



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Parasitología Agrícola
Maestría en Ciencias en Protección Vegetal

“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN SOBRE LA POBLACIÓN DEL PULGÓN AMARILLO DEL SORGO”

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Protección Vegetal

Presenta:

José Arturo Schlickmann Tank

Bajo la supervisión de:

M.C. Oscar Morales Galván



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
UNIVERSIDAD DE EXAMENES PROFESIONALES



Chapingo, Edo. de México; enero de 2020

“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN SOBRE LA POBLACIÓN DEL PULGÓN AMARILLO DEL SORGO”

Tesis realizada por **JOSÉ ARTURO SCHLICKMANN TANK**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

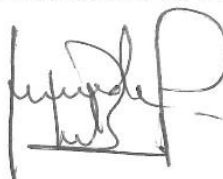
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR:



M.C. OSCAR MORALES GALVÁN

CO-DIRECTOR:



Dr. JOEL PINEDA PINEDA

ASESOR:



Dra. MARÍA TERESA BERYL COLINAS DE LEÓN

ASESOR:



Dr. MATEO VARGAS HERNÁNDEZ

CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO GENERAL	iii
ABREVIATURAS Y SIGLAS	v
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS.....	x
RESUMEN GENERAL.....	1
GENERAL ABSTRACT.....	2
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	3
1.1. OBJETIVOS	5
1.1.1. Objetivo general.....	5
1.1.2. Objetivos específicos	5
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. ORIGEN E IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL SORGO EN MÉXICO.....	6
2.2. PLAGAS DE IMPORTANCIA EN EL CULTIVO DE SORGO	7
2.2.1. Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)	7
2.2.2. Mosca enana o midge (<i>Contarinia sorghicola</i>) (Coquiliet, 1898) (Diptera: Cecidomyiidae).....	7
2.2.3. Chinche café (<i>Oebalus mexicana</i>) (Hemiptera: Pentatomidae)	8
2.2.4. Ergot (<i>Sphacelia sorghi</i>) (Hypocreales: Clavicipitaceae)	9
2.2.5. Pulgón amarillo del sorgo (PAS) <i>Melanaphis sacchari</i> (Zehntner, 1897) (Hemiptera: Aphididae)	9
2.3. FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE SORGO	11
2.4. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA RESISTENCIA DE LAS PLANTAS A LOS INSECTOS PLAGA.....	12
2.4.1. Efecto del Nitrógeno	13
2.4.2. Efecto del Potasio	14
2.4.3. Efecto del Fósforo.....	15
2.5. ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN DE LOS INSECTOS.....	16
2.6. LITERATURA CITADA	18
III. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA SOBRE LA POBLACIÓN DE <i>Melanaphis sacchari</i> (Zehntner, 1897) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)	26
3.1. Resumen.....	26
3.2. Abstract.....	26
3.3. INTRODUCCIÓN	27

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.4.1. Condiciones del experimento de campo	29
3.4.2. Tratamientos evaluados.....	30
3.4.3. Infestación de las macetas.....	31
3.4.4. Estimación de la densidad de <i>Melanaphis sacchari</i> en los distintos tratamientos.....	31
3.4.5. Efecto de la fertilización sobre los componentes bioquímicos del sorgo	31
3.4.6. Análisis de datos.....	32
3.5. RESULTADOS	32
3.5.1. Efecto de la fertilización sobre la población de <i>Melanaphis sacchari</i>	32
3.5.2. Efecto de la fertilización sobre los componentes bioquímicos del sorgo.....	35
3.5.3. Relaciones entre la población del PAS y los componentes bioquímicos en las plantas de sorgo	37
3.6. DISCUSIÓN	38
3.7. CONCLUSIONES.....	41
3.8. LITERATURA CITADA.....	42

ABREVIATURAS Y SIGLAS

ADN	Ácido desoxirribonucleico
ARN	Ácido ribonucleico
ATP	Trifosfato de adenosina
Ca	Calcio
Ca₃(PO₄)₂	Fosfato de calcio
cm	Centímetros
C/N	Relación carbono nitrógeno
et al	Del latín “et alia” o “et alii” que significa “y otros”
GLM	General linear models
GLIMMIX	Generalized linear mixed models
g	Gramos
H.R.	Humedad relativa
K	Potasio
kg	Kilogramos
kg ha⁻¹	Kilogramos por hectárea
KNO₃	Nitrato de potasio
Mg	Magnesio
mg	Miligramos
N	Nitrógeno
N-NO₃	Nitrato-nitrógeno
P	Fósforo
PAS	Pulgón amarillo del sorgo
P-Bray	Método de Bray para cuantificación de fósforo
ppm	Partes por millón
S	Azufre
SAS[®]	Statistical Analysis System
°C	Grado Celsius
%	Por ciento

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Países con mayor producción de sorgo.	6
Cuadro 2. Demanda de nutrientes (kg ha^{-1}) por el sorgo para grano en distintos niveles de rendimiento.	12
Cuadro 3. Dosis de fertilización suministradas para evaluar el efecto de la fertilización en el desarrollo poblacional de <i>Melanaphis sacchari</i> . Chapingo, Estado de México, 2018.	30
Cuadro 4. Efecto del N, P y K sobre componentes bioquímicos en la etapa vegetativa del sorgo.	36
Cuadro 5. Efecto del N, P y K sobre componentes bioquímicos en la etapa reproductiva del sorgo.	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efecto del N, P y K sobre la población del PAS. Las barras indican el error estándar (ES).	33
Figura 2. Dinámica poblacional del PAS en respuesta a los diferentes niveles de N, P y K.....	34
Figura 3. Relación entre la población del PAS y componentes bioquímicos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), proteínas solubles totales, contenido de azúcares solubles totales y contenido de azúcares reductores en las plantas de sorgo.....	37

DEDICATORIA

A Dios. Por darme fuerzas para seguir en los momentos difíciles y ayudarme a superar cada desafío, permitiéndome llegar a este punto de mi vida profesional.

A mi madre **Anna Michaela Tank de Schlickmann** y a mi padre **Celso Schlickmann** que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, enseñándome a nunca rendirme aún en los momentos difíciles, dándome siempre sabios consejos. **Los amo.**

A mis queridos hermanos: **Marisa, Alexander y Alcides** quienes a pesar de las distancias siempre estuvieron conmigo. **Nunca me falten.**

A mis amados sobrinos: **Yuliana Michel Staller y Sebastián Alexander Schlickmann** que siempre me llenaron de energía con su ternura y amor. **Son mi adoración.**

A mis amigos, porque sin ustedes no estaría terminando esta etapa de mi vida. **Los quiero.**

Al resto de mi familia: **Tíos(a) y primos(a)** por su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de los años. Gracias por estar en las buenas y en las malas.

Y a todos aquellos, que ven al igual que yo, la ciencia no como un *modus vivendi*, pero si como un modo para mejorar la calidad de vida en todos sus aspectos.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico otorgado para llevar a cabo mis estudios de posgrado.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, por brindándome la oportunidad de crecer tanto personal, profesional, científica y culturalmente.

Al **Programa de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal**, y cada uno de los doctores, maestros (en especial al **Maestro Segura**) y secretarías (en especial a **Maribel**) que lo conforman, por todas las enseñanzas y experiencias recibidas que contribuyeron a una formación académica y profesional.

Al **Maestro Oscar Morales Galván**, por ser mi guía, por su paciencia, consejos, colaboración e interés en la realización de mi trabajo y por compartir sus conocimientos.

Al **Dr. Joel Pineda Pineda**, a la **Dra. Ma. Teresa Beryl Colinas de León** y al **Dr. Mateo Vargas Hernández** por sus asesorías en la realización de la presente investigación.

A mis compañeros y amigos **Daniel Quiroga, Gloria Sánchez, Sandra Badillo, Merari Martínez, Gloria Luna, Daniel Cituk, Alejandra Barrientos, José Saavedra, Andrea Juan, Daniel Cerón y Elena Pérez** por todos los buenos momentos vividos.

A todos ellos Gracias.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	José Arturo Schlickmann Tank
Fecha de Nacimiento	19 de marzo de 1992
Lugar de Nacimiento	Capitán Meza, Itapúa, Paraguay
CURP	SITA920319HNECNR09
Profesión	Ingeniero Agrónomo
Matricula Profesional:	5288

Desarrollo académico

Bachillerato	Colegio Nacional Federico Maintzhusen
Licenciatura	Universidad Católica Ntra. Sra. de la Asunción. Facultad de Ciencias Agropecuarias

Somos lo que hacemos de forma repetida.

*La excelencia, entonces, no es un acto,
sino un hábito.*

Aristóteles

RESUMEN GENERAL

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN SOBRE LA POBLACIÓN DEL PULGÓN AMARILLO DEL SORGO.

