendo inclusive más grande que la propia cabecera municipal. Caña de azúcar: La superficie destinada para el endulzante, no abastece al Ingenio ubicado en este municipio, por lo que de munic-

pios circunvecinos, con mayor superficie apta para su cultivo, se trae la mayor parte de la producción. Sin embargo esta actividad es la que mayor empleo genera en la zona y de la que obtiene recursos la población. Maíz: Este cultivo, en conjunto con algunos otros de menor producción, dedica sus esfuerzos al consumo local y representa un ingreso menor para los habitantes (Orfis, 2014).

2.8. SITUACIÓN ACTUAL DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar forma la agroindustria más importante en México y representa un lugar preponderante en la actividad económica y social del país (Bautista y González 2005). La relevancia de la industria azucarera en México se hace manifiesta primeramente en su aportación al Producto Interno Bruto (PIB de \$19.65 billones de pesos, en ciclo 2013/14), según datos obtenidos por la CONADESUCA (2015) la producción de azúcar estándar y refinada obtenida de la molienda tuvo un valor comercial de \$49, 008, 560,654.20 mil millones de pesos aproximadamente durante los ciclos 2014/2015. Los cuales aportan el 26% del PIB (INEGI, 2015), lo anterior ubica a la caña de azúcar como el segundo producto agrícola más valioso en el país, tan solo detrás del maíz. De igual manera como se mencionó anteriormente el cultivo de caña es de gran importancia para productores del municipio de Atoyac. Sin embargo este cultivo también tiene algunas restricciones o problemáticas que deben ser atendidas y que se mencionan a continuación.

2.8.1. Problemática:

- Deficiencias en infraestructura, maquinaria y equipo (en la producción y cosecha)..
- Deficiente organización de la cosecha.
- Crédito insuficiente.

- Variedades de caña en estado degenerativo, con alto desbalance en campo: plantillas, socas y resocas.
- Insuficiente fertilización.
- Bajo nivel de investigación científica y tecnológica en campo.
- Bajo nivel de capacitación.
- El 60% se cultiva en zonas de temporal y las zonas de riego son en su mayoría de gravedad.

2.8.2. Oportunidad:

- Constituye la agroindustria más antigua del país, con una ubicación geográfica estratégica.
- Tiene un marco legal que le brinda seguridad y certeza jurídica (Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar).
- Apertura total de las fronteras a partir del 2008, lo cual implica amplios mercados en el exterior.
- Se tiene una creciente diversificación del uso del azúcar.
- Existe un potencial de incremento de la productividad en campo.
- Alto grado de integración organizativa del gremio cañero.

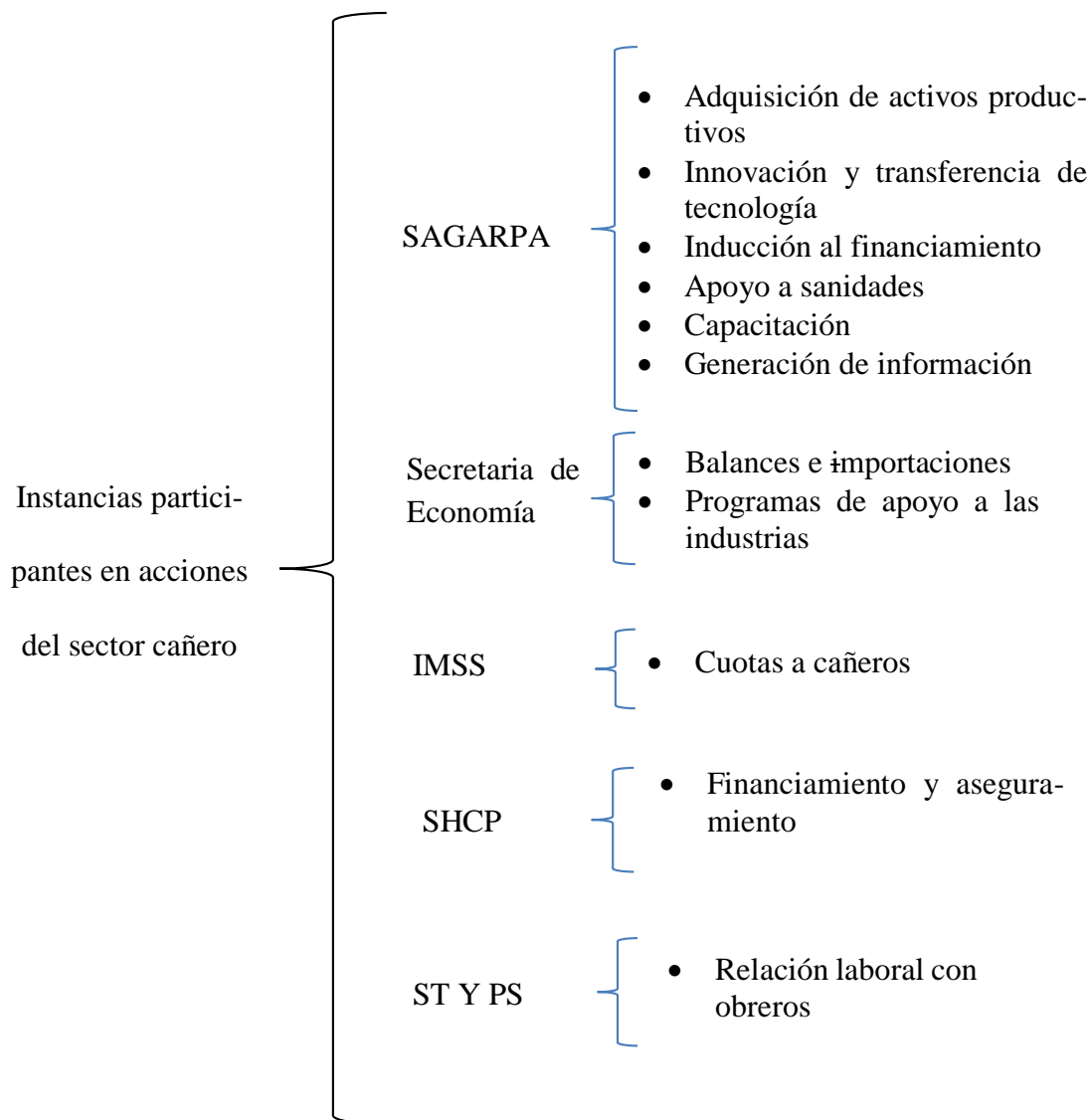


Ilustración 1. Instancias federales ligadas al cultivo de caña.

2.8.3. Productos generados por la caña de azúcar

La caña de azúcar se cultiva principalmente para la producción de azúcar, pero no es su único uso. También se convierte en materia prima para la fabricación de papel, cemento, abonos y alimento animal. Los jugos que se obtienen en el proceso de producción pueden emplearse en la producción de alcohol, lo que permite disponer de un combustible líquido de forma renovable. Una pequeña

parte se utiliza para hacer piloncillo, materia prima en la repostería, la pastelería y endulzante de diversos alimentos. Otra cantidad de caña aún más pequeña se destina a la venta como fruta de estación; aunque se encuentra todo el año, se consume más en la temporada navideña, para meterla en las piñatas y hacer el tradicional ponche (SAGARPA, 2012 b).

3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

3.1. FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es el único mecanismo de entrada de energía para la biosfera (con excepción de los procesos que realizan algunas bacterias quimio-sintéticas que obtienen energía de la oxidación de sustratos inorgánicos). La fotosíntesis incluye reacciones de óxido-reducción. Básicamente en el proceso de oxidación la molécula de agua libera electrones con producción de oxígeno y la reducción del dióxido de carbono para formar carbohidratos (Salisbury y Ross, 1994).

La fotosíntesis es importante para el hombre, entre otros aspectos, porque mediante ella se producen alimentos y oxígeno (Barceló *et al.*, 1983). Pero además, de forma directa o indirecta ella alimenta casi la totalidad del mundo vivo en el planeta (Campbell y Reece, 2005).

Elementos en la coloración de las hojas: Tres grupos de pigmentos son responsables de la coloración de plantas (Tanaka *et al.*, 2008) los flavonoides que son grupos compuestos (amarillo pálido a amarillo) / antocianinas (color naranja a azul), las betalaninas (amarillo a rojo, se encuentra sólo en el orden Caryophyllales), y los carotenoides (amarillo a rojo). Los flavonoides y antocianinas son los principales contribuyentes al color de la flor (Tanaka *et al.*, 2010), además de la producción de color para atraer a los polinizadores. Todos estos pigmentos que están en función de la protección de plantas contra el daño causado por la radiación UV y la luz (Tanaka *et al.*, 2008). Los

flavonoides y antocianinas son elementos de las plantas conocidos que funcionan en respuesta al estrés ya sea por sequía, frío y en la resistencia al ataque de microbios y herbívoros (Chalker-Scott, 1999; Harborne y Williams, 2000).

Los carotenoides también juegan un papel esencial en la fotosíntesis. Estos pigmentos pueden afectar la supervivencia de las plantas de varias maneras, y por la presión de selección pueden actuar indirectamente en los rasgos de color de la flor. La presión de selección ejercida por una gama de factores abióticos tales como la precipitación, el suelo o la temperatura (Dick *et al.*, 2011; Schemske y Bierzychudek, 2001) y los agentes bióticos tales como los herbívoros y patógenos (Frey, 2004), podrían estar involucrados en el mantenimiento de polimorfismo.

El color de la flor y el olor a menudo funcionan de forma sinérgica para atraer polinizadores (Burger *et al.*, 2010; Chittka y Raine, 2006; Dötterl *et al.*, 2011; Milet *et al.*, 2012; Raguso y Willis, 2002, 2005). Además, las relaciones entre el color y el aroma son en parte inherente, ya que los dos tipos de rasgos dependen de rutas sintéticas (Armbruster, 2002; Majetic *et al.*, 2007), lo que implica que cualquier mutación en un gen que codifica para una enzima o un elemento regulador de estas vías, podría tener un impacto en el color y la fragancia emitida.

3.2. CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos son sustancias naturales compuestas de carbono, hidrógeno y oxígeno, antiguamente se les conocía como “hidratos de carbono”. En la actualidad los carbohidratos se definen como aldehídos o cetonas polihidroxilados, o bien, derivados de ellos (Departamento de Química UNAM 2006). Los carbohidratos de las plantas se dividen en dos grupos: estructurales (CE), que son los que forman parte de la pared celular y carbohidratos no estructurales (CNE), los cuales son importantes como reserva de energía y están compuestos por azúcares, almidones y pectinas

(Nocek y Russel, 1988). La glucosa es el carbohidrato más abundante en la naturaleza. También se le conoce como azúcar sanguínea, azúcar de uva o dextrosa. Las plantas obtienen glucosa por un proceso llamado fotosíntesis (Departamento de Química UNAM 2006).

Atracción: Fuerza que tiende a acercar dos cuerpos e interactúen entre sí.

3.3. CONCEPTO DE SISTEMA

Un sistema es un “arreglo de componentes físicos, un conjunto o colección de cosas, unidas o relacionadas de tal manera que forman y actúan como una unidad, una entidad o un todo” (Becht, 1974).

3.4. CONCEPTO DE AGROECOSISTEMAS

El agroecosistema es un tipo de ecosistema, es decir, un grupo de componentes bióticos y abióticos relacionados en un tiempo y espacio determinados, bajo control humano, con el fin de producir alimentos, fibras y combustible (Elliot y Cole, 1989).

De acuerdo con Soriano en 1998, un agroecosistema puede ser entendido como un ecosistema que es sometido por el hombre a frecuentes modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos.

El agroecosistema se conceptualiza como un ecosistema modificado por el hombre que interactúa con factores socioeconómicos y tecnológicos para la utilización de los recursos naturales con fines de producción, para la obtención de alimento y servicios en beneficio del hombre (Ruiz 1995).

Odum (1983) describe 4 características principales de los agroecosistemas:

1. Los agroecosistemas requieren fuentes auxiliares de energía, que pueden ser humana, animal y combustible para aumentar la productividad de organismos específicos.
2. La diversidad puede ser muy reducida en comparación con la de otros ecosistemas.
3. Los animales y plantas que dominan son seleccionados artificialmente y no por selección natural.
4. Los controles del sistema son, en su mayoría, externos y no internos ya que se ejercen por medio de retroalimentación del subsistema.

3.5. SUSTENTABILIDAD DE UN AGROECOSISTEMA

La sustentabilidad es un concepto complejo, controversial, multidimensional y en evolución, a partir de este se evidencia la necesidad imprescindible de un proceso de transformación estructural, que permita integrar medioambiente con desarrollo, y a la vez economía con ecología. La necesidad de este proceso de transformación se deriva del mal uso de los recursos por el hombre, generado por el cambio social global debido al aumento de la población, el crecimiento económico, el avance tecnológico y la pobreza (Jiménez, 2001 Bell, 1998).

Según Kates *et al.* (2001), Devuyst *et al.* (2001) y Ness *et al.* (2007) el objetivo de la evaluación de sustentabilidad es proporcionar a los encargados de adoptar decisiones, una valoración de ámbito local a global que integre los sistemas de naturaleza y sociedad a corto y largo plazo, a fin de ayudar a determinar qué acciones deben o no deben ser emprendidas para favorecer una sostenible relación entre sistemas.

Cualquier metodología y sus indicadores correspondientes precisan de modo indispensable una clara definición de los objetivos de la política en lo referente a la sustentabilidad (Singh *et al.*, 2009). En algunos casos, como cuando un recurso ofrece múltiples servicios (Popp *et al.*, 2001),

la medición de la sustentabilidad se hace aún más confusa, por lo que, para ello debe ser desarrollado un plan de gestión, que considere un índice de la calidad de los recursos para cada servicio.

Para realizar una evaluación de la sustentabilidad es necesario contar con información adecuada que se adapte a los objetivos cuantitativos de sustentabilidad y que debe, según Brink (1991):

- a) proporcionar una indicación clara sobre el cumplimiento de los objetivos de la sustentabilidad.
- b) referirse al sistema en su conjunto.
- c) tener un carácter cuantitativo.
- d) ser comprensible para los no científicos.

De manera complementaria, Belloff y Beaver (2000), señalan que las medidas de sustentabilidad deberían satisfacer los siguientes criterios:

- a) ser simples y comprensibles para una variedad de audiencias.
- b) ser reproducibles y consistentes al comparar diferentes períodos de tiempo, unidades de negocio, o alternativas de decisión.
- c) robustas y no contradictorias (es decir, una mejor medida debe indicar un rendimiento más sostenible).
- d) complementar los programas de regulación existentes.
- e) ser costo-efectivas en términos de recogida de datos, haciendo uso en gran parte de los datos obtenidos o disponibles para otros fines.
- f) ser útiles para adoptar decisiones.
- g) ser apilables a lo largo de la cadena de suministro o del ciclo de vida del producto.

3.6. AGROECOSISTEMA CAÑA DE AZÚCAR

Los cuatro procesos ecológicos fundamentales de los ecosistemas son el ciclo del agua, los ciclos biogeoquímicos (o de nutrientes), el flujo de energía y la dinámica de las comunidades, es decir

cómo cambia la composición y estructura de un ecosistema por la interacción de estos procesos (sucesión) (Challegger, 1998). Las diferentes combinaciones de estos procesos dan lugar a una gran diversidad de ecosistemas que dan vida a un gran número de especies (flora y fauna).

El ser humano ante la necesidad de alimentarse, transforma estos ecosistemas en agroecosistemas, con el fin de producir alimento o se destina a la extracción de materias primas, que son vitales para el crecimiento social, económico y tecnológico. De todas las acciones humanas que modifican el ambiente, el establecimiento de agroecosistemas es el que afecta a la mayor superficie terrestre (Solbrig, 1999). En efecto, según estimaciones recientes de (Solbrig, 1999), más de la mitad de la superficie de la corteza ha sido destinada a la práctica de la agricultura (12%), la ganadería (25%) o la plantación de bosques artificiales (15%).

Este trabajo se ubica en un agroecosistema ya establecido de caña de azúcar dentro del proceso de crecimiento de este cultivo. La caña de azúcar es un pasto gigante, pariente del sorgo y el maíz. Tiene un tallo macizo de dos a cinco metros de altura y cinco o seis centímetros de diámetro. Sus raíces están compuestas por un robusto rizoma subterráneo. El tallo acumula un jugo rico en sacarosa, que se extrae y se cristaliza en la industria para formar el azúcar. La caña sintetiza la sacarosa gracias a la energía que toma del sol en la fotosíntesis, mediante hojas que llegan a alcanzar cuatro metros de longitud. En la parte superior de la caña se encuentra la panocha, que mide unos treinta centímetros de largo (SAGARPA, 2012 b).

Como planta tropical, se desarrolla mejor en lugares calientes y soleados. Cuando la temperatura es alta alcanza un gran crecimiento vegetativo. Es indispensable que cuente con una adecuada cantidad de agua que permita la absorción, transporte y asimilación de los nutrientes. Se cultiva

con éxito en la mayoría de suelos, especialmente los de textura franco limosa y franco arenosa, con materia orgánica y buen drenaje (SAGARPA, 2012 b). En la ilustración 2 se describen los diferentes procesos que generan el cambio de un ecosistema a un agroecosistema, en este caso a un agroecosistema de caña de azúcar.