José Arturo **Schlickmann-Tank** y Oscar **Morales-Galván**

El sorgo es uno de los cereales más importantes de mundo, debido a su rusticidad y versatilidad, del cual México es tercer productor a nivel mundial. El pulgón *Melanaphis sacchari* es considerada la plaga más importante del cultivo de sorgo en México, ya que puede provocar pérdidas de hasta 100% de la producción. La presente investigación se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo durante los años 2018 y 2019 con el objetivo de determinar el efecto de la fertilización química sobre la población de *Melanaphis sacchari* en sorgo. Se estudiaron diferentes niveles de nitrógeno (125, 250 y 500 kg ha⁻¹), fósforo (19.5, 39 y 78 kg ha⁻¹) y potasio (210 y 420 kg ha⁻¹) suministrados a plantas de sorgo sembradas en macetas de polietileno con 6 litros de capacidad en condiciones de invernadero. Las plantas fueron infestadas con un total de 15 ninfas de tercer instar a los 60 días de emergido el cultivo. Se realizó un total de 6 muestreos a intervalos de 7 días, iniciando 7 días después de la infestación. También se realizaron cuantificaciones de proteínas solubles totales, azúcares totales, azúcares reductores, niveles de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio en tejido foliar. Se observó que las dosis más altas de nitrógeno y fosforo incrementaron la población del pulgón, mientras que al incrementar la dosis de potasio la población del pulgón disminuyó considerablemente. También se constató una correlación positiva de la población del pulgón con las concentraciones de proteínas solubles totales, azúcares reductores y niveles de nitrógeno, mientras que con los niveles de potasio en hoja la correlación fue negativa.

Palabras claves: *Melanaphis sacchari*, impacto, nitrógeno, fósforo, potasio.

Tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: José Arturo Schlickmann Tank
Director de tesis: Oscar Morales Galván

GENERAL ABSTRACT

EFFECT OF FERTILIZATION ON THE POPULATION OF THE YELLOW SORGHUM APHID.

José Arturo **Schlickmann-Tank** and Oscar **Morales-Galván**

Sorghum is one of the most important cereals in the world, due to its rusticity and versatility, where Mexico is the third largest producer worldwide. The aphid *Melanaphis sacchari* is considered the most important pest of sorghum crop in Mexico, as it can cause losses of up to 100% of production. This research was conducted at the Universidad Autonoma Chapingo from 2018 to 2019 with the objective of determining the effect of chemical fertilization on the population of *Melanaphis sacchari* in sorghum. Different levels of nitrogen (125, 250 and 500 kg ha⁻¹), phosphorus (19.5, 39 and 78 kg ha⁻¹) and potassium (210 and 420 kg ha⁻¹) supplied to sorghum plants planted in polyethylene pots with a capacity of 6 liters under greenhouse conditions were studied. The plants were infested with a total of 15 third instar nymphs within 60 days of crop emergence. A total of 6 samplings were carried out at 7-day intervals, these started 7 days after the infestation. Quantifications of total soluble proteins, total sugars, reducing sugars, levels of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium in leaf tissue were also performed. It was observed that higher doses of nitrogen and phosphorus increased the aphid population, while increasing the potassium dose decreased the aphid population considerably. A positive correlation of the aphid population with total soluble protein concentrations, reducing sugars and nitrogen levels was also found, while with potassium levels in leaves the correlation was negative.

Key words: *Melanaphis sacchari*, impact, nitrogen, phosphorus, potassium.

Thesis of Master of Science in Plant Protection. Universidad Autónoma Chapingo.
Author: José Arturo Schlickmann Tank
Advisor: Oscar Morales Galván

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El sorgo se encuentra entre los cinco cereales más importantes a nivel mundial, después de cultivos como el arroz, el maíz, el trigo y la cebada; sin embargo, este cultivo presenta características más nobles que estos, ya que puede resistir temporadas largas de sequía, tolerando altas temperaturas y suelos salinos (FAO, 2019).

El cultivo de sorgo es medianamente demandante de fertilización durante todo su ciclo, según Fontanetto et al. (2009) para que el sorgo de grano produzca una cantidad de 1000 kg ha⁻¹ requiere 31.42 kg de nitrógeno, 5 kg de fósforo y 24.28 kg de potasio. En el sistema de producción actual muchas veces no se tienen en cuenta esas cantidades, donde los productores aplican fertilizantes en cantidades muy bajas o en algunas ocasiones ocurre lo contrario, sin realizar análisis previos de suelo y/o plantas para su desarrollo.

En el 2013 se reporta por primera vez el pulgón amarillo del sorgo (PAS) [*Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897)] en México que probablemente se introdujo al país por medio de maquinarias, donde en poco tiempo devastó cultivos de sorgo en varios estados y redujo los rendimientos en algunos casos hasta 100%; esta plaga se transformó en la principal limitante del cultivo (Rodríguez del Bosque y Terán, 2015). El PAS es una plaga originaria de África y se encuentra distribuida en África, Asia, Australia y América (Summers, 1978). En México sus principales hospedantes son sorgo y zacate Jonhson (*Sorghum halepense*) (Peña-Martínez et al., 2015); por otro lado, en el trabajo realizado por de Souza y Davis (2019) se consideró que el maíz, el trigo y la caña de azúcar son hospedantes potenciales de la plaga, ya que la misma logró completar total o parcialmente su ciclo biológico sobre estas especies. En infestaciones iniciales al cultivo se pueden encontrar grupos de adultos sin alas de color amarillo a café claro, donde posteriormente se pueden apreciar también las primeras ninfas, estas son de tamaño más pequeño y de color verde pálido a amarillo, más dispersas por las hojas. A medida que pasa el tiempo la población crece a un

ritmo acelerado, pueden llegar a cubrir toda la hoja (Singh et al., 2004; Vázquez-Navarro et al., 2016).

Altieri y Nicholls (2006) relatan que los desbalances nutricionales de los cultivos pueden afectar la susceptibilidad de las plantas a los insectos plaga a través de la alteración de los niveles de nutrientes en los tejidos. Jansson y Smilowitz (1985) demostraron que la fertilidad del suelo influye en la capacidad de los cultivos para contrarrestar el ataque de plagas usando diferentes vías metabólicas, una de estas es la producción de Ácido Jasmónico, hormona vegetal relacionada con señales químicas (jasmonatos) que inducen reacciones de defensa en las plantas como respuesta al ataque de insectos. Los jasmonatos están involucrados en el incremento y activación de varias respuestas tales como la resistencia al ataque de pulgones y el desarrollo de tricomas en las hojas (Nabity, Zavala y Delucia, 2013).

El manejo de la nutrición es una de las prácticas más importantes para la producción agrícola, pero puede afectar severamente la interacción planta-insecto. Diversas investigaciones demuestran que la aplicación desbalanceada de fertilizantes inorgánicos puede afectar la susceptibilidad de las plantas al ataque de plagas (Marazzi et al., 2004). La aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados normalmente puede aumentar la preferencia de las plagas por las plantas; también tiene efecto sobre la supervivencia, crecimiento, reproducción y densidad de población de estas plagas, excepto en pocos ejemplos en que los fertilizantes nitrogenados reducen la actividad de insectos plaga (Aziz et al., 2018). Con fertilizaciones excesivas de nitrógeno en arroz, Rashid et al. (2016) lograron cuantificar cantidades elevadas de aminoácidos libres y azúcares en hojas, lo que se tradujo en altas poblaciones del insecto *Nilaparvata lugens*. En el cultivo de sorgo hasta ahora no se tienen muchos estudios sobre el efecto de la fertilización sobre la población del PAS; así los resultados de la presente investigación podrán ser incluidos en el programa de manejo del PAS.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la fertilización química sobre la población de *Melanaphis sacchari* en sorgo.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar la densidad poblacional del *Melanaphis sacchari* en plantas de sorgo en diferentes dosis de fertilización química.
- Medir las concentraciones de proteínas solubles totales, azúcares totales, azúcares reductores, niveles de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio en las hojas de sorgo para cada nivel de fertilización utilizado en esta investigación, así como determinar su relación con la densidad poblacional de *Melanaphis sacchari*.

1.2. HIPÓTESIS

El desbalance nutricional en el cultivo de sorgo influye sobre la densidad poblacional de *Melanaphis sacchari* (Zehntner).

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ORIGEN E IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL SORGO EN MÉXICO

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es un cultivo mundialmente distribuido, perteneciente a la familia de las Poaceas. En algunos países como Mozambique, constituye uno de los alimentos básicos de la población (Ferreira, 1986). Según teorías, el origen y domesticación del sorgo ocurrió hace 5000 a 7000 años en lo que actualmente se conoce como Etiopía y Sudán. Así también en la India lo conocían ya durante el siglo I d. C. (Smith y Frederiksen, 2000).

Se mantuvo en quinto lugar en producción mundial en el período 2009-2018 (FAOSTAT, 2019). Como se trata de una especie muy versátil y con una tolerancia al estrés abiótico (Tari et al., 2013), es de vital importancia para la agricultura de países de bajos recursos de África y Asia (India); sin embargo, el principal productor es Estados Unidos (Cuadro 1). Los países como USA, México, Argentina, Australia y China producen sorgo a nivel comercial, principalmente para la alimentación animal, exportación, y, recientemente también para biocombustibles (etanol); en cambio, los países como Nigeria y Etiopía destinan su producción para la alimentación humana (Mocoeur et al., 2015; Srinivasa et al., 2014).

Cuadro 1. Países con la mayor producción de sorgo *Sorghum bicolor* L. Moench.

País	Producción (t)	Porcentaje
Estados Unidos de América	9,241,760	16
Nigeria	6,939,000	12
México	4,853,110	8.4
Etiopía	4,815,595	8.4
India	4,570,000	7.9
Sudán	3,743,000	6.5
China Continental	2,795,192	4.9
Argentina	2,526,931	4.4
Brasil	2,223,627	3.9
Níger	1,945,136	3.4

Fuente: FAOSTAT (2019)

El sorgo ocupa un lugar importante en la producción agrícola de México, ya que es un cultivo clave en la producción de alimentos balanceados y forraje para el ganado, representando el 2.24% del PIB Agrícola (SAGARPA, 2016). En 2017, México se posicionó en el segundo lugar en la producción de sorgo para grano con una producción cercana a 5 millones de toneladas, superado por Estados Unidos que presentó una producción de 10 millones de toneladas aproximadamente. El estado con mayor producción en México fue Tamaulipas con una producción 2.6 millones de toneladas, según estimaciones del SIAP (2019).

2.2. PLAGAS DE IMPORTANCIA EN EL CULTIVO DE SORGO

2.2.1. Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

Se trata de una plaga polífaga que ataca una gama amplia de especies (Molina-Ochoa et al., 2000, Bahena et al., 2002). Presenta una preferencia acentuada por gramíneas donde se le llama comúnmente “gusano cogollero” por su forma peculiar de alimentarse de las hojas tiernas del cogollo de la planta. El daño al cultivo puede variar de 30 a 60% de pérdidas (Bermúdez-Torres et al., 2009; Casmuz et al., 2010; García et al., 2012; Ordoñez-García et al., 2015). Esta plaga concluye su ciclo de vida en 45 días aproximadamente, dependiendo de la temperatura. *S. frugiperda* es un insecto holometábolo pasando por huevo, larva, pupa y adulto, siendo la larva la que ocasiona el daño al cultivo. El manejo de esta plaga es básicamente con el control químico y un pequeño porcentaje con control biológico (Pedigo y Rice, 2006).

2.2.2. Mosca enana o midge (*Contarinia sorghicola*) (Coquillett, 1898) (Diptera: Cecidomyiidae)

Se trata de una plaga de gran importancia a nivel mundial, considerada la principal plaga del cultivo en varios países. Presenta cuatro estadíos: adulto, huevo, larva y pupa. El adulto es de color naranja rojizo de 1.3 a 1.6 mm. Los adultos no se alimentan ya que su sistema digestivo está atrofiado. La hembra

llega a ovipositar de 30 a 120 huevos en las flores recién fecundadas del sorgo (Jadhav y Jadhav, 1978; Murthy y Subramaniam, 1978). La larva al eclosionar es incolora, pero al alimentarse del grano de sorgo se torna de color pardo. Esta larva se alimenta succionando la savia de la base del ovario, dañando la formación del grano (Rossetto et al., 1976). El daño producido por esta plaga es conocido como grano vano o vacío. La larva de la mosca midge sobrevive de un ciclo a otro en hospederos alternos como el zacate Johnson.

El manejo de la mosca midge es básicamente control químico y eliminación de arvenses hospederas, la mayoría del género *Sorghum* (Lara, 1991; Lara et al., 1977).

2.2.3. Chinche café (*Oebalus mexicana*) (Hemiptera: Pentatomidae)

Es considerada una plaga cíclica, ya que durante los meses fríos la chinche hiberna como adulto en alturas que comprenden los 2200 y 2700 msnm. En el momento que inicia la temporada las lluvias, la chinche baja a los cultivos. Si el cultivo aún no se encuentra en estado de grano lechoso puede alimentarse de granos de otras gramíneas; mientras aguarda y oviposita sobre las panículas (espigas) de los pastos. Este insecto pasa por 5 estadios ninfales, siendo el tercer estadio el más voraz. En estado adulto, se alimenta del cultivo por aproximadamente 3 semanas. Durante los meses de septiembre y octubre inicia su migración hacia los sitios de hibernación, donde permanece protegida del frío (Salazar et al., 1993).

El adulto de *O. mexicana* es de color cobrizo y mide de 0.9 a 1.2 cm de largo. Los huevos son depositados en grupos de 12 a 38 y presentan una forma de barril. Una hembra puede ovipositar entre 150 y 200 huevos distribuidos en 5 oviposturas. Las ninfas miden de 1.2 a 7 mm de largo. Su ciclo biológico dura en promedio 65 días (Salazar et al., 1993). El control de esta plaga consiste en aplicaciones de insecticidas con fundamentación en muestreos oportunos y también con la eliminación de hospederos alternos (Delgado et al., 2008).

2.2.4. Ergot (*Sphacelia sorghi*) (Hypocreales: Clavicipitaceae)

El ergot o rocío azucarado del sorgo causado por *Sphacelia sorghi* McRae, cuya forma perfecta es *Claviceps africana* aparece por primera vez en México en 1997 específicamente en Tamaulipas (Aguirre et al., 1997; Isakeit, Odvody, y Shelby, 1998), desde ahí se ha convertido en la principal enfermedad que afecta al cultivo, reduce la calidad y la cantidad de producción del grano (Wang et al., 2000). En infecciones severas, se ha logrado observar hasta un 40% de pérdidas en la producción del cultivo (Montes-García et al., 2009).

El ergot sólo ataca los ovarios no fecundados. Este patógeno infecta algunos o todos los ovarios dentro de una panícula, los cuales son dañados individualmente. Hay dos signos obvios de la enfermedad en el campo. El más temprano y evidente es el exudado de melaza de flores infectados. La melaza es un líquido delgado, viscoso, dulce y pegajoso que contiene los conidios del patógeno. Las gotas de melaza recién formadas son incoloras y transparentes, pero se vuelven progresivamente opacas debido a la oxidación de los azúcares que la componen. El segundo signo del ergot es la presencia de esclerocios entre las glumas de las flores infectadas (Bandyopadhyay et al., 1998). Días frescos ($19 \pm 1^{\circ}\text{C}$) y nublados con alta humedad relativa en el momento de la antesis favorecen el desarrollo de la enfermedad (Bandyopadhyay et al., 1998; McLaren y Wehner, 1990). Esta enfermedad puede prevenirse con el manejo de las fechas de siembre, pero lo más eficiente es la aplicación de fungicidas antes de la antesis del cultivo (McLaren, 1994).

2.2.5. Pulgón amarillo del sorgo (PAS) *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897) (Hemiptera: Aphididae)

El PAS es un áfido originario del continente africano que se ha convertido en una plaga invasiva atacando sorgo en el continente Americano (Zapata et al., 2016). En 2013 llega a México, donde las pérdidas variaron entre los 30 y 100% de la producción (Knutson et al., 2016; Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2015). Esta plaga se encuentra distribuida en la mayoría de los estados de México

(Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2015; Ibarra et al., 2016). Recientemente se ha registrado en Baja California Norte (SENASICA, 2018). Es considerada un “súper-clon” con baja diversidad genética pero gran potencial adaptativo a diversas regiones geográficas y climáticas (Nibouche et al., 2018; 2014).

Como plantas hospedantes del PAS están reconocidas a nivel mundial numerosas especies de Poáceas y dos Aráceas, según las bases de datos internacionales Blackman y Eastop (2018), la mayoría de las especies no han sido exploradas o identificadas como hospederas en México. Las plantas hospederas más importantes de México son las del género *Sorghum*, donde la arvense más abundante es *Sorghum halepense* (L.) Pers. (Peña-Martínez et al., 2015).

El PAS es un insecto fluidófago (chupador de savia) y productor de mielecilla (azúcares). La mielecilla es el resultado del exceso de azúcar en la dieta del pulgón, es aprovechada como fuente de alimento por muchos otros organismos; por este aspecto, se ha llegado a considerar a los pulgones como “nectarios extra-florales”, en condiciones silvestres (Peña-Martínez et al., 2018). Esta mielecilla es utilizada como sustrato por organismos saprófitos, teniendo como resultado la aparición de fumagina, que a su vez afecta el proceso de fotosíntesis en las plantas, lo que constituye el principal daño indirecto del PAS (SENASICA, 2018).

Al igual que muchas especies de pulgones, el PAS tiene cuatro estadios ninfales antes de llegar al estado adulto (Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2015). En la mayoría de las veces la reproducción de esta especie es partenogenética vivípara, pero en algunas regiones donde el invierno es prolongado se puede presentar un ciclo ovíparo donde las hembras fecundadas ponen huevos de los cuales emergen las fundatrices, que son el resultado del intercambio genético de sus padres y que inician las nuevas líneas partenogenéticas vivíparas (Peña-Martínez et al., 2018).

El PAS es un pulgón cosmopolita, con una adaptabilidad moderada a buena. Puede soportar temperaturas extremas de frío como de calor, pero su temperatura óptima se encuentra entre 20 y 25 °C con una humedad relativa de 50% (Bayoumy et al., 2016; Kiani y Szczepaniec, 2018; Peña-Martínez et al., 2018). Este insecto es muy invasivo y puede afectar todas las etapas de desarrollo del sorgo causando daños severos al alimentarse de la savia de la planta, provocando clorosis y posteriormente necrosis de las hojas, lo que provoca que la planta retrase su crecimiento y por ende se tienen mermas en el rendimiento (Bowling et al., 2016).

Desde la llegada del PAS a México se ha iniciado un arduo trabajo de investigación con relación al manejo. Se han implementado diferentes estrategias de control para el PAS, como la delimitación de fechas de siembra, conservación de enemigos naturales, uso de control biológico, eliminación de hospederas alternas, etc. (de Souza y Davis, 2019; Knutson et al., 2016; SAGARPA, 2016). No obstante a lo anterior, el control químico se ha convertido en la principal medida de combate ya que las demás medidas de control no han logrado disminuir a las poblaciones del PAS (Bowling et al., 2016; Knutson et al., 2016). Los insecticidas con una mayor eficacia sobre el PAS son flupyradifurone, sulfoxaflor, spirotetramat e imidacloprid (Tejeda-Reyes et al., 2017).