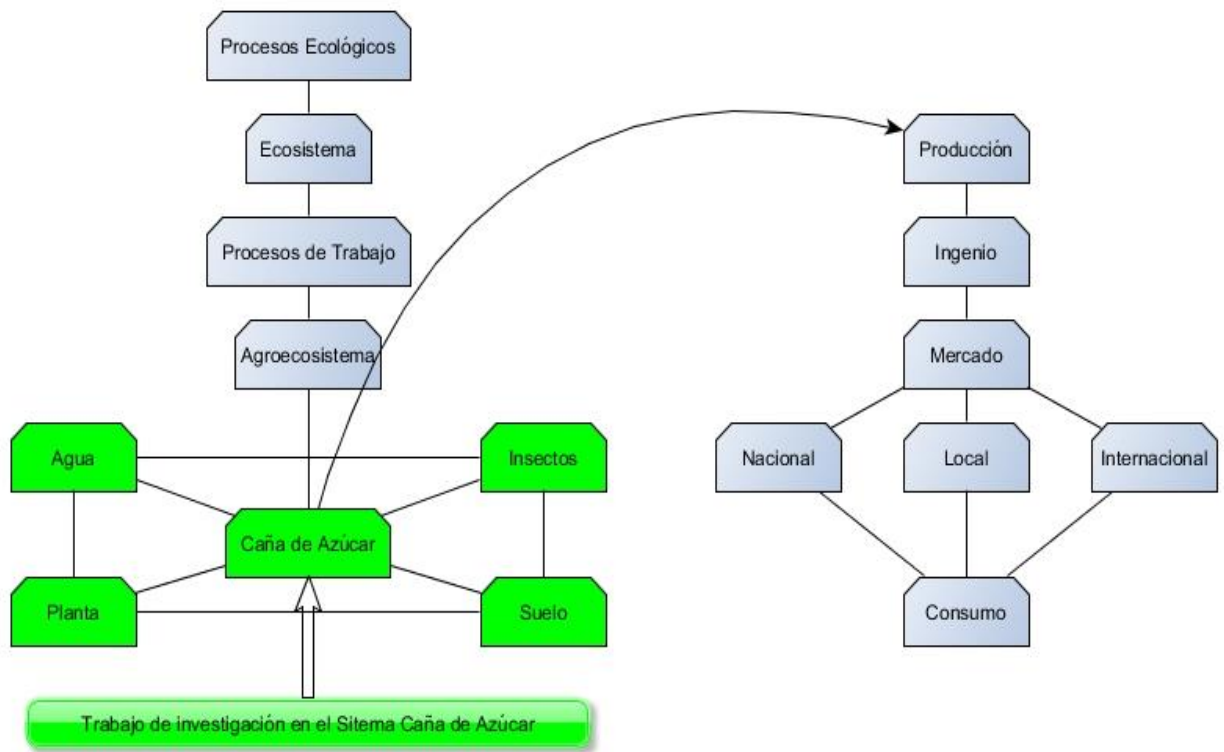


Ilustración 1. Sistema general de Caña de Azúcar

3.7. MOSCA PINTA (SALIVAZO)

3.7.1. Clasificación

Clase: Insecta

Orden: Homóptera

Familia: Cercopidae

Género y especie: *Aeneolamia albofasciata*

Esta de plaga se encuentra distribuida desde el sur de los EE.UU hasta Argentina, siendo una plaga importante de caña de azúcar en Trinidad, Venezuela, México, Centroamérica y varios estados de Brasil. Según Bennet (1984) existen varias especies endémicas de salivazo, y sin excepción, las especies que atacan la caña de azúcar se han transferido de varios pastos nativos y ciperáceos. Comúnmente este insecto es conocido con los nombres de salivazo, candelilla, mosca pinta, cigarrinhas y spittle bugs (López y Pérez, 2011)

Se encuentra principalmente en pastos, maíz, arroz y caña de azúcar, donde se alimenta, vive y se reproduce, causando daño a la planta. Se le puede encontrar todo el año, sin embargo, en los meses de octubre y noviembre la hembra adulta inicia la postura de sus huevecillos en el suelo (para el siguiente ciclo) a unos dos centímetros de profundidad y cerca del tronco de la caña; cada una deposita alrededor de 100 huevecillos (CESVETAB, 2013).

3.7.2. Huevo

El huevo mide entre 0.75-0.90 mm de largo por 0.25 mm de ancho. La hembra del salivazo oviposita de 30 a 40 huevos en su edad adulta. Pone los huevos durante la noche, uno por uno, en el suelo alrededor de la cepa de la caña y cerca de la raíz, a pocos centímetros de profundidad (Bustillo y Castro, 2011). Los huevos son de dos tipos: unos de corto desarrollo o sin diapausa y otros con diapausa, que puede ser corta, media o larga. La duración de los huevos de corto desarrollo o

sin diapausa es de 15 días. Los huevos en descanso o con diapausa corta permanecen en latencia hasta por 22.1 días, aquellos con diapausa media alcanzan 39.2 días y los de diapausa larga tardan hasta 90 días o más en eclosionar (Bustillo y Castro, 2011).

3.7.3. Ninfas

Las ninfas pasan por cinco instares ninfales. Según varios autores (Hernández y Flores, 1956;; Coronado y Sosa, 1966; Velasco y Sifuentes, 1970; Oomen, 1975) esta fase de desarrollo puede durar de 19 a 48 días, dependiendo de la temperatura. En nuestro medio, bajo condiciones de laboratorio (24 ± 4 °C y $82\pm 10\%$ HR), la duración del periodo ninfal ha sido de 30 a 40 días. Las ninfas recién eclosionadas se dirigen hacia el cogollo, donde se localizan alimentándose de la savia y permaneciendo cubiertas de una masa espumosa que ellas elaboran. Generalmente, las ninfas de los primeros instares se localizan en el cogollo y las ninfas de los últimos instar en el tallo, debajo de las vainas viejas.

3.7.4. Adulto

El adulto del salivazo mide entre 6-9 mm de largo por 4 mm de ancho. Posee patas saltatorias que usa para desplazarse entre las hojas de su hospedero, donde se posa para alimentarse de la savia. A través de las hojas inyecta una toxina en la planta. Los adultos viven en promedio cinco días. Su cuerpo es de color marrón oscuro, al igual que sus alas, las cuales se caracterizan por bandas de colores amarillo y anaranjado: una banda en forma de 'V' en la parte torácica y dos bandas transversales irregulares hacia la región abdominal. La toxina que inyecta el adulto produce una reacción en la planta. En las hojas aparecen manchas alargadas de color pardo-rojizo que aumentan de tamaño, hasta que el follaje se seca por completo (Bustillo y Castro 2011).

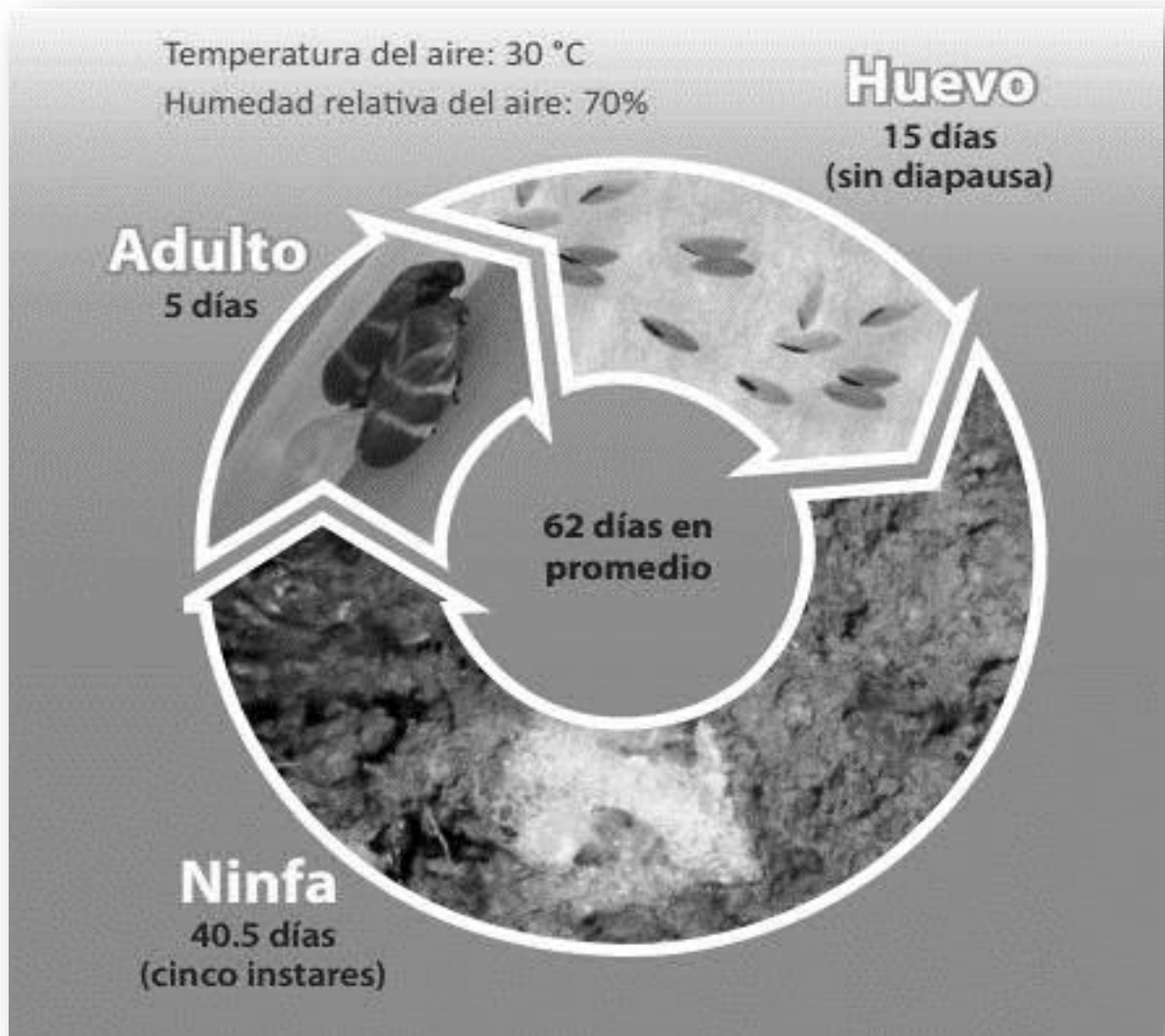


Ilustración 2. Ciclo de vida de la mosca pinta (Bustillo y Castro, 2011).

3.7.5. Daño

Se considera daño cuando la hoja presenta varias lesiones en su área, y por consiguiente tenga una actividad fotosintética baja y repercuta en la generación de carbohidratos.

3.7.6. Plaga

La noción se asocia exclusivamente con los insectos y otros artrópodos terrestres (ácaros), aunque dentro de ellos deba incluirse también algunos invertebrados no artrópodos (nematodos, gasterópodos), y algunos vertebrados (aves y roedores); no obstante deben excluirse los microorganismos (virus, bacterias) y los hongos, ya que los daños causados por ellos se denominan “enfermedades” (Selfa y Anento, 1997).

Por lo tanto, una plaga puede ser reconocida como tal tan solo por el daño que pueda ocasionar, o dicho de otra forma, según el grado en el que el perjuicio se aprecia o tolera. Por tanto, existe un umbral económico y cuando es igual o mayor al parámetro establecido con base en una población es perjudicial (Selfa y Anento, 1997).

3.7.7. Umbral de daño económico

Bustillo y Castro (2011) reportan que el nivel de población del salivazo que puede causar una reducción en la producción de la caña de azúcar y efectos en la rentabilidad del cultivo ocurre cuando en los sitios de evaluación se registra alguna de estas situaciones:

- Más de 50 adultos/trampa capturados por semana
- Más de 0.2 adultos/tallo observados por cepa
- Más de 0.2 espumas/tallo observadas por cepa

3.7.8. Control químico

El control químico de las plagas es la represión de sus poblaciones o la prevención de su desarrollo mediante el uso de sustancias químicas.

El éxito del control químico, o por lo menos de una aplicación de insecticidas, en el combate de las plagas está supeditado al buen criterio que se tenga para decidir:

1. Qué producto usar
2. En qué forma aplicarlo y
3. En qué momento u oportunidad ejecutar el tratamiento

Estas decisiones exigen conocimientos sobre las características de los productos insecticidas, los equipos de aplicación, las plagas y la planta cultivada. También hay que tomar en cuenta las prácticas culturales, las condiciones climáticas, las condiciones económicas del cultivo y del agricultor, y las características culturales y sociales del medio.

3.7.9. Control biológico

El objetivo del control biológico es mantener las poblaciones de la plaga en niveles que no causen daño económico, mediante el uso de los enemigos naturales que se encuentran en el ecosistema del cultivo. El control biológico posee muchas ventajas (Summy y Frech, 1988), como: (1) Poco o ningún efecto nocivo colateral; (2) casos raros de resistencia; (3) control de largo plazo; (4) elimina por completo o sustancialmente el uso de insecticidas; (5) relación beneficio/costo muy favorable; (6) evita plagas secundarias; (7) no provoca intoxicaciones; y (8) se puede usar como parte del Manejo Integrado de Plagas (MIP). Entre las desventajas se tienen: (1) Ignorancia sobre

los principios del método; (2) reducido apoyo económico; (3) escaso personal especializado; (4) poca disponibilidad; (5) problemas de uso con umbrales económicos bajos; (6) dificultad para aplicarlo en complejos de plagas; (7) los agentes de control biológico son susceptibles a los plaguicidas; (8) los enemigos naturales se incrementan con retraso en comparación a las plagas que atacan, por lo cual, no proveen la supresión inmediata que se obtiene con los insecticidas; y (9) los resultados del control biológico no son tan espectaculares en el corto plazo como los insecticidas y por lo mismo, el agricultor tiene temor de perder su cosecha.

3.7.10. Control etológico

Cisneros (2010) menciona que la etología es el estudio del comportamiento de los animales en relación con el medioambiente. De modo que por Control Etológico de plagas se entiende la utilización de métodos de represión que aprovechan las reacciones de comportamiento de los insectos. El comportamiento está determinado por la respuesta de los insectos a la presencia u ocurrencia de estímulos que son predominantemente de naturaleza química, aunque también hay estímulos físicos y mecánicos. El control etológico de las plagas comprende las técnicas más antiguas y simples de la lucha contra los insectos. Estas técnicas consisten en la remoción y destrucción de los insectos y órganos infestados de las plantas. También se incluye la exclusión de los insectos y otros animales por medio de las barreras y otros dispositivos. La aplicación de estas técnicas demanda mucha mano de obra por lo que tienden a desaparecer de las grandes y medianas áreas de cultivo. En ciertos casos, particularmente cuando se trata de la pequeña agricultura, el control mecánico puede aplicarse con relativa eficiencia (Cisneros, 2010).

3.7.11. Control integrado de plagas

La definición de manejo integrado a partir de la década del 50 en que se inicia el empleo del término ha ido cambiando, en la actualidad hay varias modificaciones, sin embargo podemos acogernos a lo que indica la FAO: “El control integrado de plagas es un enfoque ecológico, multidisciplinario dirigido al manejo de poblaciones de plagas, que utiliza varias tácticas compatibles en un solo sistema coordinado” (Gallegos, 1997).

3.7.12. Luz artificial (Luz de día)

Las bombillas de luz diurna imitan el espectro de la luz emitida por la luz solar natural. Diseñadas para el cultivo de plantas de interior y como complemento a la luz en los invernaderos, estas bombillas están montadas en reflectores de luz para un efecto máximo. El color de temperatura de una fuente de luz se mide en grados Kelvin, con 5600 ° K se iguala luz del día. La luz kelvin superior tiene más luz azul o fría, y un kelvin más bajo indica más luz roja o cálida. El índice de rendimiento de color (CRI) es una clasificación de las fuentes de luz (ehow, 2014).

3.8. TEORÍA DE LOS COLORES OPUESTOS O PROCESOS OPUESTOS

La teoría de los procesos opuestos de la visión en color, propuesta por Hering (1882), parece contradecir la teoría tricrómica de Young-Helmholtz, y fue propuesta para poder explicar los fenómenos que no se podían explicar adecuadamente con la teoría tricrómica (González, 2006).

Un ejemplo de esos casos son las llamadas imágenes fantasmas o post imágenes (after-images) que aparecen cuando el ojo recibe un estímulo amarillo que al poco se elimina y queda la sensación de percibir un resto de esas imágenes en azul. Otro es el hecho, contrario a la intuición, de que la

mezcla aditiva de luces rojas y verdes de como resultado amarillo y no una especie de verde rojizo (González, 2006).

Hering (1882) en su teoría de los colores opuestos, propuso que amarillo frente a azul, y rojo frente a verde eran pares de señales opuestas. Esto servía, en cierto modo, para explicar por qué existen psicológicamente cuatro colores primarios: Rojo, verde, amarillo y azul, y no sólo tres (Gonzales, 2009). Además, Hering propuso la existencia de una oposición blanco-negro, pero la versión de la oposición de un canal de luminancia se ha abandonado en las versiones más modernas de la teoría (González, 2006).

En la actualidad, se acepta que la teoría tricrómica y la de los procesos opuestos (opponent colours theory) describen características esenciales de la visión humana en color y que esta segunda teoría describe las cualidades perceptuales de la visión en color, que se derivan del procesamiento neurológico de las señales de los receptores en dos canales opuestos y un sólo canal acromático (González, 2006).

3.9. MODELO CIE

La CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) propuso este modelo en 1931 como estándar de medida. El modelo CIE derivó de una serie de experimentos realizados a fines de siglo por David W. Wright y John Guild. CIE (L^* , a^* , b^*) es un espacio de color rectangular de 3-dimensiones basado en la Teoría de los Colores-Opuestos.

Este modelo se basa en los tres colores luz primarios, rojo, verde y azul, como valores triestímulos llamándolos X, Y y Z respectivamente. Dado que el ojo humano tiene tres tipos de conos que responden a diferentes rangos de longitudes de onda, este modelo posee una representación de todos los colores visibles en una figura tridimensional.

En su página oficial la CIE (2013) menciona que este modelo de color (CIE L^* , a^* , b^*) es más completo. Se usa habitualmente para describir todos los colores que puede ver el ojo humano. Las diferencias de color que se perciben como iguales en este espacio de color tridimensional, tienen distancias iguales entre ellas. Esta diferencia se expresa mediante el valor delta-E (DE). El delta-E permite medir los cambios de matiz y densidad. Es la descripción matemática de la distancia entre dos colores. Para calcular el DE de dos colores, se necesitan sus valores $L^*a^*b^*$. El DE es la distancia entre los dos puntos dentro del espacio de color $L^*a^*b^*$. El observador medio sólo percibe diferencias superiores a 5 ó 6 DE. Sólo un ojo bien preparado percibe diferencias de 3 o 4 DE. El ojo humano es mucho más sensible a los cambios en los niveles de gris y tonos medios. En esos casos, puede llegar a percibir hasta una diferencia de 0,5 DE. Podemos identificar cada color de forma precisa mediante sus valores “a” y “b” y su brillo (“L”). Los tres parámetros del modelo representan la luminancia del color. “L” es la posición entre el rojo y el verde (el valor mínimo corresponde al negro), “a” es la posición entre el amarillo y el azul (el valor mínimo corresponde al verde), y “b”, la escala en referencia al punto blanco (el valor mínimo corresponde al azul).

4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

4.1. HIPÓTESIS

El manejo de la caña de azúcar influye en el color de las hojas que al medirlo con el parámetro CIE (L^* , a^* , b^*) se interpreta con exactitud la longitud de onda que atrae a la mosca pinta de tal forma que el insecto decida alimentarse o no en la hoja.

4.1.1. Hipótesis específicas

1. La mosca pinta es atraída por la longitud de onda generada por hojas de caña de azúcar con altas concentraciones de clorofila.
2. El color de las hojas de la caña en condiciones naturales presenta diferentes longitudes de onda durante el día, por lo tanto la percepción de la mosca pinta para alimentarse varía por las diferentes condiciones que se encuentra expuesta la planta a la luz solar.
3. La baja o alta concentración de macro y micro nutrientes en la variedad CP 72-2086 genera longitudes de onda de la lámina foliar que son atrayentes a la mosca pinta.
4. La mosca pinta elige una lámina foliar que genera cierta longitud de onda sin importar la variedad que se estudie.
5. El manejo que los productores realizan a la caña de azúcar no considera la fertilización ni la variedad para reducir la población de mosca pinta.

4.2. OBJETIVO

Identificar la relación de la acumulación de clorofila con la fertilización y la variedad utilizada que por la incidencia de la luz generan el parámetro CIE (L^* , a^* , b^*) que es más atrayente a la mosca pinta.

4.2.1. Objetivos específicos

1. Identificar la concentración de clorofila que genera una longitud de onda más atrayente a mosca pinta en hojas de caña de azúcar.
2. Conocer los cambios en el color de las hojas de caña por la exposición de la luz en diferentes horas del día.
3. Identificar la concentración en la fertilización que provoca un color en la hoja que es atrayente a la mosca pinta en la variedad CP 72-2086.
4. Identificar la longitud de onda que atrae a la mosca pinta en diferentes variedades de caña de azúcar.
5. Conocer el manejo y la percepción de los productores de caña de azúcar en el combate de la mosca pinta.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente apartado se describen los principales métodos y técnicas empleadas para alcanzar los objetivos planteados, y contrastar las hipótesis.

5.1. ESTUDIO DE PARÁMETROS CIE (L^* , A^* , B^*) Y CLOROFILA EN CAMPO EXPERIMENTAL DEL INGENIO POTRERO

El experimento se estableció en el ingenio El Potrero en un predio de la zona llamada “Campos Potrero” de 10,000 m² con ubicación N 18° 53' 30.552”, O 96° 47' 2.724”, donde se ubicaron tres bloques con caña de azúcar variedad MEX 79-431, resoca 4 (R4) de seis meses después del corte. Cada uno de los tres bloques tuvieron una longitud de 25 m por 16 surcos de 1.30 m. En cada bloque se colocaron dataloggers marca HOBO® para medir intensidad lumínica, precipitación y temperatura ambiente, registrando datos cada 15 minutos, durante los 4 meses que tuvo duración el experimento.

5.1.1. Establecimiento de bloques y repeticiones

Previo a la ubicación de los bloques, se realizó un monitoreo de la incidencia de mosca pinta, a través del método de extracción de huevecillos de mosca en el terreno. Se procedió a tomar 2 kilos de suelo superficial a un lado de cada cepa en 12 puntos de diferentes áreas del terreno, de acuerdo al método estandarizado para el muestreo de huevos de mosca pinta (Hernández, 2013). Al término del conteo de huevos se determinaron tres zonas, en las que se esperaban mayor y menor incidencia poblacional de ninfas (salivazo) que posteriormente se convertirían en adultos de mosca pinta. En estas zonas se colocaron los bloques para el experimento y que fueron divididos en cinco repeticiones. Con el fin de establecer las repeticiones dentro de cada bloque con base en la incidencia

alta, baja y nula de mosca pinta, que permitirá conocer el daño que se podría esperar por el número de adultos en los diferentes puntos de los bloques asignados durante el experimento. Se procedió a colocar cinco pantallas color verde, con pegamento STICK BUG[®], en cada uno de los bloques, haciendo un total de 15 pantallas verdes, las trampas se colocaron con una distribución de cinco de oros. Se realizó el conteo visual del número de adultos de mosca capturados en cada una de las pantallas después de transcurridas 24 h de haberlas colocado. Se determinaron los bloques por la incidencia de adultos de mosca pinta en cada uno de puntos en los que se colocaron las trampas verdes en las tres zonas de estudio, de esta forma en cada bloque se establecieron repeticiones con alta, baja y nula presencia de este insecto. A cada punto se le asignó un código para monitorear el daño, color en diferentes horas del día en hojas y crecimiento poblacional de mosca pinta.

5.1.2. Medición del parámetro CIE (L^* , a^* , b^*)

Dentro de cada repetición se eligieron cinco plantas al azar. Las plantas elegidas dentro de cada bloque fueron divididas en dos estratos alto y medio (Se consideró estrato alto a la primer hoja erecta en el ápice de la caña y estrato medio a la cuarta hoja que se ubica por abajo de la hoja seleccionada en el estrato alto), con el objetivo de tomar fotos a las hojas nuevas y viejas y que presentaran evidencias de daños ocasionados por mosca pinta. Se utilizaron dos cámaras fotográficas marca FUJIFILM[®] FINEPIX[®] S1000 (Fuji Pro) y FUJIFILM[®] XP50[®] (Fuji Azul) para tomar las fotos cada hora desde las 8:00 a.m a las 13:00 p.m. Las fotografías fueron tomadas *in situ*, sin cortar las hojas de caña de azúcar en los dos estratos definidos en cada planta, el ángulo de la cámara en todos los casos fue de 45° a una distancia de 30 cm de la hoja seleccionada. Con las fotografías tomadas de las hojas se procedió a obtener los parámetros CIE (L^* , a^* , b^*) utilizando el programa computo ColorPixLab[®]. En las hojas fotografiadas se utilizó un medidor de clorofila

Minolta SPAD[®], con el fin de conocer la concentración de clorofila en cada hoja, que genera el color que fue captado por las cámaras fotográficas. Con el medidor SPAD a cada hoja se le realizaron cuatro lecturas para obtener un promedio en concentración (Krugh *et al.*, 1994).

5.1.3. Análisis estadístico

Al final de los colores obtenidos se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias Tukey (0.05) para correlacionar los resultados con las variables: hora del día, efecto de bloque, tipo de cámara, fecha de muestreo, y estrato. Con el programa estadístico R ver. 3.2 en el ambiente R Studio [®] Versión 0.98.1091

5.2. ESTUDIO DEL COLOR POR EFECTOS DE DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN CONDICIONES CONTROLADAS

Para comparar los resultados del estudio que se realizó en campo, se adquirieron 800 plantas de caña de azúcar variedad CP 72-2086 del centro de multiplicación *in vitro* de caña de azúcar y otras especies vegetales “Vitromotz” de Central Motzorongo, con el fin de obtener datos confiables y tener control de algunas variables. El muestro se realizó dentro de un invernadero ubicado en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba del Área de Biotecnología Microbiana Aplicada. Se realizó una limpieza al invernadero como recomienda (Grodan 2011). El piso fue cubierto con piedra de tezontle para la absorción y retención de humedad. Por encima y alrededor de los bloques se construyeron jaulas, la estructura fue hecha con tubos de PVC de 1.6 X 1.6 X 3 m. Y fue cubierta con malla “Tul” con una abertura de 3mm. Esto con el fin de contener a los insectos de mosca pinta recolectados en campo pero dejar pasar luz suficiente para las plantas. Se evaluaron 4 dosis

de fertilización 0, 5, 10, 15 mg de nitrógeno por planta siendo cero el testigo. Las plantas se acomodaron formando cuatro bloques haciendo un total de 200 plantas cada uno; estos bloques se dividieron en cuatro repeticiones con 50 plantas cada una, a cada repetición se le asignó una dosis de fertilización de forma aleatoria. Esto con el fin de conocer el color que varía en las hojas de la planta por efecto de la fertilización, por la cual emite una longitud de onda y genera una tendencia de la mosca pinta para alimentarse al ser atraídas.

5.2.1. Recolección de mosca pinta

Para conocer las longitudes de onda atrayentes a la mosca pinta, se procedió a una recolección de moscas en diferentes parcelas, en las cuales la variedad de caña fuera CP 72-2086, estas fueron ubicadas en el municipio de Atoyac. Se utilizaron frascos de vidrio para atrapar las moscas con el mayor cuidado posible, posteriormente se colocaban en un contenedor que contaba con alimento (gramíneas) para evitar que las moscas sufran algún estrés durante su traslado de campo al invernadero. Se capturaban un promedio de 200 a 400 moscas dos veces por semana, las cuales se repartían igualmente en cada bloque que fueron establecido en el invernadero.

5.2.2. Envío de muestras de hojas con daño y sin daño para análisis nutricional

El análisis foliar se considera actualmente como una referencia indispensable para determinar tanto las necesidades de abonado de las plantaciones como los estados carenciales de micro elementos. Esto se debe a que los análisis foliares dan una indicación precisa de la absorción de los diferentes elementos por la planta, ya que las hojas son muy sensibles a los cambios de composición del medio nutritivo. La correcta utilización de esta práctica requiere efectuar adecuadamente la toma de muestras de hojas, de modo que sea representativa del estado nutricional de la plantación, e

interpretar correctamente los análisis. El contenido en nutrientes de las hojas depende de diversos factores tales como la edad, tipo y posición de la hoja que se muestrea (Legaz *et al.*, 1995).

La recolección y embalaje de las hojas se realizó conforme al manual que pone a disposición por internet Fertilab (2014), que es el laboratorio al que se enviaron las muestras. FertiLab es un laboratorio que cuenta con la capacidad de realizar diferentes tipos de análisis y cuenta con la certificación ISO 9001-2008 desde el año 2013.

5.3. PERCEPCIÓN DE LOS PRODUCTORES

El Ingenio Potrero está dividido en cuatro zonas, en las cuales 7000 productores aproximadamente trabajan para abastecer de caña de azúcar al Ingenio. Se elaboró un cuestionario dirigido a estos productores para conocer su punto de vista en el cultivo de la caña de azúcar, la importancia que le dan a la plaga de mosca pinta y el daño que esta genera. Ya que no se puede entrevistar a todos los productores que abastecen al Ingenio por diferentes obstáculos que están fuera de control, se procedió a definir un tamaño de muestra que represente el punto de vista de los productores.

Para definir un tamaño de muestra se utilizó la siguiente fórmula (Ilustración 4):

$$n = \frac{(Z)^2 p*q*N}{Ne^2 + Z^2 p*q}$$

Ilustración 3. Fórmula para tamaño de muestra de un universo.

- **Z= Nivel de confianza**
- **N= Universo**
- **p= Probabilidad a favor**
- **e= Error de estimación**
- **q= Probabilidad en contra**
- **n= Tamaño de la muestra**

Con la ayuda de la Cuadro 1 se obtuvo el valor del nivel de confianza (Z) para una confiabilidad al 90% y 10% de error. De los 7000 productores que abastecen al Ingenio Potrero se obtuvo un resultado de 68 productores a encuestar.

5.3.1. Muestreo en parcelas de productores

Para complementar las respuestas obtenidas en las encuestas realizadas a los productores de caña de azúcar del ingenio Potrero, se realizaron muestreos al azar en algunas parcelas de los participantes. El propósito de este estudio fue el de obtener evidencias del manejo que los productores dan a sus cultivos, la cantidad de daño provocado por mosca pinta y los gradientes de color emitidos por las hojas en consecuencia de las labores realizadas por los productores.

Las parcelas muestreadas se eligieron al azar, cada parcela evaluada tenía una superficie de 1000 m² en diferentes zonas pertenecientes al ingenio Potrero, se tomaron lecturas con el medidor de clorofila SPAD a 10 hojas sanas y con presencia de daño, estas hojas de caña elegidas fueron fotografiadas para obtener parámetros de color CIE (L*, a*, b*) y posteriormente obtener una longitud de onda convertida a nanómetros como se describe anteriormente en esta tesis, para complementar esta información se utilizó un datalogger para la medición de radiación solar, temperatura y humedad relativa.

El análisis de varianza realizado con los resultados obtenidos con el medidor SPAD y las variables “variedad”, que se refiere a las diferentes variedades de caña de azúcar utilizadas por los productores en las diferentes zonas de estudio, y la variable “estado” la cual se refiere a la condición de

la hoja de caña de azúcar que fue evaluada, en este caso hojas con presencia de daño y sin daño ocasionado por la mosca pinta, por último se realizó una comparación con las dos variables.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. RESULTADOS DE MUESTREO PRELIMINAR PARA ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO EN CAMPO

6.1.1. Muestreo de huevo de mosca pinta

La incidencia de huevos de mosca pinta encontrada en el muestreo preliminar en tres parcelas diferentes dentro de los terrenos del ingenio “El Potrero”, se presentan en las figuras 6, 7 y 8 la incidencia encontrada de huevecillos de mosca pinta en las zonas muestreadas. Los globos dentro de cada figura indican el número de huevos encontrados y su distribución dentro del terreno muestreado.

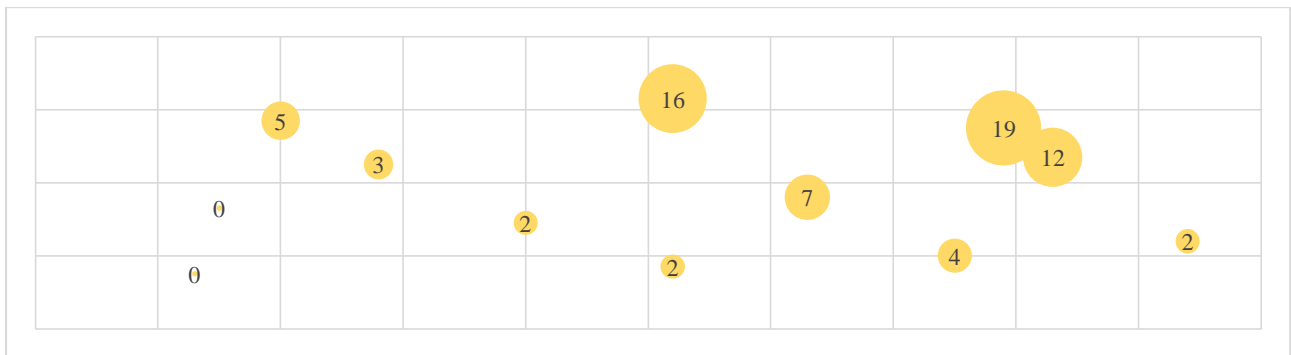


Figura 6. Número de huevos de mosca pinta en cada punto en el bloque 1.

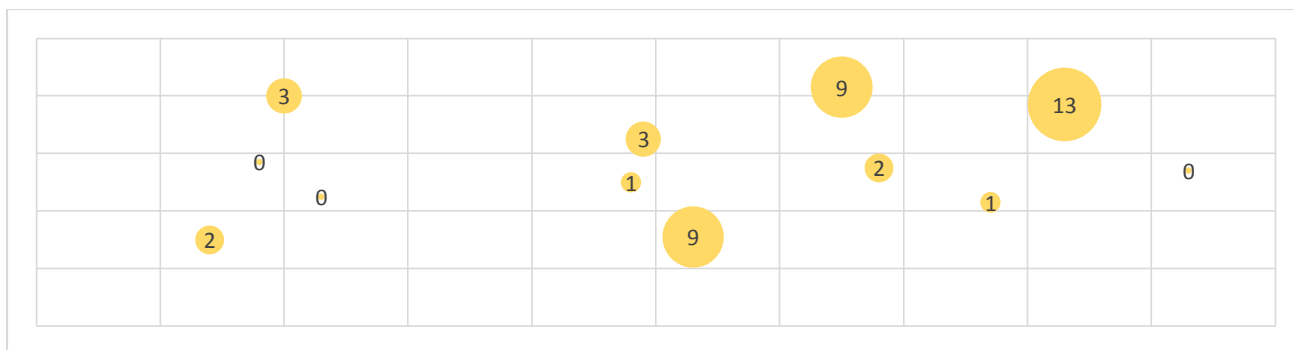


Figura 7. Muestreo de huevos de mosca pinta en el bloque 2.

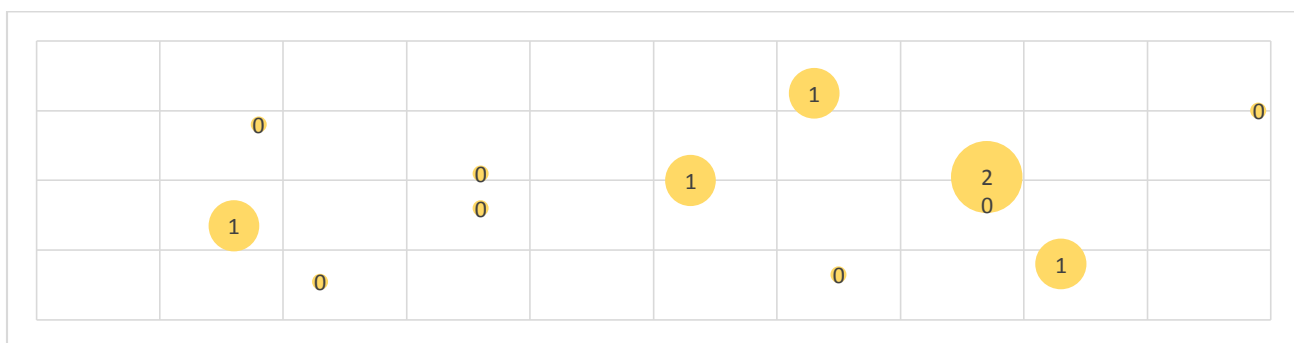


Figura 8. Muestreo de huevos de mosca pinta en el bloque 3

En el bloque 1 se encontró un total de 72 huevecillos de mosca pinta, en el bloque 2 un total de 43 y por último en el bloque 3 un total de 6 huevos de mosca pinta. Esto nos da un gradiente de la incidencia de alto, medio y bajo en los bloques 1, 2 y 3, respectivamente. Estos bloques de mayor a menor incidencia permiten establecer las pantallas verdes y los ensayos.