2.3. FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE SORGO

El sorgo posee requerimientos nutricionales similares a otras gramíneas, como el maíz, trigo, avena, etc., mostrando una buena respuesta a la fertilización tanto en ambientes limitantes como en ambientes ideales (Rurinda et al., 2014). La demanda de nutrientes (Cuadro 2) se manifiesta a partir del primer mes de emergido el cultivo, en coincidencia con el inicio de la etapa reproductiva del cultivo, hasta 10 días previos a la floración, período de máxima captación de N (nitrógeno), P (fósforo) y K (potasio), cuando la planta toma un 75% del total requerido (Jarecki, Chong, y Voroney, 2005). La falta de los nutrientes puede reducir los rendimientos, afectar la calidad del grano y aumentar la susceptibilidad

del cultivo a agentes externos por disminución del contenido de proteína principalmente (Tziros et al., 2006).

Cuadro 2. Demanda de nutrientes (kg ha⁻¹) por el sorgo *Sorghum bicolor* L. Moench para grano en distintos niveles de rendimiento.

Rendimiento (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
3000	105	20	77	18	17	14
4000	125	22	100	23	20	18
6000	180	30	150	33	30	24
7000	220	35	170	38	36	30
8000	250	39	210	45	43	40
10000	300	48	270	55	55	50

Fuente: Fontanetto y Keller (1999)

2.4. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA RESISTENCIA DE LAS PLANTAS A LOS INSECTOS PLAGA

La capacidad de las plantas para resistir al ataque de insectos plaga está íntimamente ligada a la fisiología de éstas, ya que varía con la edad o el estado de crecimiento de la planta (Simpson y Simpson, 1990; Slansky, 1987), a su vez la fisiología de las plantas está directamente ligada a la cantidad de nutrimentos disponibles y/o asimilables, ya que los mismos cumplen roles importantes en el desarrollo de las plantas a lo largo de su vida (Altieri y Nicolls, 2003). Meyer (2000) menciona que la disponibilidad de nutrientes en el suelo no solo afecta la cantidad de daño que las plantas reciben por los insectos, sino también la capacidad de éstas para recuperarse del ataque; sin embargo, estos dos factores rara vez se consideran en conjunto.

Schuphan (1974) en un estudio comparativo de los efectos de la fertilización orgánica y sintética en el contenido nutricional de tres hortalizas (papa, zanahoria y espinaca), encontró que, en comparación con cultivos convencionales, las hortalizas con fertilización orgánica contenían niveles bajos de nitratos y niveles

altos de potasio, fósforo y hierro. En un trabajo similar Lockeretz et al. (1981) encontraron que el maíz con fertilización orgánica tenía niveles más bajos de todos los aminoácidos (excepto metionina) que el maíz cultivado de forma convencional. Eggert y Kahrmann (1984) también demostraron que frijoles cultivados en fincas convencionales presentaban una mayor cantidad de nitrógeno en pecíolo y proteínas en general, que los provenientes de fincas con fertilización orgánica. Sin embargo, las concentraciones de potasio y fósforo eran más altas en los pecíolos de los frijoles con fertilización orgánica. Hsu et al. (2009) evaluaron el efecto de la fertilización orgánica sobre *Pieris rapae* en col, donde encontraron que las concentraciones de carbohidratos solubles fueron significativamente superiores en el cultivo con fertilización química.

Una gran mayoría de los estudios demuestran que la aplicación de fertilización química tiene una dramática influencia sobre el balance de elementos nutricionales en las plantas, y que la mala utilización de estos puede influir sobre la susceptibilidad de las plantas ante el ataque de los insectos plaga (Blouin et al., 2005).

2.4.1. Efecto del Nitrógeno

Actualmente numerosos estudios reportan incrementos en el número de insectos y ácaros en respuesta al aumento de las tasas de fertilización nitrogenada. El nitrógeno es el macronutriente que influye más profunda y críticamente en el crecimiento y la fecundidad de los insectos herbívoros (Douglas, 2006). Probablemente una razón importante para este fenómeno es la gran diferencia en la concentración de N entre insectos herbívoros (6-10%), mientras que, en los tejidos de las plantas (1,5-3%) (Elser et al., 2000); también, el aumento de la fertilización nitrogenada, conlleva un incremento del nivel de aminoácidos y nitratos en plantas hospedadoras, lo cual incrementa la calidad nutricional y el atractivo de las plantas para el ataque de insectos herbívoros, ya que mejora los parámetros alimenticios del floema (Douglas, 2006; Fallahpour et al., 2015; Mengel y Kirkby, 2001). Las altas concentraciones de N en el floema tienen un

efecto directamente proporcional a la fertilidad de los insectos herbívoros, también en muchos casos, puede acelerar el proceso de maduración sexual de muchas especies (Hogendorp et al., 2006; Chow et al., 2011).

En un estudio realizado con *Aphis craccivora* en ornamentales Hosseini et al. (2015) observaron que al incrementar los niveles de fertilización nitrogenada aumentaba drásticamente la población del áfido y la frecuencia de individuos migratorios disminuían, a medida que se aumentaban las dosis de fertilizantes nitrogenados. Resultados similares obtuvieron Rashid et al. (2016), con fertilizaciones excesivas de nitrógeno en arroz, donde se cuantificaron altas concentraciones de aminoácidos libres, azúcares totales, lo que se tradujo en altas poblaciones del insecto *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae).

Estos fenómenos no solo ocurren con insectos chupadores, también se ha observado con larvas de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) que se alimentaron de plantas de tomate cultivadas con bajos suministros de nitrógeno, lo que disminuyó la tasa de supervivencia y retrasó su desarrollo (Larbat et al., 2016; Coqueret et al., 2017; Dong et al., 2018; Blazhevski et al., 2018). Esto se atribuyó al bajo contenido de proteínas (también a una mayor relación C/N foliar) y a una mayor acumulación de compuestos fenólicos y glicoalcaloides constitutivos en las hojas (Larbat et al., 2016).

2.4.2. Efecto del Potasio

Pettigrew (2008) menciona que el potasio (K) es un macronutriente esencial requerido en grandes cantidades para el desarrollo normal de los cultivos. Entre sus funciones, destacan la osmorregulación, la síntesis de almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento estomático y el balance de cargas iónicas (Maathuis y Sanders, 1994; Marschner, 1995).

La nutrición potásica afecta el perfil y distribución de metabolitos primarios en los tejidos vegetales, influyendo en su atracción hacia insectos y patógenos, así como en su desarrollo en la planta. Los cambios inducidos por el K en las

concentraciones de metabolitos son múltiples e incluyen la dependencia del potasio en el metabolismo de enzimas (incluyendo las asociadas con el ácido jasmónico y el ácido salicílico), fotosíntesis y transporte a larga distancia (Amtmann, Troufflard, y Armengaud, 2008). Perrenoud (1990) realizó una compilación de investigaciones relacionadas con el efecto benéfico de la fertilización potásica sobre la susceptibilidad de los cultivos al ataque de plagas insectiles y enfermedades. Esta compilación tuvo como resultado que en el 63 % de las investigaciones la aplicación de K al cultivo disminuyó la incidencia de plagas insectiles y ácaros. Evans y Sorger (1966) demostraron que el K activa enzimas presentes en el metabolismo de azúcares y de nitrógeno. También se ha reportado que el K está íntimamente involucrado en la acumulación de nitrógeno y la asimilación de carbono en las plantas, y se ha encontrado una relación correlativa entre el N y el K en varios cultivos como el maíz, arroz, soya y sorgo (Osaki, 1995; Wojcieszka y Kocoń, 1997). Jansson y Smilowitz (1985) demostraron que el K puede influir en la habilidad de los cultivos para contrarrestar el ataque de plagas usando diferentes vías, una de estas vías es la producción de ácido jasmónico, hormona vegetal muy estudiada que tiene íntima relación con señales químicas (jasmonatos) que inducen reacciones de defensa en las plantas como respuesta al ataque de insectos. Los jasmonatos están involucrados en el incremento de varias defensas tales como la resistencia al ataque de pulgones y el desarrollo de tricomas en las hojas (Zavala, 2010). Sinha et al. (2018) reportaron que la fertilización potásica redujo el ataque del pulgón de la mostaza *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) al cultivo, mientras que, en los tratamientos donde fueron aplicados dosis altas de nitrógeno se observaron altas poblaciones del insecto.

2.4.3. Efecto del Fósforo

El fósforo (P) es el segundo nutriente más comúnmente aplicado en la mayoría de los cultivos y es parte de muchas moléculas orgánicas de la célula (ADN, ARN, ATP) y fosfolípidos), así también está involucrado en muchos procesos metabólicos en la planta. Sin embargo, su papel en la resistencia es variable y

aparentemente inconsistente (Kiraly, 1976). En la mayoría de los estudios el P está más relacionado con la resistencia de la planta al ataque de hongos de suelo, ya que un desarrollo radicular vigoroso permite a las plantas escapar de las enfermedades (Huber y Graham, 1999). El P puede actuar como modificador de la susceptibilidad de la planta hospedera al cambiar metabolitos secundarios como fenoles y terpenos. Cuando esto ocurre la acumulación de compuestos fenólicos (taninos, lignina) actúan como una barrera que tiene efectos disuasorios (anti-alimentario) o directamente tóxicos (insecticidas) sobre los insectos herbívoros (Facknath y Lalljee, 2005). En algunos casos como el reportado por Sinha et al. (2018), el P produjo un efecto negativo sobre la población de insectos, donde el pulgón de la mostaza *Lipaphis erysimi* disminuyó considerablemente su población al aplicar dosis altas de P. Actualmente la información que sustente estos resultados es reducida y poco explicativa.

2.5. ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN DE LOS INSECTOS

Los insectos en general pueden alimentarse casi de cualquier cosa, pero existe un grupo que puede alimentarse de plantas, estos insectos son conocidos como fitófagos, estos insectos obtienen todo su alimento de la planta hospedera. Los insectos utilizan y consumen una gran cantidad de proteínas para satisfacer su requerimiento de aminoácidos, 10 de estos aminoácidos no son producidos por los insectos y deben de ser ingeridos en la dieta; entre ellos están la arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina/tirosina, treonina, triptófano y valina (Behmer y Nes, 2003). Más allá de requerir grandes cantidades de aminoácidos para la síntesis de proteínas, estos aminoácidos esenciales cumplen funciones fisiológicas adicionales de vital importancia en los insectos, por ejemplo, la tirosina es importante para la producción de metabolitos fenólicos y de quinona, críticos componentes para la reticulación de la proteína durante la esclerotización (Thompson y Simpson, 2009).

Los insectos también requieren grandes cantidades de vitaminas, particularmente vitaminas solubles en agua del complejo B incluyendo la biotina

(Vitamina H), ácido fólico (B11), niacina, ácido pantoténico, piridoxina (B6), riboflavina (B2), y tiamina (B1), estas vitaminas son consideradas esenciales y son utilizadas principalmente como precursores de las coenzimas del metabolismo intermedio. En cuanto a las vitaminas solubles en grasa, sólo el tocoferol (E) y el retinol (A) han demostrado ser beneficiosos para la reproducción y la visión en algunos insectos. El tocoferol también juega un papel importante como antioxidante lipídico (Bala et al., 2018; Thompson y Simpson, 2009).

Los carbohidratos son requeridos por los insectos principalmente como fuentes de energía, para la síntesis de grasa y glucógeno. Los azúcares constituyen el único alimento de ciertos insectos, también desempeñan un papel importante en el comportamiento de algunos insectos, por ejemplo, en la orientación de ciertos insectos fitófagos para encontrar sus plantas hospederas (Bala et al., 2018; Simpson y Raubenheimer, 2001).

Los ácidos grasos, fosfolípidos y esteroides son componentes de la pared celular, y en el caso de los insectos fitófagos, estos son obtenidos de las plantas hospederas. Los diacilglicéridos, triacilglicéridos y derivados de los ácidos grasos poliinsaturados son importantes en la reproducción de algunos insectos. Los insectos obtienen los esteroides alimentándose del tejido de la planta en forma de colesterol (Bala et al., 2018).

En algunas ocasiones cuando existen limitaciones de algún nutriente y los insectos no llegan a su objetivo de ingesta, deben de ingerir grandes volúmenes de alimento para alcanzar un equilibrio, esto ocasiona que el insecto ingiera en exceso algunos nutrientes no necesarios alcanzando lo que se conoce como "punto de compromiso" que da como resultado importantes costos de acondicionamiento físico. Esto se los conoce como "geometrical framework" (marco geométrico) (Behmer, 2009; Thompson y Simpson, 2009).

Muchos insectos necesitan la asociación con simbiosis para llevar a cabo el proceso de digestión, estos simbiosis son principalmente hongos y bacterias actinomicas y juegan un papel crítico en la nutrición de los insectos, permitiendo

que muchas especies se desarrollen normalmente con alimentos de valor nutritivo limitado. Ejemplos bien conocidos de tales alimentos incluyen la madera, floema y desechos de plantas. Los simbioses a menudo proporcionan nutrientes directamente como resultado de las capacidades sintéticas de las que carecen sus insectos anfitriones, y/o permiten, a través de la producción de enzimas intestinales que los insectos digieran productos alimenticios que de otra manera serían indigeribles (Behmer y Nes, 2003; Thompson y Simpson, 2009).

2.6. LITERATURA CITADA

- Aguirre, J., Williams, H., Montes, N., & Cortinas-Escobar, H. M. (1997). First Report of Sorghum Ergot Caused by *Sphacelia sorghi* in Mexico. Plant Disease. <https://doi.org/10.1094/pdis.1997.81.7.831c>.
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2006). Optimizando el manejo agroecológico de plagas a través de la salud del suelo. Agroecología, (1), 29-36.
- Altieri, M. A. & Nicolls, C. I. (2003). Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. Soil & Tillage Research 72:203-211.
- Amtmann, A., Troufflard S., and Armengaud P. (2008). The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. Physiol. Plant. 133: 682-691.
- Aziz, S. M., Akter, T., Ali, M., Nasif, S. O., Shahriar, S. A., & Nowrin, F. (2018). Effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium (NPK) Application on Insect Pests Infesting Transplanting Aman Rice (*Oryza sativa* L.). Asian Research Journal of Agriculture, 9(3), 1-5. <https://doi.org/10.9734/ARJA/2018/42953>.
- Bala, K., Sood, A., Singh Pathania, V., & Thakur, S. (2018). Effect of plant nutrition in insect pest management: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry.
- Bandyopadhyay, R., Frederickson, D. E., McLaren, N. W., Odvody, G. N., & Ryley, M. J. (1998). Ergot: A new disease threat to Sorghum in the Americas and Australia. Plant Disease. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1998.82.4.356>.
- Bayoumy, M. H., Perumal, R., & Michaud, J. P. (2016). Comparative life histories of greenbugs and sugarcane aphids (Hemiptera: Aphididae) coinfecting susceptible and resistant sorghums. Journal of Economic Entomology. <https://doi.org/10.1093/jee/fov271>.
- Bermúdez, T. K., Herrera, J. M., Brito, R. F., Wink, M., Legal, L. (2009). Activity of quinolizidine alkaloids from three Mexican *Lupinus* against the lepidopteran crop pest *Spodoptera frugiperda*. BioControl 54(3): 459-466.

- Blazhevski, S., Kalaitzaki, A. P., Tsagkarakis, A. E. (2018). Impact of nitrogen and potassium fertilization regimes on the biology of the tomato leaf miner *Tuta absoluta*. *Entomol Gen* 37:157-174.
- Blouin, M., Zuily-Fodil, Y., Pham-Thi, A-T., Laffray, D., Reversat, G., Pando, A., Tondoh, J., Lavelle, P. (2005). Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites 8:202-208.
- Bahena, J. F., Arredondo, H. C. B., Vázquez, M. G. A., González H. y Miranda, M. A. S. (2002). Parasitoides del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lep.: Noctuidae) en el occidente de México. *Entomol. Mex.* 1: 260-265.
- Behmer, S. T., and Nes, W. D. (2003). Insect sterol nutrition and physiology: A global overview *Adv. Insect Physiol.* 31, 1-72.
- Behmer, S. T. (2009). Insect Herbivore Nutrient Regulation. *Annual Review of Entomology*. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090537>.
- Bowling, R. D., Brewer, M. J., Kerns, D. L., Gordy, J., Seiter, N., Elliott, N. E., Maxson, E. (2016). Sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae): A new pest on sorghum in North America. *Journal of Integrated Pest Management*. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmw011>.
- Casmuz, A., Juárez, M. L., Socías, M. G., Murúa, M. G., Prieto, S., Medina, S., Gastaminza, G. (2010). Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 69(3-4): 209-231.
- Coqueret, V., Le Bot, J., Larbat, R., Desneux, N., Robin, C., Adamowicz, S. (2017). Nitrogen nutrition of tomato plant alters leafminer dietary intake dynamics. *J Insect Physiol* 99:130-138.
- Chow, A., Chau, A. and Heinz, K. M. (2011). Reducing Fertilization: A Management Tactic Against Western Flower Thrips on Roses. *J. Appl. Entomol.*, 136: 506-529.
- Delgado, C. J. C., R. Garcidueñas P., G. Sánchez S. & M. Ramírez R. (2008). Parasitismo de *Telenomus* sp. sobre huevecillos de chinche café del sorgo (*Oebalus mexicanus* Sailer) en el Bajío de Guanajuato, Mex. *Memoria XXXI Cong. Nal. CB. SMCB. México*. p. 289-293.
- de Souza, M. F., & Davis, J. A. (2019). Determining Potential Hosts of *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae) in the Louisiana Agroecoscape. *Environmental Entomology*. <https://doi.org/10.1093/ee/nvz072>
- Dong, Y. C., Han, P., Niu, C. Y., Zappalà, L., Amiens-Desneux, E., Bearez, P., Lavoit, A. V., Biondi, A. and Desneux, N. (2018). Nitrogen and water inputs to tomato plant do not trigger bottom-up effects on a leafminer parasitoid through host and non-host exposures. *Pest Manag Sci* 74:516-522.