6.1.2. Evaluación de pantallas verdes

Posterior a la evaluación de huevecillos de mosca, se procedió a colocar cinco pantallas color verde en cada uno de los bloques, las trampas se colocaron con una distribución de cinco de oros, como lo muestran a continuación las figuras 9, 10 y 11.

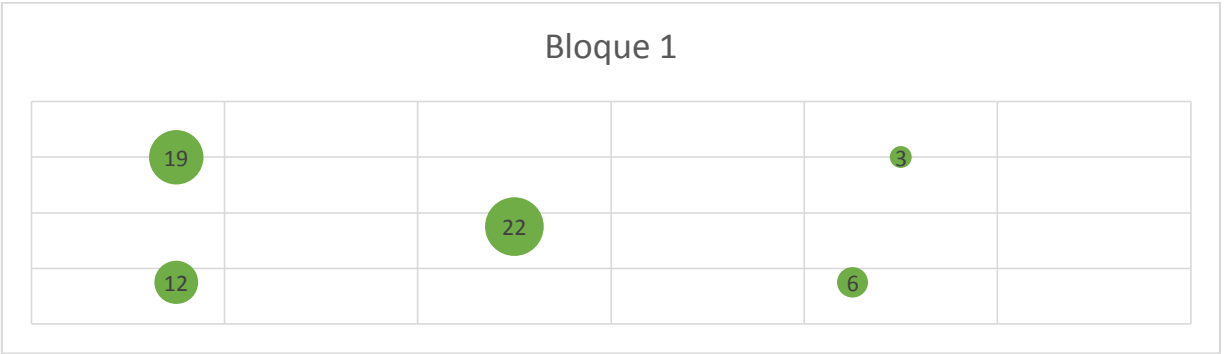


Figura 9. Muestreo de huevos de mosca pinta en el bloque 1.



Figura 10. Muestreo de huevos de mosca pinta en el bloque 2.

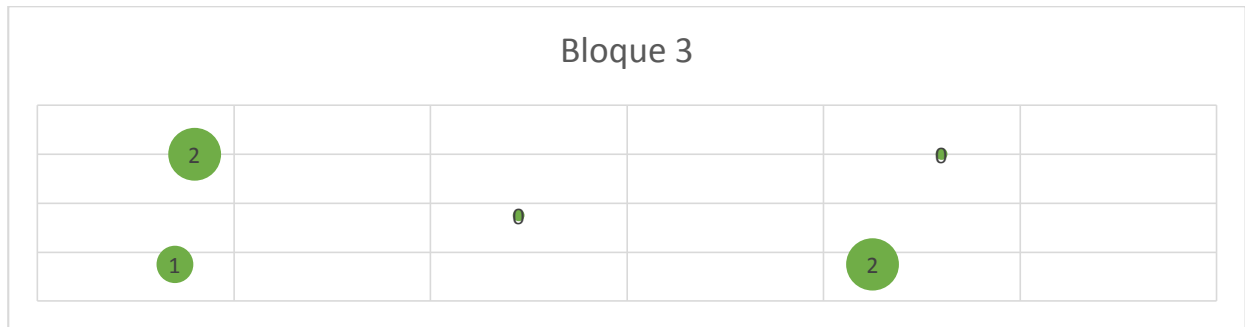


Figura 11. Distribución de trampas pegajosas verdes en el Bloque 3

Se realizó el conteo en cada una de las pantallas después de 24 h de haberlas colocado. En las pantallas verdes del bloque 1 se encontraron un total de 62 adultos (53%), en el bloque 2 se hallaron un total de 50 moscas (43%) y por último en el bloque 3 fueron contabilizadas solo 5 moscas (4%). En términos de porcentaje, la mayor cantidad de adultos se encontró en el Bloque 1, como era de esperarse por la cantidad de huevos encontrados (Figura 12).

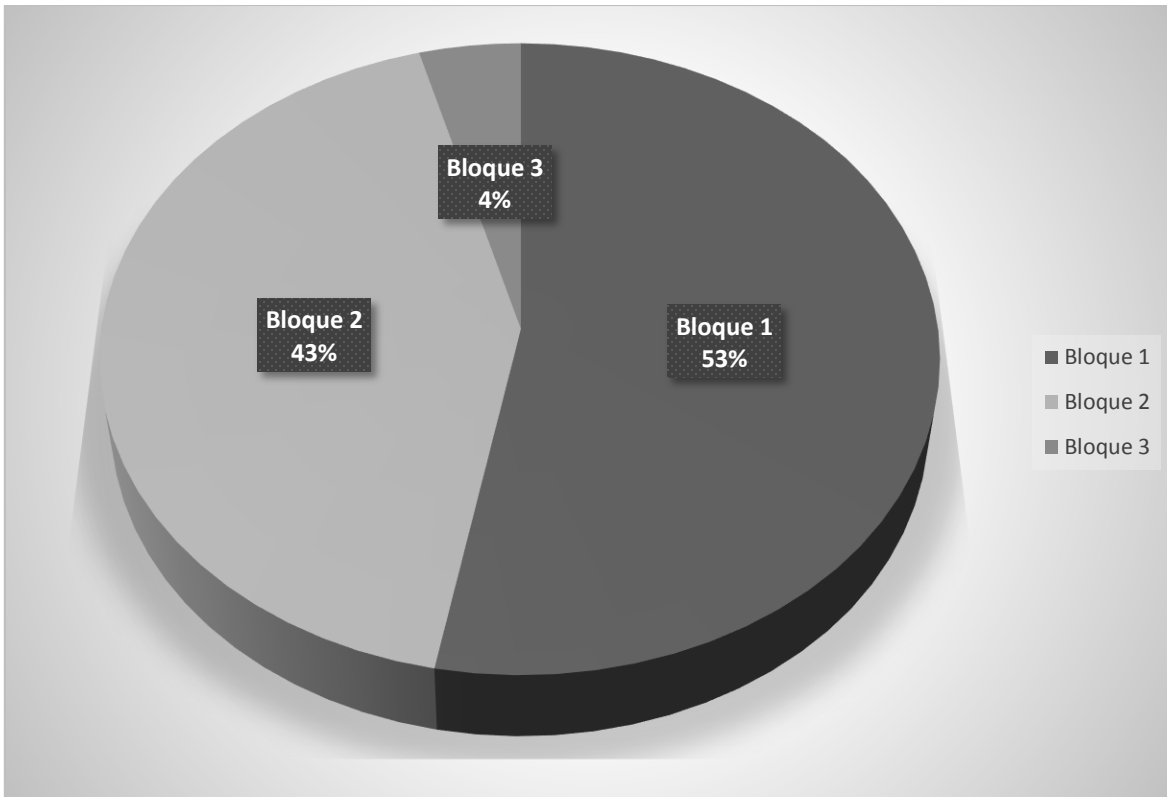


Figura 12. Porcentaje de adultos de mosca pinta en los tres bloques de muestreo.

Al comparar los dos muestreos de huevos y adultos en los bloques, los resultados indican que el número de adultos encontrados en las trampas verdes, corresponde a lo esperado por el número de huevecillos encontrados en el suelo muestreado del campo cañero. También, se conocen los puntos dentro de cada bloque, en los que se muestra mayor abundancia de mosca pinta y preferencia o solo por su incidencia de emergencia.

6.2. RESULTADOS DEL MUESTREO EN CAMPO EXPERIMENTAL POTRERO

Análisis del parámetro de luminosidad “L*” Teniendo en cuenta que la luz es la radiación visible apreciada de acuerdo con la sensibilidad del ojo humano, el flujo luminoso se define como la cantidad de energía luminosa radiada por una fuente en cada segundo. Es decir, el flujo luminoso

es la potencia de la energía luminosa radiada por la fuente (García, 2012). A continuación se muestra el análisis de varianza realizado con base en la luminosidad (L) en función de las variables estudiadas que fueron: el día de la toma de datos, el efecto del bloque y el tipo de cámara, también los resultados en las interacciones de las variables antes mencionadas (Cuadro 1). En las variables de: estrato, bloque y fecha/cámara existe una diferencia significativa en el resultado; sin embargo el tipo de cámara nos muestran resultados altamente significativos en lo que respecta a la luminosidad (Cuadro 2).

Cuadro 1. Análisis de varianza del parámetro de luminosidad (L*) en comparación con las variables: fecha de muestreo, estrato de la planta, efecto de bloque y tipo de cámara.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Fecha	4	3719	930	6.696	3.7e-05***
Estrato	1	759	759	5.466	0.0201*
Bloque	2	952	476	3.429	0.0338*
Cámara	1	3860	3860	27.805	2.7e-07***
Fecha/Estrato	4	156	39	0.281	0.8901
Estrato/Cámara	1	35	35	0.256	0.6136
Fecha/Cámara	4	1497	374	2.695	0.0313*
Fecha/Estrato/Cámara	4	134	34	0.241	0.9147
Residuales	278	38597	139		

6.2.1. Comparación del parámetro “L” con dos tipos de cámara

El comportamiento de las lentes está basado en los fenómenos de transmisión y refracción. Al penetrar oblicuamente un rayo de luz en un bloque de vidrio de caras paralelas, se refracta acercándose a la normal. Por el contrario, al salir del bloque, el rayo se acelera, al pasar a otro medio menos denso, el rayo se separa de la normal y en conjunto, las trayectorias aunque se han desplazado, resultan paralelas.

El poder de desviación o distancia focal de un objetivo, es una combinación de todos los factores que determinan la refracción de la luz: el índice de refracción, el ángulo de incidencia y la longitud de onda de la luz (Monje, 2008).

La cámara utilizada para la captura de imágenes de las hojas de caña de azúcar, indica una diferencia F de 2.7×10^7 , y que es altamente significativa con relación al parámetro L^* , ya que la distancia focal es la cantidad de luz que puede llegar a entrar a través de la lente frontal de un objetivo. Con mucha luminosidad en un objetivo se pueden realizar buenas imágenes aunque haya poca luz. La exposición también depende de la cantidad de luz que pasa a través de las lentes de nuestro objetivo durante un tiempo determinado (Fujifilm, 2012). En los obturadores de las cámaras utilizadas tienen diferentes medidas en la abertura de los diafragmas, cuando accionamos el disparador, la lente deja ingresar la luz reflejada por el objeto, esta luz sensibiliza al sensor de captación de imagen, que descompone estos haces en colores rojo, verde y azul (Marker, 2012), esto conlleva a que la luz en las cámaras se capture en diferentes longitudes de onda que son de luminosidad y nitidez. Las cámaras utilizadas muestran una diferencia altamente significativa una de otra, y aunque son cámaras de la misma marca son diferentes en el modelo de fabricación y los componentes son diferentes (Cuadro 2). Lo que indica la importancia del tipo de cámara cuando se mida el parámetro L^* .

Cuadro Cuadro 2. Agrupación de medias por prueba de Tukey <.05 a los dos tipos de cámara utilizadas FUJI-FILM® FINEPIX® S1000 (Fuji Pro) y FUJIFILM® XP50® (Fuji Azul) en función a la luminosidad (L*).

Cámaras	Medias	M
Fuji Pro	61.16847	A
Fuji Azul	53.99407	B

6.2.2. Comparación de bloques con el parámetro “L*”

De acuerdo a Sánchez de Miguel *et al.* (2004) el índice de saturación de luz varía entre otros factores con la especie, variedad temperatura, edad, orientación del terreno y las condiciones de crecimiento. Baeza (1994) encontró que la fotosíntesis se atenúa a los 500-700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, saturándose cerca de los 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Se realizó una prueba de Tukey al 0.5 para conocer la diferencia entre los Bloques evaluados con las fotografías tomadas, la Figura 13 muestra que el Bloque 3, con una media de 4394.86, es diferente estadísticamente a los Bloques 1 y 2 ya que sus medias son 3236.25 y 3593.96, respectivamente.

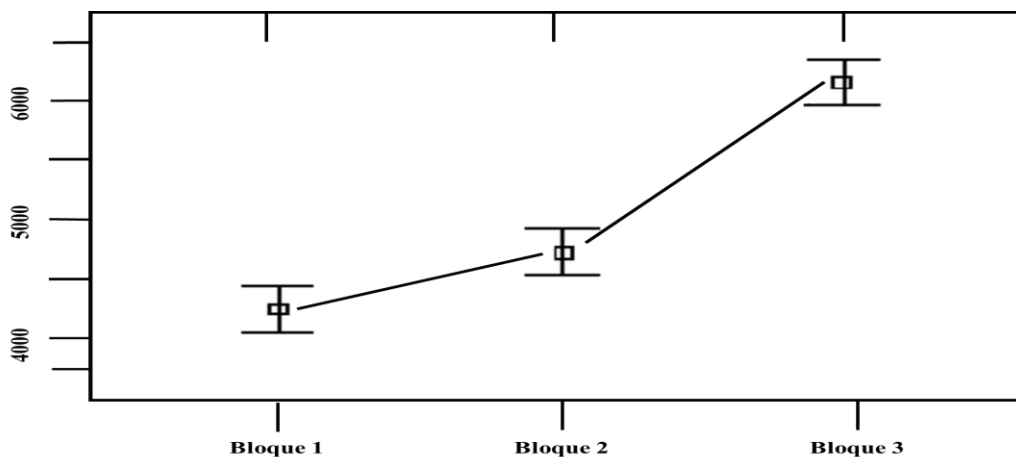


Figura 13. Agrupación de medias con prueba de Tukey <0.5 comparando el efecto del bloque con el parámetro de luminosidad (L^*).

6.2.3. Comparación de los estratos medio y alto con el parámetro “ L^* ”

De la radiación luminosa incidente sobre la cubierta vegetal, las hojas reflejan un poco más del 10%, transmiten un 9% y absorben el 81% restante. La radiación absorbida por las hojas sigue tres caminos diferentes, una parte: 20% incidente, es emitida en forma de radiación infrarroja: en cambio, el 60% calentará las hojas y será disipada evaporando agua mediante la transpiración o emitida por convección por tal motivo las hojas jóvenes en estratos superiores tienen un consumo hídrico mayor a las hojas presentes en estratos bajos lo que da como resultado en diferencias en el color. Los espectros de absorción, reflexión y transmisión radiactiva de las hojas varían con su espesor, la edad, el contenido hídrico, la morfología de la superficie y la orientación (Lissarrague *et al.*, 2010). Por tanto, solo el 1% de la energía recibida se utiliza en la fotosíntesis (Champagnol, 1984). En alta iluminación, la fotosíntesis no puede consumir toda la energía absorbida por la clorofila por lo que quedaría una energía en exceso almacenada que puede desencadenar reacciones oxidativas en los centros de reacción del aparato fotosintético (Lissarrague *et al.*, 2010). Las plantas se adaptan al exceso de luminosidad con la reducción de su potencial fotosintético (foto inhibición

de la fotosíntesis), posiblemente para paliar efectos anexos (temperatura), así, en tiempo nublado, la fotosíntesis optimiza mejor la iluminación que en un clima continuamente favorable (Lissarrague *et al.*, 2010).

Las hojas aclimatadas a la sombra, comparadas con las que se desarrollan a plena iluminación, tienen menor índice de saturación, punto de compensación, capacidad fotosintética y respiración oscura (Lissarrague *et al.*, 2010). Adaptan sus estructuras disminuyendo el espesor de la cutícula y del mesofilo, su peso por unidad de superficie (peso específico) y la relación parénquima en empalizada/lagunar (Schultz *et al.* 1996). La fotosíntesis de las hojas adaptadas a la sombra es más eficiente que las aclimatadas a la luz, es decir, tienen mayor eficiencia cuántica.

La capacidad de captación de luz en hojas del estrato alto a las hojas de estrato medio, tienen una diferencia estadística altamente significativa, ya que como se menciona anteriormente los espectros de absorción varían por la edad, espesor y contenido hídrico en las hojas de cada planta de caña de azúcar, y con iluminaciones altas las hojas son incapaces de absorber toda la energía solar, por lo que refleja gran parte de la misma, y al ser captada por el lente de las cámaras estas capturan la imagen con una mayor cantidad de luz en comparación con hojas del estrato medio. La Cuadro 3 muestra esas diferencias entre los estratos con la diferencia de medias de Tukey.

Cuadro 3. Agrupación de medias por prueba de Tukey $<.05$ a la primer hoja erecta en el ápice de la planta (Estrato Alto) y a la cuarta hoja ubicada por debajo de la primera hoja (Estrato medio).

Estrato	Medias	M
Alto	59.1718	A
Medio	55.99073	B

6.2.4. Análisis del parámetro rojo (+)/verde (-) “a*”

En el caso del parámetro (a*) que se muestra en el Cuadro 4 ningún resultado fue significativo, y esto se debe a que este parámetro solo mide las tonalidades que van de rojo, que se representa de forma positiva, (+) a verde, que da resultados negativos (-). Ya que las hojas fotografiadas son de color verde este no varía por la fecha de muestreo, bloque, tipo de cámara o estrato. A pesar que las hojas cambian de color de acuerdo a su desarrollo, este parámetro solo mostraría diferencia si el color de la hoja tiene colores rojizos.

Cuadro 4. Análisis de varianza del gradiente de rojo (+)/verde (-) parámetro (a*) comparando las variables: fecha de muestreo, estrato de la planta, efecto de bloque y tipo de cámara.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Fecha	4	1721	430.3	1.72	0.1457
Estrato	1	138	137.5	0.55	0.459
Bloque	2	107	53.3	0.213	0.8082
Cámara	1	82	81.5	0.326	0.5685
Fecha/Estrato	4	141	35.3	0.141	0.9667
Estrato/Cámara	1	893	893.3	3.571	0.0598
Fecha/Cámara	4	808	202	0.808	0.5212
Fecha/Estrato/Cámara	4	537	134.3	0.537	0.7088
Residuales	278	69544	250.2		

6.2.5. Análisis del parámetro amarillo (+)/azul (-) “b*”

En el caso del parámetro (b*) se muestran cambios significativos en la fecha de muestreo y el tipo de estrato, como se muestra en los Cuadros 5, 6 y 7. Ya que este parámetro estudia los gradientes de color que van del amarillo representado de forma positiva (+) a tonos azul representados de forma negativa (-). El color de la hoja va cambiando con el tiempo las hojas jóvenes comienzan a envejecer. En lo que respecta a la diferencia en los estratos se debe a lo ya mencionado antes, a la edad de la hoja.

Cuadro 5. Análisis de varianza del gradiente de amarillo (+)/azul (-) parámetro (b*) comparando las variables: fecha de muestreo, estrato de la planta, efecto de bloque y tipo de cámara.

Variabes	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Fecha	4	1779	445	3.3	0.0116*
Estrato	1	8939	8939	66.334	1.3e-14***
Bloque	2	275	137	1.02	0.3621
Cámara	1	53	53	0.393	0.5312
Fecha/Estrato	4	870	218	1.614	0.1708
Estrato/Cámara	1	287	287	2.133	0.1453
Fecha/Cámara	4	337	84	0.626	0.6443
Fecha/Estrato/Cámara	4	260	65	0.482	0.7488
Fecha/Estrato	278	37461	135		

6.2.6. Influencia de las fechas de muestreo con el parámetro “b*”

En la naturaleza las plantas experimentan un amplio rango de estrés tanto biótico como abiótico, operan simultáneamente o en diferentes combinaciones y afectan el crecimiento y el desarrollo. El estrés provocado por alta radiación, radiación UV, déficit hídrico, altas concentraciones de sales, patógeno, metales pesados y temperaturas extremas pueden afectar la fotosíntesis (Larcher, 2003). El foto daño de los cloroplastos es la respuesta principal y común de todos los factores de estrés

que operan en condiciones de campo en presencia de luz, entonces el cloroplasto es considerado como el blanco del estrés ambiental (Solarte *et al.*, 2008).

En el caso que muestra la Cuadro 6 las diferencias que se encuentran en las fechas de muestreo se debe a que la cantidad de luz, que es absorbida por los cloroplastos y que va a la clorofila, varía dependiendo de la fecha de muestreo. La clorofila es lo que da el color verde a las hojas, si la clorofila comienza a decrecer por la falta de luz las hojas comenzaran a cambiar de verde a algún otro color (Shelly *et al.*, 2011). Además existen otros pigmentos accesorios en las plantas superiores, como los carotenoides (carotenos y xantofilas). De acuerdo con Solarte *et al.* (2008) la mayoría de los pigmentos sirven como antenas que colectan luz y transfieren la energía a los centros de reacción, además de cumplir otras funciones de protección. Indican que entre estos están los carotenoides, que consisten en una serie de dobles enlaces conjugados, que le dan la capacidad de capturar y transducir energía, además están asociados con proteínas y embebidos en las membranas dentro de los cloroplastos, donde interactúan con las moléculas aceptoras y transportadoras; así mismo, están relacionados con la protección contra daño foto oxidativo del aparato fotosintético, al disipar el exceso de luz absorbida por los pigmentos. En este sentido, los carotenoides y las antocianinas son sustancias que se encuentran en las plantas y que al caer el contenido de clorofila estas reaccionan con las hojas dando colores característicos. En el caso de las plantas C4 predominan más los carotenoides por lo que las hojas se tornan de color amarillo (Shelly *et al.*, 2011). En resumen puede decirse que los factores que influyen en la degradación de carotenoides en sistemas modelo son varios, como por ejemplo estructura del carotenoide, exposición a la luz, actividad de agua, temperatura, presencia de oxidantes o antioxidantes, presencia de sulfitos, etc. Por este motivo se puede interpretar a las fechas de muestro como una degradación de color por efecto de cambios a los que están expuestas las hojas de caña durante el periodo de muestreo, por lo que la

diferencia estadística lo hace significativa en la comparación de medias respecto al primer día en el que comenzó el monitoreo hasta el final del mismo.

Cuadro 6. Agrupación de medias por prueba de Tukey $<.05$ por la influencia en los datos por el día de muestreo en el parámetro (b*).

No.	Fechas	M	Medias
1	26/10/2013	A	44.171
2	06/11/2013	Ab	42.77767
3	09/11/2013	Ab	42.57467
4	12/11/2013	Ab	40.12117
5	16/11/2013	B	37.27

Como lo muestra la Cuadro 7 las diferencia entre los estratos son altamente significativas y se debe a lo mencionado en la Cuadro 3 del parámetro “L*”.

Cuadro 7. Agrupación de medias por prueba de Tukey $<.05$ por el estrato de la hoja en el parámetro (b*).

Estrato	Medias	M
Alto	46.8414	A
Medio	35.9244	B

6.3. EXPERIMENTO EN INVERNADERO

6.3.1. Análisis de varianza de las variables evaluadas

El análisis de varianza se realizó con el programa estadístico R studio para los parámetros L^* , a^* , b^* obtenidos de los muestreos realizados en invernadero. Los parámetros evaluados fueron la “fecha de los muestreos”, “el efecto de bloque” y el “tratamiento realizado a cada repetición”. Tras analizar los resultados se observó que no hubo diferencias en las variables de efecto de bloque y tratamientos por fertilización, no obstante en lo que refiere a las fechas de muestreo se encontraron diferencias significativas con $Pr (>F)$ en los parámetros $L^*=5.56e-06$, $a^*=0.0383$, $b^*=0.00605$. Estas diferencias que hay en los parámetros se deben a lo ya explicado anteriormente con los resultados de la evaluación de campo.

La Figura 14 muestra el análisis realizado al parámetro L^* con la comparación de medias en fecha de muestreo que existe en el reflejo de la luminosidad por cada fecha de muestreo, en el cual se observan diferencias $Pr (>F)$ $5.56e-06$ entre varias fechas; esto se debe a los cambios fisiológicos en el crecimiento del cultivo, el cual se registró en cada muestreo que se realizó.

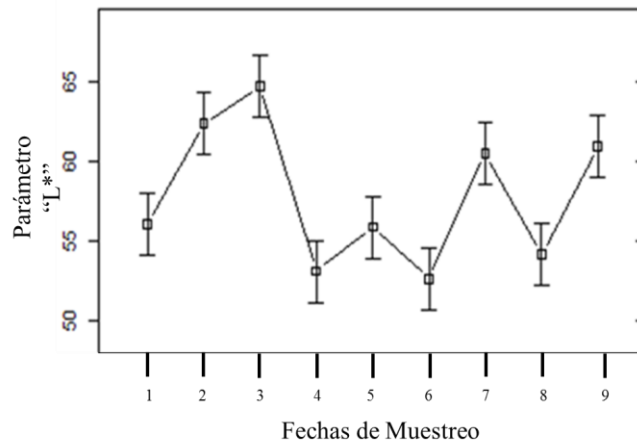


Figura 14. Comparación del parámetro L^* , con las variables fecha.

En la figura 15 se muestra la comparación de medias realizada al parámetro “a*” rojo-verde con las variables fecha de muestreo. Los resultados que se observan es que existe diferencia con una $Pr(>F) 0.0383$ en las fechas de muestreo, caso contrario con el efecto de bloque y tratamiento los cuales no hay diferencia estadística en su comparación de medias.

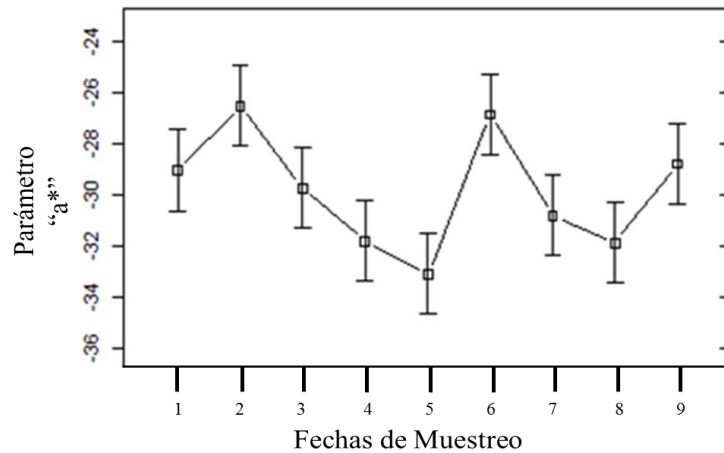


Figura 15. Comparación del parámetro rojo (+)/verde (-) parámetro (a*) con las variables fecha, bloque y tratamiento.

Por último la figura 16 muestra la comparación de medias del parámetro de color “b*” amarillo-azul en comparación de las fechas de muestreo, el cual da como resultado una diferencia significativa $Pr(>F) 0.00605$. Estos resultados en los que existe una diferencia de medias y en las variables en las que no hubo, es por lo que ya mencionado, las condiciones en las que se realizó este experimento

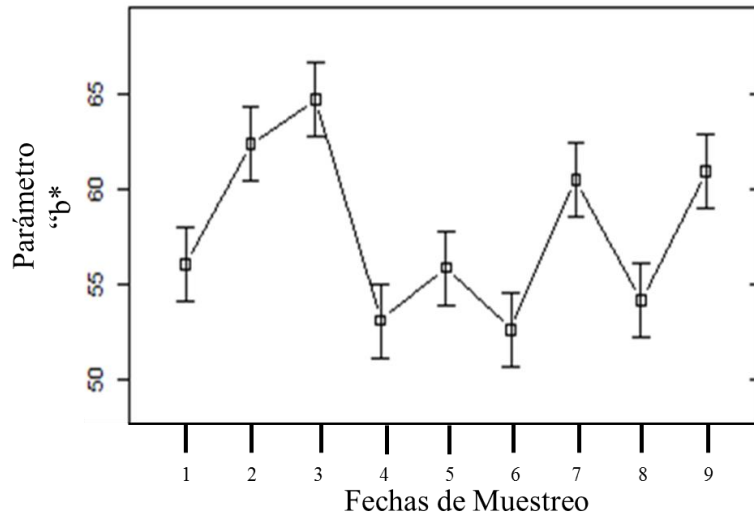


Figura 16. Comparación del parámetro amarillo (+)/azul (-) parámetro (b^*) con las variables.

En lo que respecta a la variable de efecto de bloque no existió diferencia en los resultados, ya que el experimento se realizó dentro de un invernadero, por ende se controlaron variables como temperatura, humedad relativa, radiación lumínica, etc. Por tal motivo al evaluarse los bloques y sus repeticiones con L^* , a^* , b^* no hubo diferencia entre los resultados.

6.3.2. Diferencias en el color de las hojas sanas y con daño

Se siguió la misma metodología usada en campo para obtener el color de las hojas en el experimento realizado en invernadero, con la única diferencia en la utilización de una sola cámara. A los datos recolectados al fotografiar hojas que presentaban daños y a hojas sanas, se obtuvo una media en el parámetro CIE (L^* , a^* , b^*). Los resultados se muestran en la Figura 17, en la cual se observa que los colores que presentan las hojas con daño tienen una mayor reducción de luminosidad, color verde y amarillo en los parámetros L^* , a^* , b^* . Esos cambios de color provocaron una mayor atracción de mosca pinta según lo observado.

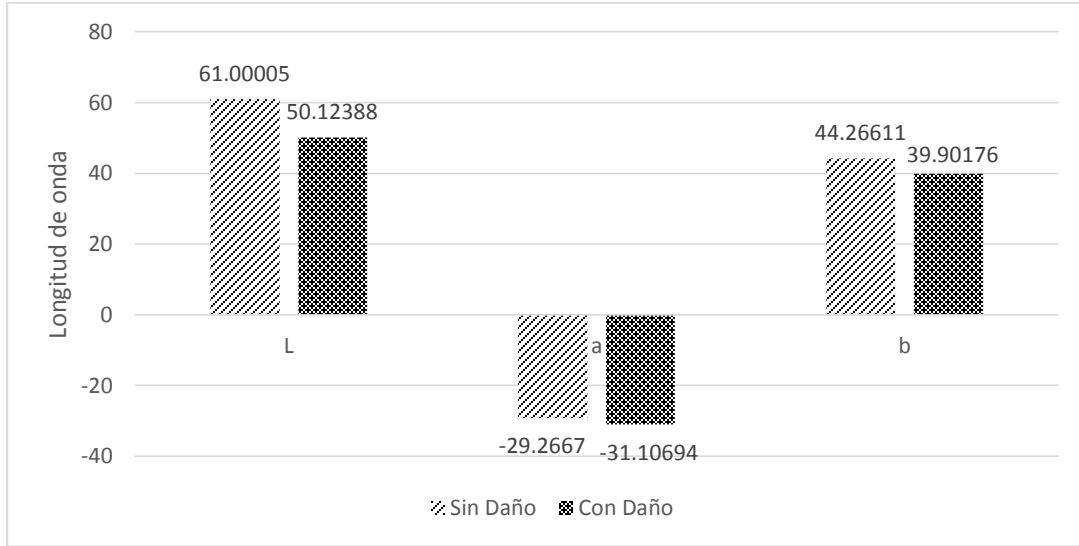


Figura 17. Diferencia en el color de las hojas sanas y con daño en parámetros L*, a*, b*.

Las medias de los colores obtenidos de los parámetros en L*, a*, b* fueron traducidos a longitudes de onda medida en nanómetros (nm) con una calculadora especial (Lindbloom, 2015) para medición de color en diferentes parámetros, esta aplicación es utilizada por la propia Comisión Internacional de la Iluminación. Los resultados como lo muestra la Figura 18, las hojas que no presentaron daño por la picadura de la mosca pinta exponen una longitud de onda más alta en comparación a las hojas que presentaron daño en cuyo caso la longitud de onda es considerablemente menor, estadísticamente hay una diferencia significativa entre las longitudes de onda en hojas sanas y con presencia de daño, según la $Pr (>F) 3.2310^7$.

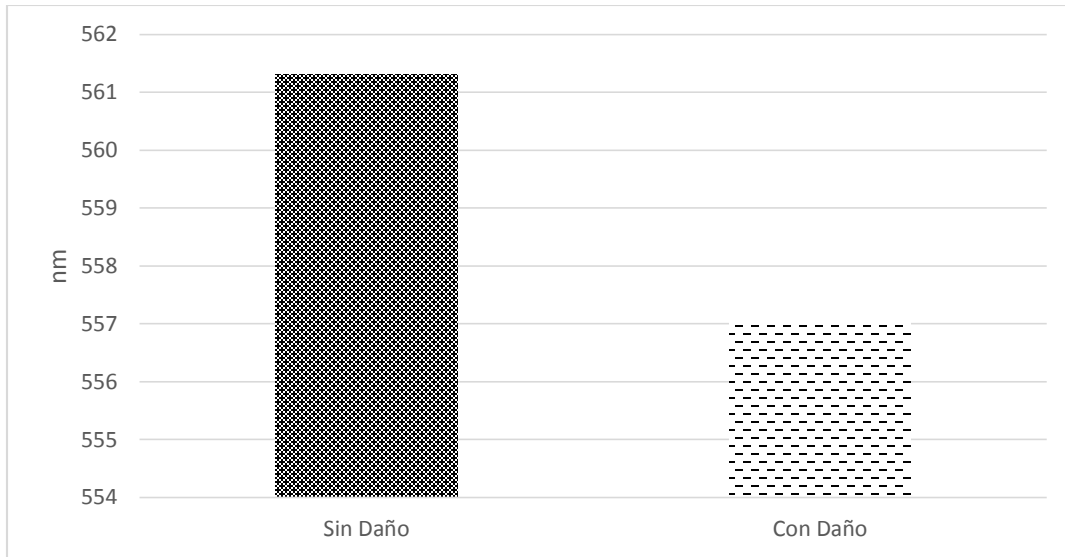


Figura 18. Media en longitud de onda (nm) en hojas sanas y con daño.

6.3.3. Nutrición de las hojas de caña de azúcar

La existencia de nutrientes en el suelo no garantiza la disponibilidad en cantidades suficientes para las plantas, debido a que diversos factores, tales como las características físicas del suelo, la extensión del sistema radicular y el potencial hídrico de los pelos radiculares pueden influenciar su absorción (Reichardt y Timm, 2004).

Las plantas tienden a responder de forma morfológica y fisiológica a las condiciones ambientales en las que se desarrollan (Townsend y Hanover, 1972), modificando la velocidad de crecimiento, la producción de estructuras secundarias y la cantidad de pigmentos entre otras características. La clorofila, responsable de la fotosíntesis en que la energía lumínica es transformada en energía química por plantas, algas y algunas bacterias (Vermaas, 1998), se considera una medida indirecta del estado nutricional de la planta, que por la estrecha relación con el nitrógeno total de las hojas, se ha utilizado como un buen estimador de la condición del dosel en bosques de coníferas (Zarco *et al.*, 2004).