- Douglas, A. E. (2006). Phloem–sap Feeding by Animals: Problems and Solutions. *J. Exp. Bot.*, 57: 747-754.
- Eggert, F. P., Kahrmann, C. L. (1984). Responses of three vegetable crops to organic and inorganic nutrient sources In *Organic farming: current technology and its role in sustainable agriculture*. Madison, US, American Society of Agronomy. Pub. No. 46. p. 79-86.
- Elser, J. J., Fagan, W. F., Denno, R. F., Dobberfuhl, D. R., Folarin, A., Huberty, A., Interlandi, S., Kilham, S. S., McCauley, E., Schulz, K. L., Siemann, E. H. and Sterner, R. W. (2000). Nutritional Constraints in Terrestrial and Freshwater Food Webs. *Nature*, 408: 578-580.
- Evans, H. J., & Sorger, G. J. (1966). Role of Mineral Elements with Emphasis on the Univalent Cations. *Annual Review of Plant Physiology*. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.17.060166.000403>.
- Facknath, S., Lalljee, B. (2005). Effect of soil-applied complex fertilizer on an insect–host plant relationship: *Liriomyza trifolii* on *Solanum tuberosum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*; 15(1):67-77.
- Fallahpour, F., Ghorbani, R., Nassiri Mahallati, M. and Hosseini, M. (2015). Demographic Parameters of *Lipaphis Erysimion* Canola Cultivars under Different Nitrogen Fertilization Regimes. *J. Agric. Sci. Tech.* 17:35-47.
- FAO. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible: [Http://Www.Fao.Org/Faostat/En/#data/QC](http://Www.Fao.Org/Faostat/En/#data/QC). Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- FAOSTAT. (2019). Agricultural Data. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Ferreira, A. B. H. (1986). *Novo Dicionário da Língua Portuguesa Segunda ed.* Rio de Janeiro: Nova Fronteira. p. 1613.
- Fontanetto, H., Keller, O., Belotti, L., Negro, C., & Giailevra, D. (2009). Efecto de diferentes combinaciones de nitrógeno y azufre sobre el cultivo de sorgo granífero. *Jornada de Actualización En Sorgo Granífero*, 21-23.
- Fontanetto, H. y Keller, O. (1999). Fertilización en sorgo. En: *Jornada de intercambio técnico de sorgo. Publicaciones técnicas por cultivo, AAPRESID*. p. 23-31.
- García, C, González, M. B, Cortez, E. (2012). Uso de enemigos naturales y biorracionales para el control de plagas de maíz. *Ra Ximhai* 8(3): 57-70.
- Hogendorp, B., Cloyd, R. and Swiader, J. (2006). Effect of Nitrogen Fertility on Reproduction and Development of Citrus Mealybug, *Planococcus citri* Risso (Homoptera: Pseudococcidae), Feeding on Two Colors of Coleus, *Solenostemon scutellarioides* L. Codd. *Environ. Entomol.*, 35: 201-211.
- Hosseini, A., Hosseini, M., Goldani, M., Karimi, J., & Madadi, H. (2015). Effect of nitrogen fertilizer on biological parameters of the *Aphis craccivora*

- (Hemiptera: Aphididae) and associated productivity losses in common globe amaranth. *Journal of Agricultural Science and Technology*.
- Huber, D. M., Graham, R. D. (1999). The role of nutrition in crop resistance and tolerance to disease, in: Rengel Z. (Ed.), *Mineral nutrition of crops fundamental mechanisms and implications*, Food Product Press, New York, p. 205–226.
- Hsu, Y.-T., Shen, T.-C., & Hwang, S.-Y. (2009). Soil Fertility Management and Pest Responses: A Comparison of Organic and Synthetic Fertilization. *Journal of Economic Entomology*, 102(1), 160-169. doi:10.1603/029.102.0123.
- Ibarra, J. E., Garcia-Suarez, R., Luevano-Borroel, Pena-Martinez, R. (2016). identificación molecular de biotipos del pulgon amarillo del sorgo, *Melanaphis sacchari*, en el estado de Guanajuato. 2016 c. En: Yanez-Lopez (Ed.) *Memoria del Simposio Avances en la investigación del Manejo integrado del Pulgón amarillo del Sorgo en Guanajuato*. p. 11-24.
- Isakeit, T., Odvody, G. N., & Shelby, R. A. (1998). First Report of Sorghum Ergot Caused by *Claviceps africana* in the United States. *Plant Disease*. [https://doi.org/10.1094/pdis.1998.82.5.592^a](https://doi.org/10.1094/pdis.1998.82.5.592a).
- Jadhav, R. B. and Jadhav, L. D. (1978). Studies on preliminary screening of some sorghum hybrid and varieties against earhead midge (*Contarinia sorghicola* Coq.). *Journal of the Maharashtra Agricultural Universities*, 3 (3). p. 187-188.
- Jansson, R. K., Smilowitz, Z. (1985). Influence of nitrogen on population parameters of potato insects: Abundance, development and damage of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 14:500-506.
- Jarecki, M. K., Chong, C., & Voroney, R. P. (2005). Evaluation of compost leachates for plant growth in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1081/PLN-200052639>.
- Kiraly, Z. (1976). Plant disease resistance as influenced by biochemical effects of nutrients and fertilizers. In *Fertilizer Use and Plant Health, Proceedings of Colloquium 12*. Atlanta, G. A.: International Potash Institute, p. 33–46.
- Kiani, M., & Szczepaniec, A. (2018). Effects of sugarcane aphid herbivory on transcriptional responses of resistant and susceptible sorghum. *BMC Genomics*. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-5095-x>.
- Knutson, A., Bowling, R., Brewer, M. J., Bynum, E., & Porter, P. (2016). The sugarcane aphid: management guidelines for grain and forage sorghum in Texas. In *Texas A&M AgriLife Extension and Research*, Texas A&M University:(<http://ccag.tamu.edu/sorghum-insect-pests/>).
- Lara, F. M. (1991). *Princípios de resistência de plantas a insetos*. São Paulo, Ícone, 2 ed. p. 336.

- Lara, F. M., Rossetto, C. J. & Igue, T. (1977). Resistance of the AF-28 sorghum variety to sorghum midge. *Entomol. Exp. Appl.* 21: 238-242.
- Larbat, R., Adamowicz, S., Robin, C., Han, P., Desneux, N., Le Bot, J. (2016). Interrelated responses of tomato plants and the leaf miner *Tuta absoluta* to nitrogen supply. *Plant Biol* 18:495-504.
- Lockeretz, W., Shearer, G., Kohl, D. H. (1981). Organic farming in the corn belt. *Science* 211:540-547.
- Maathuis, F. J. M., and Sanders, D. (1994). Mechanism of high affinity potassium uptake in roots of *Arabidosis thaliana*. *ProC. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 9272-9276.
- Marazzi, C., Patrian, B., Stadler, E. (2004). Secondary metabolites of the leaf surface affected by sulphur fertilization and perceived by the diamondback moth. *Chemoecology*, 14(2): 81-86.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd Ed., Academic Press, San Diego, New York.
- McLaren, N. W. (1994). Efficacy of systemic fungicides and timing of preventative sprays in the control of sugary disease of grain sorghum (*Sorghum bicolor*). *South African Journal of Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1080/02571862.1994.10634289>.
- McLaren, N. W., & Wehner, F. C. (1990). Relationship between Climatic Variables during Early Flowering of Sorghum and the Incidence of Sugary Disease caused by *Sphacelia sorghi*. *Journal of Phytopathology*. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1990.tb01155.x>.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A. (2001). *Principles of Plant Nutrition*. 5th Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Meyer, G. A. (2000). Interactive effects of soil fertility and herbivory on *Brassica nigra*. *Oikos* 22:433-441.
- Mocoeur, A., Zhang, Y. M., Liu, Z. Q., Shen, X., Zhang, L. M., Rasmussen, S. K., & Jing, H. C. (2015). Stability and genetic control of morphological, biomass and biofuel traits under temperate maritime and continental conditions in sweet sorghum (*Sorghum bicolor*). *Theoretical and Applied Genetics*. <https://doi.org/10.1007/s00122-015-2538-5>.
- Molina-Ochoa, J., Carpenter, J. E., Lezama-Gutiérrez, R., Foster, J. E., González-Ramírez, M., Ángel-Sahagún, C. A. and Farías-Larios, J. (2004). Natural distribution of hymenopteran parasitoids of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in México. *Fla. Entomol.* 87: 461-472.
- Montes-García, N., Prom, L. K., Williams-Alanis, H., & Isakeit, T. (2009). Effect of temperature and relative humidity on sorghum ergot development in northern Mexico. *Australasian Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1071/ap09049>.