La caña de azúcar es un cultivo de alta producción de biomasa (Wiedefeld, 2000), sus hojas contienen diversos nutrientes esenciales para el crecimiento del cultivo. Las funciones de estos nutrientes varían en su propósito, en el caso del hierro, el cultivo responde bien en términos de crecimiento, rendimiento y calidad (Rakkiyappan *et al.*, 2002; Pawar *et al.*, 2003) y se ha encontrado que su aplicación incrementa significativamente la longitud de los tallos y la producción de sacarosa (Marschner, 1995). El cobre (Cu) desempeña un papel fundamental en los procesos de fotosíntesis, respiración, y lignificación (Anderson y Bowen, 1994; Kirkby y Römheld, 2007); y su uso en la caña de azúcar se ha correlacionado positivamente con la longitud del tallo y el número de entrenudos (Oad *et al.*, 2002). El zinc (Zn) en cambio es un activador de enzimas involucradas en la división celular, metabolismo de los ácidos nucleicos, síntesis de proteínas y de reguladores de crecimiento (Anderson y Bowen, 1994; Kirkby y Römheld, 2007) y su aplicación en el cultivo de caña aumenta el número de brotes y tallos e incrementa el rendimiento y el porcentaje de sacarosa en el jugo (Singh *et al.*, 2002; Panhwar *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2005). El manganeso (Mn) participa en el transporte de electrones y en el sistema de evolución de oxígeno durante el proceso fotosintético (Anderson y Bowen, 1994; Kirkby y Römheld, 2007); sus aplicaciones mejoran marcadamente en el amacollamiento, diámetro del tallo y, número y longitud de los entrenudos (Oad *et al.*, 2002; Singh *et al.*, 2002; Pawar *et al.*, 2003). El boro (B) es un nutriente involucrado en el transporte de azúcares, síntesis de proteínas y estructuración de las paredes celulares (Anderson y Bowen, 1994; Kirkby y Römheld, 2007), y se ha reportado el aumento del contenido de sacarosa en el jugo luego de su aplicación en caña de azúcar (Sharma *et al.*, 2002). El molibdeno (Mo) juega un papel fundamental en el metabolismo del nitrógeno (Anderson y Bowen, 1994; Kirkby y Römheld, 2007; Ping *et al.*, 2007), y su aplicación mejora la asimilación del nitrógeno (N) por la planta (Ping *et al.*, 2007). Las Figuras 19 y 20 muestran los resultados del análisis nutrimental de

macro y micronutrientes realizados a hojas con y sin daño por mosca pinta. Los resultados en ambos casos son similares sin embargo en las hojas que presentaron daño de mosca pinta hay deficiencia de potasio (K) en comparación con las hojas sin daño.

El que la mosca se haya alimentado de hojas que presentaban deficiencia en K, podría deberse a que son las hojas jóvenes y de color verde oscuro comparadas con las hojas viejas (amarillentas).

Las plantas de caña de azúcar que sufren deficiencia de potasio muestran una depresión del crecimiento, tallos más delgados. Es clásico observar un amarillamiento y desarrollo de marchitez en los márgenes de las hojas maduras y viejas de la parte de abajo de la planta lo que ocasiona que la hoja muera prematuramente (Humbert, 1977).

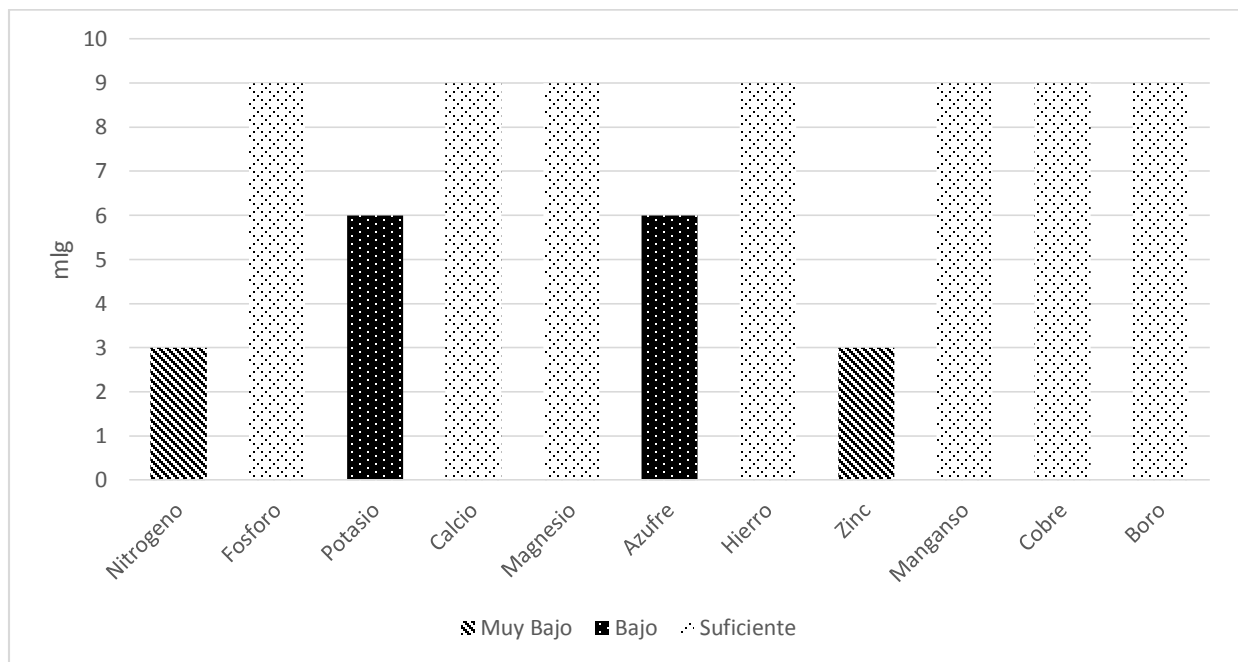


Figura 19. Análisis nutrimental de macro y micro nutrientes con presencia de daño de mosca pinta en hojas de caña.

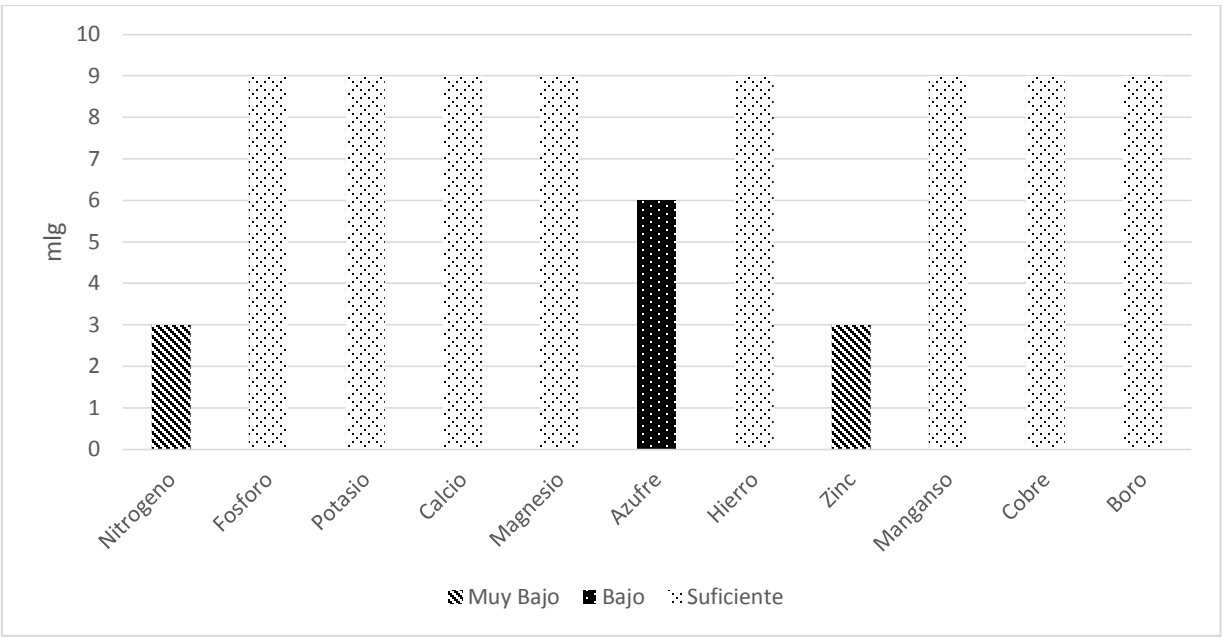


Figura 20. Análisis nutrimental de macro y micro nutrientes sin presencia de daño de mosca pinta en hojas de caña.

6.4. ESCALAS DE COLOR EN HOJAS SANAS Y CON DAÑO POR MOSCA PINTA

Al analizar los resultados de las evaluaciones realizadas en campo e invernadero se encontraron las siguientes tonalidades representadas en longitudes de onda que podrían atraer o repeler ataques de mosca pinta, en hojas con daño y sin daño de este insecto.

La figura 25 muestra la concentración de clorofila medida en unidades SPAD. Los colores obtenidos son de hojas en las cuales había presencia de mosca pinta o evidencia de daño de la misma. La tonalidad en los colores varía uno de otro sin embargo esto se debe a la influencia que ejerce el parámetro de luminosidad (L), en el contraste de las hojas de caña al momento que fueron foto-

grafiadas las hojas. En el estrato alto se obtuvo una longitud de onda entre 556 a 558nm, en comparación del estrato medio que tiene una longitud de onda entre 546 a 555 nm lo cual es notablemente menor,

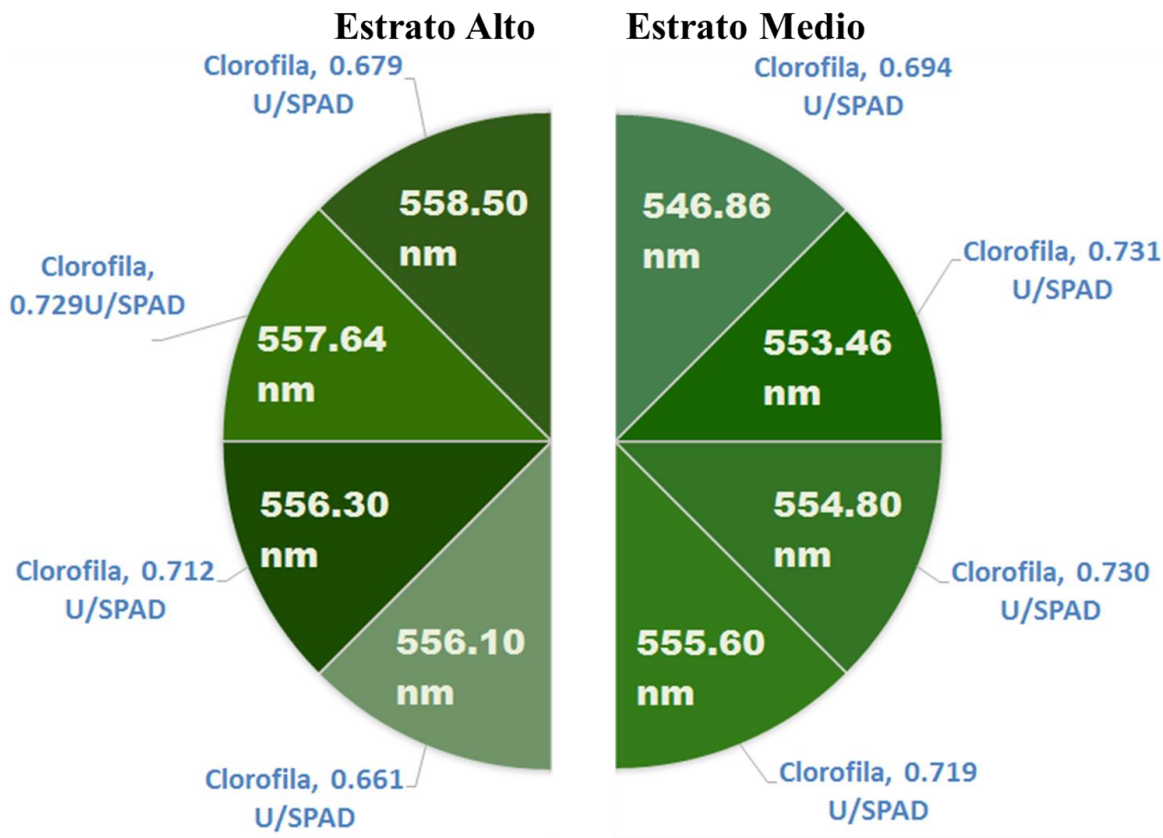


Figura 21. Color obtenido con el programa Color PixLab® y la concentración de clorofila Minolta SPAD®. Color de hojas con presencia de daño o mosca pinta.

En la figura 26 se puede observar la tonalidad de las hojas en las cuales no hubo ataque o daño (hojas sanas) ocasionado por mosca pinta, la concentración de clorofila en hojas del estrato alto tuvo una longitud de onda entre 562 a 565nm y el estrato medio de 560 a 562nm.

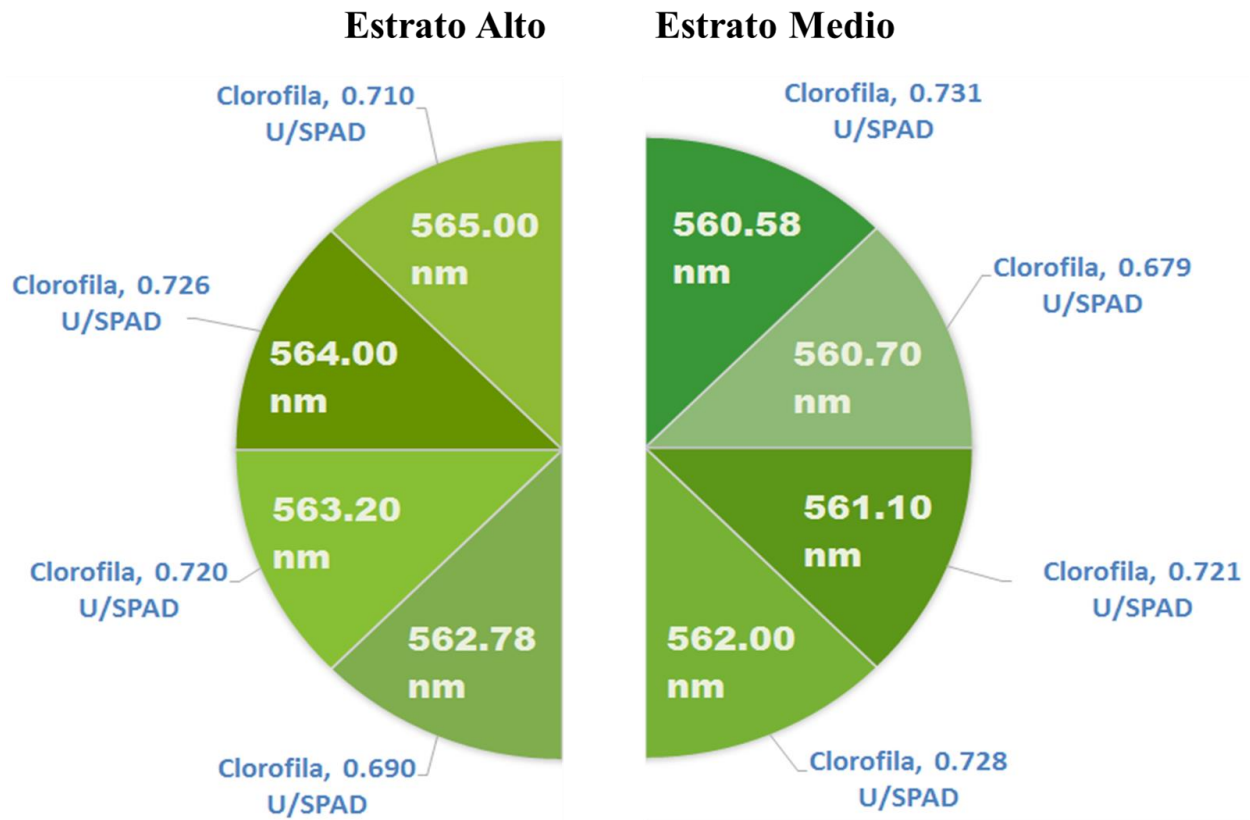


Figura 22. Color obtenido con el programa Color PixLab® y la concentración de clorofila Minolta SPAD®. Color en hojas sanas sin daño de mosca pinta.

Al ver los resultados mostrados por las figuras 25 y 26 se puede notar la diferencia de color en las hojas que presentaron daño. La longitud de onda mostrada en las hojas con daño es evidentemente más alta y se muestra el color que genera. La concentración de clorofila no difiere en el color en este caso, ya que las hojas con y sin daño tienen aproximadamente la misma cantidad de clorofila, aquí lo que hace la diferencia en el color de las hojas son los otros pigmentos que reaccionan químicamente a los diferentes factores ambientales, así como también la senescencia o juventud de las hojas.

6.5. RESPUESTA DE PRODUCTORES A LA ENCUESTA

Se aplicó un cuestionario (Anexo 1) a los productores de caña de azúcar que abastecen al Ingenio Potrero, los productores fueron seleccionados al azar en las instalaciones de las oficinas del Ingenio Potrero, el 90% de los entrevistados fueron hombres y el 10% mujeres. A continuación se presentan las respuestas dadas por los productores cañeros.

6.5.1. Variedades de caña de azúcar

De las variedades de caña de azúcar que más utilizan los productores el 40% respondió que utilizan la Mex 69-290, el 31% la CP 72 20-86 y el 29% restante la Mex 79-421.

Al preguntarles a los productores ¿Por qué utilizan estas variedades? El 46% respondió por su tamaño y rendimiento, 16% porque es una variedad tardía (en el caso de la CP 72 20-86), el 10% por su macollamiento, el 10% por su resistencia a plagas y enfermedades; y el 18% restante comentaron que la eligieron por su color, por ser variedad precoz y son resistentes a las altas temperaturas.

6.5.2. Aplicación de fertilizante

Se les preguntó a los productores el tipo de fertilizante que emplean para sus cultivos, que dosis empleaban y con qué frecuencia lo aplicaban, el 100% utiliza Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), en lo que refiere a las dosis de 50 kg X ha, el 60% utiliza el Triple 16 (T16), el 26% T17 y el 14% utiliza T16+ Urea. En lo que refiere a la frecuencia con que aplican fertilizante el 87% aplican dos veces al año y el 13% de los entrevistados lo aplican tres veces al año.

6.5.3. Combate de la mosca pinta por el productor

A los productores encuestados se les preguntó si conocían la mosca pinta, el 100% respondió que si la conocían, por lo que se procedió a preguntarles de que manera la identifican dentro de sus

parcelas, el 21% de los encuestados mencionó que conocían la forma y color del insecto, el 16% comentaron que al ver daño que provoca en las hojas de caña, el 8% restante comentó que al notar una baja en el rendimiento era por causa de la mosca pinta.

Se les preguntó si consideraban a la mosca pinta como una plaga importante, y solo el 9% de los encuestados la consideran como un problema que afecta al cultivo, el 14% de los productores no han tenido problemas con la mosca pinta los últimos cinco años y el 77% no creen que sea un problema por la ayuda y acciones tomadas por parte del Ingenio Potrero.