- Murthy, A. D. and Subramaniam, T. R. (1978). Varietal susceptibility of sorghum to the midge (*Contarinia sorghicola*) coquillett. Madras Agricultural Journal, 65 (3). p. 180-182.
- Nabity, P. D., Zavala, J. A., & Delucia, E. H. (2013). Herbivore induction of jasmonic acid and chemical defences reduce photosynthesis in *Nicotiana attenuata*. Journal of Experimental Botany, 64(2), 685–694. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers364>.
- Nibouche, S., Costet, L., Holt, J. R., Jacobson, A., Pekarcik, A., Sadeyen, J., ... Medina, R. F. (2018). Invasion of sorghum in the Americas by a new sugarcane aphid (*Melanaphis sacchari*) superclone. PLoS ONE. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196124>.
- Nibouche, S., Fartek, B., Mississippi, S., Delatte, H., Reynaud, B., & Costet, L. (2014). Low genetic diversity in *Melanaphis sacchari* aphid populations at the worldwide scale. PLoS ONE. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106067>.
- Ordoñez-García, M., Rios-Velasco, C., Berlanga-Reyes, D. I., Acosta-Muñiz, C. H., Salas-Marina, M. A. and O. J. Camberos-Campos. (2015). Occurrence of natural enemies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Chihuahua, Mexico. Florida Entomologist, 98(3): 843-847.
- Osaki, M. (1995). Ontogenetic changes of N, P, and K contents in individual leaves of field crops. Soil Sci. Plant Nutr. 41: 429–438.
- Peña-Martínez, R., Lomeli-Flores, R., Bujanos, R., Muñoz-Viveros, A. L., Vanegas-Rico, J. M., Salas-Monzón, R., Ibarra-Rendón, J. (2018). Pulgón amarillo del sorgo, (PAS), *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897), interrogantes biológicas y tablas de vida (R. Yáñez-López, Ed.). Nuevo León, México.
- Peña-Martínez, R., Muñoz-Viveros, A. L., Ramos-Espinosa, M. G., & Terrón-Sierra, R. (2015). Listado de plantas hospedantes del complejo *Melanaphis sacchari*/sorgo (Hemiptera: Aphididae), registros internacionales y potenciales en México. Entomología Mexicana, 2(November), 582–587.
- Perrenoud, S. (1990). Potassium and plant health, Vol. 3. International Potash Institute, Basel.
- Rashid, M. M., Jahan, M., & Islam, K. S. (2016). Impact of Nitrogen, Phosphorus and Potassium on Brown Planthopper and Tolerance of Its Host Rice Plants. Rice Science, 23(3), 119-131. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.04.001>.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A., & Terán, A. P. (2015). *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae): A New Sorghum Insect Pest in Mexico. Southwestern Entomologist. <https://doi.org/10.3958/059.040.0217>.
- Rossetto, C. J., Nakano, O. & Banzatto, N. V. (1967). Praga: fator limitante na produção de sorgo granífero. O Agrônomo 19: 1- 2.

- Rurinda, J., Mapfumo, P., van Wijk, M. T., Mtambanengwe, F., Rufino, M. C., Chikowo, R., & Giller, K. E. (2014). Comparative assessment of maize, finger millet and sorghum for household food security in the face of increasing climatic risk. *European Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.12.009>.
- SAGARPA. (2016). 5to Informe de Labores 2016-2017. In Gobierno Federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- Salazar, S. E., Bravo-Mojica, H. y López, J. C. 1993. Hibernación y patrones de migración de la chinche del sorgo, *Oebalus mexicana* (Hemiptera: Pentatomidae) en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 4 (2): 165–177.
- Schuphan, W. (1974). Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments: results of 12 years experiments with vegetables (1960-1972). *Qual. Plant Plant Foods Human Nutr.* 23:333-358.
- SENASICA. (2018). Mapa dinámico fitosanitario. [https://sinavef.senacica.gob.mx/mdf/pulgonamarillodelsorgo\(Melanaphis sacchari\) en Mexico](https://sinavef.senacica.gob.mx/mdf/pulgonamarillodelsorgo(Melanaphis sacchari) en Mexico).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2019). Resumen nacional de la producción agrícola. Cultivo de sorgo para grano (en línea). Consultado octubre 2019. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>
- Simpson, S. J. & Simpson C. L. (1990). The mechanisms of nutritional compensation by phytophagous insects, p. 111-160. In E.A. Bernays (ed.). *Insect-plant interactions*. Volume II. Boca Raton. CRC Press. p. 199.
- Singh, B. U., Padmaja, P. G., & Seetharama, N. (2004). Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Homoptera: Aphididae), in sorghum: A review. *Crop Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.01.004>.
- Sinha, R., Singh, B., Rai, P. K., Kumar, A., Jamwal, S., & Sinha, B. K. (2018). Soil fertility management and its impact on mustard aphid, *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) (Hemiptera: Aphididae). *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1450941>.
- Simpson, S. J., and Raubenheimer, D. (2001). The geometric analysis of nutrient allelochemical interactions: A case study using locusts. *Ecology* 82, 422 – 439
- Slansky Jr. F. & Panizzi A. R. (1987). Nutritional ecology of seed-sucking insects, p. 283-320. In F. Slansky, Jr. & Rodriguez, J. G. (eds.). *Nutritional ecology of insects, mites, spiders and related invertebrates*. New York, Wiley, p. 1066.
- Smith, C. W., Frederiksen, R. A. (2000). *Sorghum: origin, history, technology, and production*. New York, NY. John Wiley and Sons. p. 824.

- Srinivasa, R., Reddy, B. V. S., Nagaraj, N., & Upadhyaya, H. D. (2014). Sorghum production for diversified uses. In *Genetics, Genomics and Breeding of Sorghum*. <https://doi.org/10.1201/b17153>.
- Summers, T. E. (1978). Sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari*. Florida Coop. Plant Pest Rep. 3, p. 496.
- Tari, I., Laskay, G., Takács, Z., & Poór, P. (2013). Response of sorghum to abiotic stresses: A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*. <https://doi.org/10.1111/jac.12017>.
- Tejeda-Reyes, M. A., Diaz-Najera, J. F., Rodriguez-Maciel, C., Vargas-Hernandez, M., Solis-Aguilar, J. F., Ayvar-Serna, S., & Flores-Yanez, J. A. (2017). Evaluation in Field of Insecticides on *Melanaphis sacchari* (Zehntner) in Sorghum. *Southwestern Entomologist*. <https://doi.org/DOI:10.3958/059.042.0223>.
- Thompson, S. N., & Simpson, S. J. (2009). Nutrition. *Encyclopedia of Insects*, 715–720. doi:10.1016/b978-0-12-374144-8.00192-2
- Tziros, G. T., Dordas, C., Tzavella-Klonari, K., Lagopodi, A. L. (2006) Effect of two *Pseudomonas* strains and *Fusarium* wilt of watermelon under different nitrogen nutrition levels, *Proceedings of the 12th Congress of Mediterranean Phytopathological Union*, 11–15 June 2006, Rhodes Island Hellas. p. 585-587.
- Vázquez-Navarro, J. M., Carrillo-Aguilera, J. C., & Cisneros-Flores, B. A. (2016). Estudio poblacional en un cultivar de sorgo forrajero infestado con pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897) (HEMIPTERA: APHIDIDAE) en la Comarca Lagunera. *Entomología Agrícola*, 3, 395–400. Retrieved from <http://www.entomologia.socmexent.org/revista/2016/EA/Em395-400.pdf>.
- Wang, E., Meinke, H., Ryley, M., Herde, D., & Henzell, B. (2000). On the relation between weather variables and sorghum ergot infection. *Australian Journal of Agricultural Research*. <https://doi.org/10.1071/AR99072>.
- Wojcieszka, U., and A. Kocoń. (1997). Reaction of faba bean plants to soil and foliar N application and K nutrition. *Plant Soil*. 19: 23-28.
- Zapata, S. D., Villanueva, R., Sekula, D., Esparza-diaz, G., Duke, K., & Mutaleb, M. (2016). The Economic Impact of the Sugarcane Aphid on Sorghum Production. *Southern Agricultural Economics Association's Annual Meeting*.
- Zavala, J. A. (2010). Respuestas inmunológicas de las plantas frente al ataque de los insectos. *Ciencia Hoy*. 52-59.

III. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA SOBRE LA POBLACIÓN DE *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)

EFFECT OF CHEMICAL FERTILIZATION ON THE POPULATION OF *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)

José Arturo Schlickmann-Tank¹; Oscar Morales-Galván²

3.1. Resumen

El pulgón *Melanaphis sacchari* es considerada la plaga más importante del cultivo de sorgo en México, ya que puede provocar pérdidas de hasta 100% de la producción. La presente investigación se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo durante los años 2018 y 2019 con el objetivo de determinar el efecto de la fertilización química sobre la población de *Melanaphis sacchari* en sorgo. Se estudiaron diferentes niveles de nitrógeno (125, 250 y 500 kg ha⁻¹), fósforo (19.5, 39 y 78 kg ha⁻¹) y potasio (210 y 420 kg ha⁻¹) suministrados a plantas de sorgo sembradas en macetas de polietileno con 6 litros de capacidad en condiciones de invernadero. Las plantas fueron infestadas con un total de 15 ninfas de tercer instar a los 60 días de emergido el cultivo. Se realizó un total de 6 muestreos a intervalos de 7 días, iniciando 7 días después de la infestación. También se realizaron cuantificaciones de proteínas solubles totales, azúcares solubles totales, azúcares reductores, niveles de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio en tejido foliar. Se observó que las dosis más altas de nitrógeno y fósforo incrementaron la población del pulgón, mientras que al incrementar la dosis de potasio la población del pulgón disminuyó considerablemente. También se constató una correlación positiva de la población del pulgón con las concentraciones de proteínas solubles totales, azúcares reductores y niveles de nitrógeno, mientras que con los niveles de potasio en hoja la correlación fue negativa.

Palabras claves: *Melanaphis sacchari*, impacto, nitrógeno, fósforo, potasio.

3.2. Abstract

The aphid *Melanaphis sacchari* is considered the most important pest of sorghum cultivation in Mexico, as it can cause losses in production of up to 100%. This research was conducted at the Universidad Autónoma Chapingo during 2018 and 2019 with the objective of determining the effect of chemical fertilization on the population of *Melanaphis sacchari* in sorghum. Different levels of nitrogen (125, 250 and 500 kg ha⁻¹), phosphorus (19.5, 39 and 78 kg ha⁻¹) and potassium (210 and 420 kg ha⁻¹) were supplied to sorghum plants planted in polyethylene pots with a capacity of 6 liters under greenhouse conditions. The plants were infested with a total of 15 third instar nymphs within 60 days of crop emergence. A total of 6 samplings were carried out at 7-day intervals, these started 7 days after the infestation. Quantifications of total soluble proteins, total sugars, reducing sugars, levels of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium in leaf tissue were also performed. It was observed that higher doses of nitrogen and phosphorus increased the aphid population, while increasing the potassium dose decreased the aphid population considerably. A positive correlation of the aphid population with total soluble protein concentrations, reducing sugars and nitrogen levels was also found, while with potassium levels in leaves the correlation was negative.

Key words: *Melanaphis sacchari*, impact, nitrogen, phosphorus, potassium.

1 Tesista

2 Director

3.3. INTRODUCCIÓN

El pulgón amarillo del sorgo (PAS) *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897) (hemíptera: aphididae) es un áfido originario del continente africano que se ha convertido en una plaga invasiva atacando sorgo en el continente Americano (Zapata et al., 2016). En 2013 llega a México donde las pérdidas fueron de 30 hasta 100% (Knutson et al., 2016; Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2015). Esta plaga ya se encuentra distribuida en todos los estados productores de sorgo en México (Rodríguez-del-Bosque y Terán, 2015; Ibarra et al., 2016; SENASICA, 2018).

La capacidad de las plantas para resistir al ataque de insectos plaga está íntimamente ligada a su fisiología, ya que varía con la edad o el estado de crecimiento de la planta (Simpson y Simpson, 1990; Slansky, 1987), a su vez está directamente relacionada a la cantidad de nutrimentos disponibles y/o asimilables, ya que cumplen roles importantes en su desarrollo (Altieri y Nicolls, 2003). La disponibilidad de nutrientes en el suelo no solo afecta la cantidad de daño que las plantas reciben de los insectos, sino también a la capacidad para recuperarse del ataque (Meyer, 2000).

Entre los nutrientes, el nitrógeno (N) es el que influye más profunda y críticamente en el crecimiento y la reproducción de los insectos herbívoros (Douglas, 2006). Probablemente la explicación sea la gran diferencia en la concentración de N entre insectos herbívoros (6-10%) y los tejidos de las plantas (1.5-3%) (Elser et al., 2000). El aumento de la fertilización nitrogenada con un incremento del nivel de aminoácidos y nitratos en plantas hospederas (Mengel y Kirkby, 2001) puede mejorar la calidad nutricional y el atractivo de las plantas para los insectos herbívoros, ya que mejora los parámetros alimenticios del floema (Douglas, 2006; Fallahpour et al., 2015). Por otra parte, las altas concentraciones de N en el floema tienen un efecto directamente proporcional a la fertilidad de los insectos chupadores, así también en muchos casos puede acelerar el proceso de maduración sexual de muchas especies (Hogendorp et al., 2006; Chow et al., 2011).

Estos fenómenos no solo ocurren con insectos chupadores, larvas de *Tuta absoluta* que se alimentaron de plantas de tomate cultivadas con bajos suministros de nitrógeno, las orugas redujeron su tasa de supervivencia y retrasaron su desarrollo (Larbat et al., 2016; Coqueret et al., 2017; Dong et al., 2018; Blazhevski et al., 2018). Esto se ha atribuido al bajo contenido de proteínas, a una mayor relación C/N foliar, y a una mayor acumulación de compuestos fenólicos y glicoalcaloides constitutivos en las hojas (Larbat et al., 2016).

La nutrición potásica afecta el perfil y distribución de metabolitos primarios en los tejidos vegetales, influyendo en el atractivo de la planta para insectos y patógenos, así como su crecimiento posterior y desarrollo en la planta. Los cambios inducidos por el potasio (K) en las concentraciones de metabolitos son múltiples e incluyen la dependencia del potasio en el metabolismo de enzimas (incluyendo las asociadas con el ácido jasmónico y el ácido salicílico), fotosíntesis y transporte a larga distancia (Amtmann, Troufflard, y Armengaud, 2008). Perrenoud (1990) realizó una compilación de investigaciones relacionadas al efecto benéfico de la fertilización potásica sobre la susceptibilidad de los cultivos al ataque de plagas insectiles y enfermedades. Los resultados indicaron que en el 63 % de las investigaciones la aplicación de K al cultivo disminuyó la incidencia de plagas insectiles y ácaros. Evans y Sorger (1966) demostraron que el K activa enzimas presentes en el metabolismo de azúcares y de nitrógeno. También se ha demostrado que el K está involucrado en la acumulación de nitrógeno y la asimilación de carbono en las plantas, y se ha encontrado una correlación positiva entre el N y el K en varios cultivos como el maíz, arroz y soya (Osaki, 1995; Wojcieszka y Kocoń, 1997).

El fósforo (P) es el segundo nutriente más comúnmente aplicado en la mayoría de los cultivos y es parte de muchas moléculas orgánicas de la célula como el ADN, ARN, ATP y fosfolípidos, así también está involucrado en muchos procesos metabólicos en la planta. Sin embargo, su papel en la resistencia es variable y aparentemente inconsistente (Kiraly, 1976). El P puede actuar como modificador de la susceptibilidad de la planta hospedera al cambiar metabolitos secundarios

como fenoles y terpenos. Cuando esto ocurre la acumulación de compuestos fenólicos (taninos, lignina) actúan como una barrera que tiene efectos disuasorios o directamente tóxicos sobre los insectos herbívoros (Facknath y Lalljee, 2005). En algunos casos, como los reportados por Sinha et al. (2018) el P produjo un efecto represor sobre la población de insectos, donde el pulgón de la mostaza (*Lipaphis erysimi*) disminuyó considerablemente su población al aplicar dosis altas de P. Sin embargo, en la actualidad no se encuentran muchos estudios que puedan sustentar estos resultados.

El presente estudio se realizó bajo la hipótesis de que el desbalance nutricional en el cultivo de sorgo influye sobre la densidad poblacional de PAS. Con base a esta hipótesis se tuvo como objetivo determinar el efecto de la fertilización química sobre la población de *Melanaphis sacchari* (Zehntner) en sorgo.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Condiciones del experimento de campo

El experimento se realizó en un invernadero del departamento de Parasitología Agrícola, en la Universidad Autónoma Chapingo. En el establecimiento del cultivo, se utilizaron semillas de sorgo híbrido UPM-219, la cual se ha observado que tiene una alta susceptibilidad al ataque de *Melanaphis sacchari*.

Las semillas se sembraron en bolsas de polietileno con una capacidad de 6 litros, las cuales se llenaron con suelo proveniente del campo experimental, este suelo presenta una estructura franco arcilloso, con un contenido de 3.4% de materia orgánica, 6.99 ppm de fósforo Bray, 363 ppm de potasio y 5.33 ppm de nitrógeno en forma de nitrato. Donde los niveles de N y P son considerados bajos a medios para este tipo de suelo, en cuanto a los niveles K, estos son considerado medio a alto. En cada maceta se colocaron cinco semillas, de las cuales sólo se conservaron las dos plantas más vigorosas y de mayor porte. El riego mantuvo el suelo a niveles cercanos a capacidad de campo, para mantener un óptimo desarrollo del cultivo.

3.4.2. Tratamientos evaluados

Se realizaron cinco aplicaciones de fertilizante, la primera al momento de la siembra y las restantes cada siete días. Los fertilizantes se pesaron con una balanza analítica de precisión Ohaus Adventurer® y se mezclaron en bolsas de plástico individuales, los cuales se aplicaron manualmente diluidos en agua (Solución). Los fertilizantes empleados fueron Urea (46% N) como fuente de N, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (fosfato de calcio) como fuente de P y KNO_3 (nitrato de potasio) como fuente de K, dosificados en tres niveles, con base a un análisis previo:

- Nivel bajo: mitad de la dosis requerida.
- Nivel medio: dosis óptima.
- Nivel alto: doble de la dosis requerida.

Para el cálculo de la dosis de los nutrientes, se tomaron las necesidades nutricionales para una producción de 8000 kg ha⁻¹ y una densidad de 180,000 plantas ha⁻¹ (Fontanetto y Keller, 2009). El diseño experimental utilizado fue un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con 12 tratamientos y seis repeticiones. Los tratamientos se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Dosis de fertilización suministradas para evaluar el efecto de la fertilización en el desarrollo poblacional de *Melanaphis sacchari*. Chapingo, Estado de México, 2018.

Tratamientos	Nitrógeno	Fosforo	Potasio
	-----	kg·ha ⁻¹ -----	
T1	125	19.5	210
T2	125	39	210
T3	125	78	210
T4	250	19.5	210
T5	250	39	210
T6	250	78	210
T7	500	19.5	210
T8	500	39	210
T9	500	78	210
T10	125	39	420
T11	250	39	420
T12	500	39	420

3.4.3. Infestación de las plantas

Las plantas se infestaron con una cantidad de 15 ninfas de *Melanaphis sacchari*, tercer instar a los 60 días de emergido el cultivo. Las ninfas utilizadas para la infestación fueron obtenidas de una cría de purificación, donde se colocaron cinco hembras adultas (obtenidas de un cultivo de sorgo infestado) sobre