6.5.4. Comportamiento de la mosca pinta en el cultivo de caña

Con la experiencia que tienen los productores en el cultivo de caña de azúcar, se les pregunto lo que consideraban que influía en la mosca pinta al seleccionar parcelas para alimentarse, el 38% piensa que es por la variedad de la caña y su nutrición, el 24% mencionó que es el mal manejo por parte de los productores en sus terrenos lo que provoca el aumento de la población de mosca, el 18% considera que la edad de la caña es lo que atrae a la mosca, el 10% piensa que la lluvia provoca la migración de la mosca de un punto a otro, 6% de los encuestados consideran que son atraídas por el olor que despide la planta y solo el 4% piensa que la temperatura de la parcela influye en la atracción de la mosca pinta.

Como parte complementaria a esta tesis ya que se busca identificar la longitud de onda que emiten las hojas de caña de azúcar que atrae a la mosca pinta, se preguntó a los encuestados si consideran a el color que emiten las hojas como un atrayente de mosca pinta, solo el 11% piensa que es posible que sean atraídas por el color del cultivo.

6.5.5. Acciones utilizadas por los productores para el combate de la mosca pinta

Se preguntó a los productores las acciones tomadas para combatir a la mosca pinta, el 51% utiliza productos químicos, el 19% no realiza actividad alguna, el 20% tiene control de basura y malezas en sus terrenos, el 8% utiliza la rastra fitosanitaria y trampas de color, por último el 2% hace drenes.

De los insecticidas empleados por los productores el 36% utiliza Cipermetrina, el 17% Imidacloprid, 14% utiliza Clorpirifos y el 7% Jade. El 26 % de los productores que restan, no utilizan productos químicos para el control de la mosca pinta, utilizan el hongo entomopatógeno *Metarhizium*, como parte de una nueva cultura de protección ambiental y de insectos benéficos.

Por último se preguntó a los productores si consideran que las trampas de colores son efectivas para reducir la población de mosca pinta, el 83% piensa que no son efectivas y el 17% piensa que sí. ¿Si existieran trampas para mosca pinta que sean eficientes y selectivas las utilizarían?, el 100% de los productores encuestados contestó “sí” a la pregunta. En general los productores solo utilizan las trampas verdes como referencia en el monitoreo del crecimiento poblacional de mosca pinta, y no consideran que las trampas realicen un control de la plaga en el cultivo.

6.5.6. Segundo muestreo evaluación parcelas de productores

Se tomaron datos con el medidor SPAD y fotografías para evaluar la concentración de clorofila y medir la longitud de onda generada por las hojas de caña de azúcar con daño y sin daño, en diferentes terrenos pertenecientes a los productores entrevistados que abastecen al Ingenio el Potrero.

6.5.6.1. Medidor de clorofila SPAD

El Cuadro 8 muestra los resultados obtenidos en las dos variables estudiadas, la concentración de clorofila es muy diferente entre las variedades evaluadas. En relación al estado de daño en la hoja

el resultado fue altamente significativo, ya que la concentración de clorofila en hojas que presentaron daño es diferente a la de hojas que no tenían lesiones ocasionadas por la picadura de la mosca pinta. Este resultado es constante con los resultados obtenidos en los estudios realizados anteriormente en el Campo de experimentación del ingenio y el estudio en invernadero. Por último la comparación de las dos variables fue significativa, ya que las diferencias entre las variedades cambian el comportamiento y hábitos de alimentación de la mosca pinta algunas variedades presentaban más daño que otras.

Cuadro 8. Análisis de Varianza de los resultados del medidor SPAD y variables estudiadas en terrenos de productores.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Variedad	4	14709	3677	9.626	1.67e-06 ***
Estado	1	14703	14703	38.489	1.75e-08 ***
Variedad:Estado	4	4369	1092	2.859	0.028 *
Residuales	88	33617	382		

6.5.6.2. Medición de L

Se utilizó el mismo procedimiento de análisis de los datos del medidor SPAD, en este caso se compararon las variables con el parámetro de luminosidad “L*”, el desarrollo de este apartado se realizó con la metodología aplicada a todos los estudios de esta tesis descrita anteriormente en la sección de materiales y métodos. La Cuadro 9 muestra que existe una diferencia significativa entre las variedades y la luminosidad que reflejan las hojas, pero no existe diferencia en el estado de las hojas (con y sin daño), como tampoco hay diferencia estadística en la interacción de las dos variables.

Cuadro 9. Análisis de Varianza con el parámetro de Luminosidad L* en terrenos de productores del Ingenio Potrero.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	Pr(>F)
Variedad	4	337.3	84.32	3.097	0.0195 *
Estado	1	36.7	36.66	1.347	0.2490
Variedad:Estado	4	121.8	30.45	1.119	0.3529
Residuales	88	2395.7	27.22		

6.5.6.3. Medición de a*

Como lo muestra la Cuadro 10 los resultados obtenidos entre las variables en comparación del parámetro a* son altamente significativas. Las variedades presentaron diferencias y puede deberse al color por el contenido de los diferentes pigmentos y reacciones químicas mencionadas con anterioridad. La variable estado es altamente significativa, esto es, las hojas con daño por mosca pinta tienen una saturación del parámetro a* más alto que el de las hojas que no presentan daño.

Cuadro 10. Análisis de Varianza entre las variable y el parámetro a* en terrenos de productores del Ingenio Potrero.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Variedad	4	196.9	49.2	3.372	0.0129 *
Estado	1	559.6	559.6	38.337	1.85e-08 ***
Variedad:Estado	4	612.4	153.1	10.489	5.40e-07 ***
Residuales	88	1284.5	14.6		

6.5.6.4. Medición de b

Los resultados mostrados en el Cuadro 11 son similares a los mostrados anteriormente con el parámetro a*. Muestra los resultados obtenidos en la comparación de medias de las variables estado y variedad. La saturación de b* es alta en hojas con presencia de lesiones provocadas por la picadura de la mosca pinta.

Cuadro 11. Comparación de variables con el parámetro b* en terrenos de productores del Ingenio Potrero.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Variedad	4	522	130.5	3.038	0.021398 *
Estado	1	548	548.4	12.761	0.000577 ***
Variedad:Estado	4	597	149.2	3.473	0.011069 *
Residuales	88	3782	43.0		

Los resultados obtenidos por el estudio realizado en terrenos a diferentes productores del ingenio potrero, resulto contradecir a los resultados obtenidos en los estudios previos de campo e invernadero, esto se debe a que este estudio se realizó a diferentes variedades de caña de azúcar y la edad de las plantas, sin embargo el mayor impacto que repercutió directamente a los resultados esperados, fueron las fechas en el que se realizó el monitoreo. Por motivo de la época de zafra programada en el Ingenio, la mayoría de caña había sido cosechada por lo que la cantidad de comida disponible, la quema agrícola y otras labores realizadas por los productores y personal del ingenio, redujo la población de mosca pinta. Por estas razones no se puede saber con este estudio si la mosca elegía las hojas por el color o solo se alimentaba al azar por la falta de alimento.

7. CONCLUSIONES

Tras comparar los resultados obtenidos en el muestro de campo en el Ingenio El Potrero y el estudio en invernadero, se puede concluir que la mosca pinta no selecciona las plantas para alimentarse con base en el contenido de clorofila presente en la hoja, por lo tanto no ejerce una influencia en la decisión del insecto para alimentarse de la misma. Como se observó los contenidos de clorofila son similares en hojas sanas y hojas con presencia de daño; sin embargo, el color de la hoja es diferente por lo que se puede deducir que el color genera una longitud de onda que atrae a la mosca pinta para alimentarse. El estudio muestra que las hojas de caña de azúcar que generan longitudes de onda menores a 560 nm son susceptibles al ataque del insecto provocando el daño en sus hojas. Estos cambios en el color de las hojas son provocados por diferentes factores como la luminosidad, temperatura, senescencia, variedad etc.; también está relacionado con los nutrientes como mostraron los resultados del análisis foliar, que pueden ser atraídas por una deficiencia de potasio en las

hojas. Todos estos factores que interactúan crean las condiciones necesarias para la inducción del insecto que afecta la economía de los productores de la caña de azúcar por las pérdidas en sacarosa, esto debido al daño celular que ocasiona las inserciones del estilete de los adultos de mosca pinta. En cuanto a los productores tras el análisis de sus respuestas, a muchos les preocupa el crecimiento poblacional de mosca pinta y otros creen que no es una plaga que afecte a sus cultivos, sin embargo todos están dispuestos a realizar las recomendaciones hechas por expertos y utilizar productos biológicos para controlar la plaga.

8. LITERATURA CITADA

Agencia a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA). 2010. Situación Actual de la Caña de Azúcar. Dirección de Estudios y Análisis de Mercados. 1-9. Disponible en la web: <http://www.aserca.gob.mx/sicsa/fichas/ficha33-Azucar201009.pdf>

Anderson, D., y Bowen, J. 1994. Nutrición de la Caña de Azúcar. Instituto de La Potasa y El Fósforo A.C. Quito Ecuador.

Armbruster, W.S., 2002. Can indirect selection and genetic context contribute to trait diversification? A transition-probability study of blossom-color evolution in two genera. *J. Evol. Biol.* 15:468–486 p.

Armida A. Octavio SG. Sergio, Gallardo. 2011. Socioeconomic and technological factors in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) agroecosystems production in Chontalpa, Tabasco. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 261-296.

Baeza, P. 1994. Caracterización ecofisiológica y evaluación agronómica de diferentes sistemas de conducción del viñedo (*Vitis vinífera* L.) en regadío. Tesis doctoral. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 209 p.

Barceló, J. Rodrigo, N. Sabater, B. y Sánchez, R. 1983. Fisiología Vegetal. Editorial Pirámide S. A. Madrid: 813 p.

Bautista G. A., y N. González C. 2005. Tres dosis de *Metarhizium anisopliae* sobre la mosca pinta (*Ae-neolamia* spp.) en caña de azúcar en la región de los ríos, estado de tabasco. *Universidad y ciencia* 21: 37-40.

Bayer. 2010. Soluciones: Mosca pinta. Bayer CropScience México.

Becht, G. 1974. Systems theory, the key to holism and reductionism. *Bioscience* 24(10): 579-596.

Bell, M. 1998. An invitation to environmental sociology. Pine Forge Press. Londres.

Beloff, B. and Beaver, E. 2000. Sustainability indicators and metrics of industrial performance. Paper SPE 60982. In: SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Stavanger. Noruega. 132 p.

Bennet, F. 1984. Discusión sobre las posibilidades de control biológico de la candelilla. In: II Seminario sobre los problemas de la Candelilla y el Taladrador en Caña de Azúcar y Pastos. Barquisimeto, Venezuela, 26, 27 y 28 de noviembre de 1984. 14 p.

Brink, B. 1991. The AMOEBA approach as a useful tool for establishing sustainable development. In: Kuik, O., Verbruggen, H. (Eds.). In search of indicators of sustainable development. Kluwer Academic Publishers. 34-68 p.

Brown LR. 1998. The future of growth. In: State of the World 1998. A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. New York: W. W. Norton & Company; p. 1-21.

Burger, H., Dötterl, S., Ayasse, M., 2010. Host-plant finding and recognition by visual and olfactory floral cues in an oligolectic bee. *Funct. Ecol.* 24:1234–1240 p.

Bustillo P., A.E. Castro V., U. 2011. El salivazo de la caña de azúcar *Aeneolamia varia* (F.) (Hemiptera: Cercopidae). Hábitos, biología y manejo de poblaciones. Cali, Cenicaña. 16 p. (Serie Divulgativa No.11)

Campbell, N. y Reece, J. 2005. *Biología*. Editorial Médica Panamericana S. A. Madrid: 1351 p
Chalker-Scott, L., 1999. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. *Photo-chem. Photobiol.* 70:1–9 p.

Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas de México: pasado, presente y futuro. Instituto de Biología, UNAM, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F.

Champagnol, F. 1984. *Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Ed. F. Champagnol. 351 pp.

Chittka, L., Raine, N.E., 2006. Recognition of flowers by pollinators. *Curr. Opin. Plant Biol.* 9:428–435 p.

Cisneros, F. 2010. Control Mecánico de Plagas. AgriFoodGateway.com. Disponible en la Web: <http://www.agrifoodgateway.com/sites/default/files/articles/control-mecanico-de-plagas.pdf>. Consultado el 07 de abril del 2014.

Clark, W. E. Ibarra Diaz, G. Van Cleave, H. s/f. Taxonomy and biology of spittlebugs of the genera *Aeneolamia* Fennah and *Prosapia* Fennah (Cercopidae) in northeastern México. 13 p.

Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Tabasco y México (CESVETAB). 2013. Manejo Fitosanitario de la Caña de Azúcar. Consultado en la Web el 17 de Marzo del 2014. Disponible en línea en la página: <http://cesvetab.com/acercade.php?cont=mfca>.

Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONEDASUCA). Tercer estimado de producción de caña de azúcar. 2015. Consultado en línea el 04 de abril del 2015. <http://conadesuca.gob.mx/documentos%20de%20interes/3ERESTIMADODEPRODUCCION201415.pdf>

Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). 2013. Methods for Re-defining CIE D Illuminants. Technical Reports and Guides. CIE 204:2013. Melbourne, Australia. p. 1-12.

Coronado, R.; Sosa, E. 1966. Campaña contra la mosca pinta de los pastos y la escama algodonosa. *Fitófilo Sec. Agr. Gan.* 50: 9-25

Departamento de química UNAM 2006 (en línea). Junio 2006, Agosto 2013. Disponible en la web: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Carbohidratos_1-5_1585.pdf.

Devine, J. Eza, D. Oigusuku, E. Furlong, J. 2008. Uso de insecticidas: Contexto y consecuencias ecológicas. *Rev Peru Med Exp Salud Pública.* 25: 74-100 p.

Devuyst, D., Hens, L. and Lannoy, W. 2001. How green is the city? Sustainability assessment and the management of urban environments. Columbia University Press. New York.

Dick, C.A., Buenrostro, J., Butler, T., Carlson, M.L., Kliebenstein, D.J., Whittall, J.B. 2011. Arctic mustard flower color polymorphism controlled by petal-specific downregulation at the threshold of the anthocyanin biosynthetic pathway. *PLoS One* 6, e18230. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0018230>.

Dötterl, S., Milchreit, K., Schäffler, I., 2011. Behavioural plasticity and sex differences in host finding of a specialized bee species. *J. Comp. Physiol. A* 197:1119–1126 p.

EHOW en español (En línea). Septiembre 2012, Marzo 2014. Disponible en la web: http://www.ehowenespanol.com/luces-simulan-luz-del-dia-info_189979/#pg=1

Ehrlich PR. 1968. A dramatic example of this effect is given in R. Payne's analysis of the whale fisheries [N.Y. Zool. Soc. Newsl.

Elliot, E.T. and Cole C.V. 1989. A perspective on agroecosystem science. *Ecology* 70 (6): 1597-1602.

Ferrer, A. 2003. Intoxicación por plaguicidas. *ANALES Sis San Navarra* 26 (Supl. 1): 155-171.

Fertilab. 2014. Manual de Muestreo Suelo, Planta, Agua. 3era. Edición. Disponible en la web <http://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/Analisis-Foliar.php>. Consultado en Noviembre del 2014.

Flores. 1994. Las plagas de la caña de azúcar en México ed. Las plagas de la caña de azúcar en México: 350 p.

Frey, F.M., 2004. Opposing natural selection herbivores and pathogens may maintain floral-color variation in *Claytonia virginica*. *Evolution* 58:2426–2437 p.

Fuji Films 2012. (En línea) FUJIFILM Holdings America Corporation. USA. Consultado el día 13 de enero del 2014. http://es.fujifilmusa.com/products/digital_cameras.

Gallegos G. P. 1997. Estrategia para el Desarrollo e Implementación del Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIP). Memorias del curso: “Manejo integrado de las principales plagas y enfermedades del cultivo de papa”. Departamento Nacional de Protección Vegetal. Junio 3 al 5 de 1997. Quito Ecuador.

García, M.P. 2012. Iluminación en el puesto de trabajo criterio para su evaluación y acondicionamiento. Ministerio de empleo y seguridad social. España: 1-39 p.

Georghiou, G. P., y Lagunés, A. 1991. The Occurrence of Resistance to Pesticides in Arthropods. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 287 p.

Gökmen, V. 2006. Computer vision based analysis of potato chips. A tool for rapid detection of acrylamide level. Food Chemistry 56: 805-810 p.

Gökmen, V. 2007. Computer vision based image analysis of the estimation of acrylamide concentrations of potato chips and french fries. Química de la Comida. Turquía. 791-798 p.

González Sotero, J. 2006. Fundamentos Fisiológicos de la percepción del Color. Revista Médica de la Facultad cubana de Oftalmología 2:1.

Grodan. 2011. Limpieza del invernadero, preparación para el nuevo cultivo. Consultado en línea el 19 de marzo del 2015. <http://www.grodan.com/files/Grodan/Marketing%20material/TandS/Preparing%20for%20a%20new%20crop/ES/1-3%20Limpieza%20del%20invernadero.pdf>

Harborne, J.B., Williams, C.A., 2000. Advances in flavonoid research since 1992. Phytochemistry 55, 481–504 p.

Hernández, J. V. Flores, S. 1956. The biology and control of *Aeneolamia postica* (Walk). Proc. Congr. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 9. India, 821-836 p.

Hernández, R. F., y K. A. Figueroa R. 2011. Barrenador (*Diatraea saccharalis*) y mosca pinta (*Aeneolamia* spp. *Prosapia* spp.) en caña de azúcar y sus enemigos naturales. Agroproductividad 3: 3-8 p.

Hernández, R.F. (2013) Diseño de un programa contemporáneo de manejo integrado de mosca pinta en caña de azúcar. Estrategias de investigación y transferencia de tecnología para el Manejo Integrado de la Mosca Pinta. Convención CNPR. Guadalajara Jalisco.

Hering, E. 1882. Zur Lehre vom Lichtsinne, Trad, en parte en W. S. Sahakian (ed.), History of psychology: A source book in systematic psychology. Itasca, IL: F. E. Peacock, 1968. 144-148 p.

Humbert, R.P. 1977. Sugarcane. In: diagnosis and correction of potassium deficiency in major tropical crops. Second D.E. The Potash and Phosphate Institute, S.E. Asia Program.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Consultado en la Web el 07 de Julio del 2015. Disponible en línea en la página: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?src=487&e=30>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2015. Producto interno bruto a precios corrientes cifras durante el cuarto trimestre del 2014. Consultado en línea el 04 de abril del 2015. http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/notasinformativas/pib_prececr/NI-PIBCR.pdf.

Instituto Nacional de Salud. 2010. Subdirección de Vigilancia y Control en Salud Pública Protocolo de vigilancia y control de Intoxicación aguda por plaguicidas. Bogotá, Colombia PRO-R02.003.0000.014. 1-46 p.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2015. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Consultado en la Web el 07 de Julio del 2015. Disponible en línea en la página: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM30veracruz/municipios/30021a.html>.

Jiménez H, L. 2001. Desarrollo sostenible y economía ecológica. Integración medio ambiente, desarrollo y economía-ecología. Ediciones Síntesis. Madrid, España.

Kasperson, R., Mabogunje, A., Matson, P. and Mooney, H. 2001. Sustainability science. *Science*, 292: 641-642 p.

Kates, R., Clark, W., Corell, R., Hall, M., Jaeger, C., Lowe, I., McCarthy, J., Schellnhuber, H., Bolin, B., Dickson, N., Faucheux, S., Gallopin, G., Grubler, A., Huntley, B., Jager, J., Jodha, N., Kasperson, R.E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore, B., O'Riordan, T. III., Svedin, U. 2001. Sustainability Science. *Policy Forum: Environment and Development. New Series, Vol. 292, No. 5517.* 641-642 p.

Kirkby, E. y V. Römheld. 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. *Proceedings 543. The International Fertilizer Society. York, UK.* 1-51 p.

Krugh, B., L. Bichham and D. Miles. 1994. The solid-state chlorophyll meter, a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. *Maize genetics cooperation. News Letter 68:25-27 p.*

Lagunes Tejeda, A. Concepción, J. Rodríguez Maciel, J. C. De Loera Baroci. 2008. Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de artrópodos de México. *Colegio de Postgraduados Campus*

Montecillo. Entomología y Acarología, Publicado como ensayo en Agrociencia en 2009. 43: 173-1 p.

Larcher, W. 2003. Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Springer. 4th Edition. 355-346 p.

Legaz, L., Serna, M.D., Ferrer, P., Cebolla, V., Primo, M.P. 1995. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Servicio de Transferencia de Tecnología Agraria (STTA). 1-26 p.

Lindbloom, B. 2015. CIE Color Calculator. Disponible en la Web: <http://www.brucelindbloom.com/>. Consultado 09 de Junio del 2015.

Lissarrague, J.R. Baeza-Trujillo, P. Ruiz-García, C. Sánchez-de-Miguel, P. Sotéz-Ruiz, V. 2010. Respuesta Fotosintética de la Vid.

López C, J. y Pérez A, W. 2012. Hoja Técnica de la Caña de Azúcar. Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Fundación Produce Veracruz y SAGARPA. Consultado en Línea el 11 de septiembre del 2015. Disponible en la Web en <https://sites.google.com/site/moscapinta/hoja-tecnica>.

Majetic, C.J., Raguso, R.A., Tonsor, S.J., Ashman, T.-L., 2007. Flower color-flower scent associations in polymorphic *Hesperis matronalis* (Brassicaceae). *Phytochemistry*. 68:865–874 p.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, New York.

Milet, P., Ayasse, M., Schindwein, C., Dobson, H.E.M., Dötterl, S., 2012. Host location by visual and olfactory floral cues in an oligolectic bee: innate and learned behavior. *Behav Ecol* 23, 531–538 p.

Moreno, C. González B, A. Blanco S, M. 2004. Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación. *Rev Iberoam Micol* 2004; 21: 103-120 p.

Monje, A, L. 2008. Gabinete de fotografía científica. Introducción a la fotografía científica. Consultado en línea. 13 de agosto del 2015. Disponible en la web: http://foto.difo.uah.es/curso/objetivo_e_imagenes.html

Ness, B., Urbel Piirsalu, E., Anderberg, S. and Olsson, L. 2007. Survey: Categorizing tools for sustain-ability assessment. *Ecol. Econ.*, 60: 498-508.

Nocek, J.E., and J.B. Russel. 1988. Protein and Energy as an Integrated System. Relationship of Rumi-nal Protein and Carbohydrate Availability to Microbial Synthesis and Milk Production. *J. Dairy Sci* 71:2070-2107 p.

Oad, F., G. Jamro, A. Lakho y G. Chandio. 2002. Correlation of growth traits and yield of sugarcane with micronutrients. *Pak. J. Applied Sci.* 2 (7): 735-738 p.

Odum, 1983. *Basic Ecology*. Saunders. Philadelphia.388 p.

Oomen, P. A. 1975. A population study of the spittle bugs *Aeneolamia occidentalis* (Walk) and *Prosa-pia simulans* (Walk) (Homoptera: Cercopidae) in Mexican Pangola pastures. *Z. ang. Ent.* 79: 225-238 p.

Organismos de Fiscalización Superior del Estado de Veracruz (Orfis). 2014. H. Ayuntamiento de Atoyac, Veracruz. Plan municipal de desarrollo 2014-2017. Consultado en la Web el 07 de Julio del 2015. Disponible en línea en la página: http://www.orfis.gob.mx/planes-municipales-14-17/020_PM.pdf

Panhwar, R., H. Keerio y Y. Memon. 2003. Response of Thatta-10 sugarcane variety to soil and foliar application of zinc sulphate ($ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$) under half and full doses of NPK fertilizer. *Pak. J. Applied Sci.* 3 (4): 266-269 p.

Papadakis, S. E., Abdul-Malek, S., Kamdem, R. E., & Yam, K. L. (2000). A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods. *Food Technology*, 54 (12), 48–51 p.

Pawar, M., S. Joshi y V. Amodkar. 2003. Effect of foliar application of phosphorus and micronutrients on enzyme activities and juice quality in sugar cane. *Sugar Tech.* 5(3): 161-165 p.

Pimentel, D. 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Enviro Dev. Sustainability* 7: 229-252 p.

Ping, W., L. Rui y Y. Tao. 2007. Effects of molybdenum on nitrogen metabolism of sugarcane. *Sugar Tech.* 9(1): 36-42 p.

Plapp F.W. Wang T.C. 1983. Genetic origins of insecticide resistance. In: Georghiou G P, and Saito T, eds. *Pest resistance to pesticides*. New York: Plenum Press. 47-70 p.

Popp, J., Hoag, D. and Hyatt, E. 2001. Sustainability indices with multiple objectives. *Indicadores Eco-lógicos Ecol. Indicators*, 1: 37-47 p.

Raguso, R.A., Willis, M.A., 2002. Synergy between visual and olfactory cues in nectar feeding by naive hawkmoths, *Manduca sexta*. *Anim. Behav.* 64:685–695 p.

Raguso, R.A., Willis, M.A., 2005. Synergy between visual and olfactory cues in nectar feeding by wild hawkmoths, *Manduca sexta*. *Anim. Behav.* 69:407–418 p.

Rakkiyappan, P., S. Thangavelu y R. Radhamani. 2002. Effect of ferrous sulphate on sugarcane varieties grown in iron deficient soil. *Sugar Tech* 4 (1&2): 33-37 p.

Rang, H. M. Dale, M. 2004. *Farmacología*. 5 ed. Madrid: E. Elsevier: 885 p.

Reichardt, K., e L.C. Timm. 2004. *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. Manole, Barueri, Sao Paulo, Brasil. 478 p.

Ruiz, O. 1995. Agroecosistema. Término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sis-témico. In: *Seminario Internacional de Agroecología*. UACH. Estado de México. pp. 29-31 p.

Salisbury, F. y ROSS, C. 1994. *Fisiología vegetal*. Editora Iberoamérica, México. 759 p.

Sánchez de Miguel, A., Pindado, J. and De la Torre, C. (2004) Ownership Structure and Firm Value: New Evidence from Spain, *Strategic Management Journal*, 25, 1199–1207 p.

Schemske, D.W., Bierzychudek, P., 2001. Perspective: evolution of flower color in the desert annual *Linanthus parryae*: Wright revisited. *Evolution* 55:1269–1282 p.

Schultz, H. R. Kiefer, W. y Gruppe W. (1996). "Photosynthetic duration, carboxylation efficiency and stomatal limitation of sun and shade leaves of different ages in field-grown grapevine (*Vitis vinifera* L.)." *Vitis* 35(4): 169-176 p.

Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012a (en línea). Caña de Azúcar. SIAP. Disponible en la web: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=117&Itemid=83

Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012b. Manejo integrado de plagas. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación. 12 p.

Selfa, J., y J. L. Anento. 1997. "Plagas Agrícolas Forestales." Vol. S.E.A 20: 75-91 p.

Sharma, B., A. Kumar, P. Singh, R. Singh y S. Singh. 2002. Micronutrient fertilization in sugarcane: effect of zinc and boron in calcareous soil. *Indian Sugar* 52 (6): 439-443 p.

Shelly, K., D. Holland & J. Beardall. 2011. Assessing nutrient status of microalgae using chlorophyll-a fluorescence. In: D.J. Suggett, O. Prášil & M.A. Borowitzka (eds.). *Chlorophyll-a fluorescence in aquatic sciences: methods and applications*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 223-235 p.

Silva Garza, M. Gámez González, H. Zavala García, F. Cuevas Hernández, B. Rojas Garcidueña, M. 2001. Efecto de cuatro fitoreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol. *CIEN-CIA UANL* 5:1. 69-75 p.

Singh, A., A. Gupta, R. Srivastava, K. Lal y S. Singh. 2002. Response of zinc and manganese to sugarcane. *Sugar Tech.* 4 (1&2): 74-76 p.

Singh, R.K., Murty, H.R., Gupta, S.K. and Dikshit, A.K. 2009. An overview of sustainability assessment methodologies. *Indicadores Ecológicos.*, 9: 189-212 p.

Sistemas de Conducción del Viñedo (*Vitis vinífera* L.) en regadío. Tesis doctoral. Depto. de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 220 p.

Solarte, M.A. Moreno, L. Melgarejo, L.M. 2008. Fotosíntesis y Pigmentos Vegetales. Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal. Departamento de biología. Universidad Nacional de Colombia. 117-122 p.

Solbrig, O.T. 1999. Observaciones sobre biodiversidad y desarrollo agrícola. 29-40. En: Matteucci, S.D.; Solbrig, O.T.; Morello, J.H.; Halffter, G. (Eds.) *Biodiversidad y Uso de la Tierra*. EUDEBA, Co-lección CEA (24):1-580 p.

Soriano, A. 1998 *El Agroecosistema*. Apuntes de Ecología. Departamento de Ecología. Facultad de Agro-nomía. UBA.

Summy, K. R., and J. V. French. 1988. Biological control of agricultural pests: Concepts every producer should understand. *J. Rio Grande Hort. Soc.* 41: 119-133 p.

Tanaka, Y., Brugliera, F., Kalc, G., Senior, M., Dyson, B., Nakamura, N., Katsumoto, Y., Chandler, S., 2010. Flower color modification by engineering of the flavonoid biosynthetic pathway: practical perspectives. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 74:1760–1769 p.

Tanaka, Y., Sasaki, N., Ohmiya, A., 2008. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *Plant J.* 54:733–749 p.

Townsend, A.M. y Hanover, J.W. 1972. Altitudinal variation in photosynthesis, growth, and monoterpenes composition of western white pine (*Pinus monticola* Dougl.) seedlings. *Silvae Genetica* 21(3–4): 133–139 p.

Velasco, P. H.; Sifuentes, J.A. 1970. Investigaciones sobre la mosca pinta de los pastos en el Sureste de México. INIA-SAG, México. 109 p

Vermaas, F.W. 1998. An introduction to photosynthesis and its applications. *The World & I* 3(1): 158–165 p.

Wang, J., C. Kennedy, H. Viator, A. Arceneaux y A. Guidry. 2005. Zinc fertilization of sugarcane in acid and calcareous soils. *J. Amer. Soc. Sugar Cane*

Whalon, M. E., Mota-Sanchez, D. Hollingworth, R. M. and Duynslager, L. 2008. Arthropod Pesticide Resistance Database. <http://www.pesticideresistance.org/> Michigan State University Extension.

Wiedenfeld, P. 2000. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. *Agricultural Water Management* 43 (2): 173-182 p.

Zafranet. 2014. Consultado el 05 de marzo del 2014. <http://www.zafranet.com/category/es/estadisticas/produccion-por-estados/>.

Zarco, P.; Miller, J.; Harron, J.; Hu, B.; Noland, T.; Goel, N.; Mohammed, G.; Sampson, P. 2004. Needle chlorophyll content estimation through model inversion using hyperspectral data from boreal conifer forest canopies. *Remote Sensing of Environment* 89(2): 189–199 p.

9. ANEXO

9.1. Anexo 1: Encuesta a productores



Colegio de
Postgraduados



COLEGIO DE POSTGRADUADOS CAMPUS VERACRUZ

Estudiante de maestría en Agroecosistemas tropicales Jorge Luis Iadrón de Guevara Fuentes
Agradece su participación en este: Cuestionario socioeconómico y de control para el estudio del
Agroecosistema Tropical Caña de Azúcar en Presencia de Mosca Pinta

I.-ASPECTOS GENERALES

1.1.-Nombre _____ del _____ Productor:

1.2.-Edad: _____ 1.3.-Sexo: Hombre () Mujer ()

1.4.-Residencia:

1.5.- Municipio: _____ Ejido:

II.- CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

2.1.-Ubica-

ción: _____

2.2.- Municipio: _____

Ejido:

2.3.-Superficie (ha): _____
das: _____

Coordena-

2.4.-Tipo de Tenencia: Ejidal () Pequeña Propiedad () Otro: _____

2.5.-De la superficie que dispone el agricultor ¿Cómo la distribuye en función de disponibilidad de agua y topografía?

Tipo de terreno	Sup. total (ha)	Act. agrícola (ha)		Act. Pecua-ria (ha)	Act. for-estal (ha)	Otras (ha)
		Anuales rennes	Pe-			
Riego						
Temporal						
Cañon						

III.- CULTIVO

3.1.- ¿Qué porcentaje está destinada la superficie de su cultivo principal? _____

100 () 75 () 50 () 25 () 0 ()

3.2.- ¿Qué otra actividad realiza en el resto del terreno? _____

3.3.- ¿Qué otros cultivos rodean su terreno?

--	--	--	--	--

3.4.- ¿Qué variedad(s) de caña de azúcar tiene sembradas actualmente?

A	B	C	D
---	---	---	---

3.5.- ¿Por qué utiliza esta variedad(s)?

A.- Tamaño **Color** Rendimiento **Resistencia a plagas** Resist. a enfermedades

Resist. a temperaturas Resist. Sequías **Resist. Inundaciones** Tardías **Precoces**

Media Amacoyamiento

B.- Tamaño **Color** Rendimiento **Resistencia a plagas** Resist. a enfermedades

Resist. a temperaturas Resist. Sequías **Resist. Inundaciones** Tardías **Precoces**

Media Amacoyamiento

C.- Tamaño **Color** Rendimiento **Resistencia a plagas** Resist. a enfermedades

Resist. a temperaturas Resist. Sequías **Resist. Inundaciones** Tardías **Precoces**

Media Amacoyamiento

D.-Tamaño **Color** **Rendimiento** **Resistencia a plagas** Resist. a enfermedades

Resist. a temperaturas Resist. Sequías **Resist. Inundaciones** Tardías **Precoces**

Media Amacoyamiento

3.5.- ¿Qué edad o ciclo tiene su caña?

3.6.- ¿Cuál es la dosis de fertilizante que utiliza en su cultivo por hectárea?

Producto	Dosis/ha.	Frecuencia	Precio

3.6.1.- ¿En qué momentos realiza la fertilización?

3.7.- ¿Qué método utiliza para el combate de malezas?

Químico Manual Animal

Producto	Dosis/ha.	Frecuencia	Precio

IV.- MANEJO DE MOSCA PINTA

4.1.- ¿Cómo identifica a la mosca pinta?

Daño () Bajo Rendimiento () Reconoce el Insecto () Aspecto de la caña ()

4.2.- ¿Cree usted que la mosca pinta sea una plaga importante en el cultivo?

SI () NO () Por qué: _____

4.3.- ¿Ha tenido problemas con la mosca pinta en los últimos cinco años?

SI () NO () Cuantas veces:

4.4.- ¿Cree usted que la mosca pinta selecciona los cultivos para alimentarse?

SI () NO () Por qué:

-

4.5.- ¿Piensa usted que el color de las hojas de la caña de azúcar sea un atrayente a la mosca pinta?

SI () NO () Por qué: _____

—

4.6.- ¿Qué cree usted que atraiga a la mosca pinta?

Variedad de la caña edad olor Nutrición Temperatura

Precipitación Humedad Mal manejo

4.7.- ¿Qué labores culturales realiza para el combate de mosca pinta?

Rastra fitosanitaria Trampeo Control de malezas Insecticidas Drenajes

Recoger basura Nada

4.8.- ¿Qué tipo de Productos utiliza para el control de mosca pinta?

Químicos Biológicos Mecánico

4.8.1.- Químico

Producto	Dosis/ha.	Frecuencia

4.8.2.- Biológicos

Producto	Dosis/ha.	Frecuencia	Precio

4.9.- ¿Cree usted que la colocación de trampas de colores son efectivas en el control de mosca pinta?

SI () NO () Por qué:

4.9.1.- ¿Si existiera una trampa de color selectiva usted la utilizaría?

SI () NO () No funcionan () Por qué: _____

4.10.- ¿Conoce otros métodos de control de mosca pinta?

4.10.1.- ¿Los ha implementado alguna vez?

SI () NO () Por qué:

4.11.- ¿Qué método usted considera el mejor para el control de mosca pinta?

GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN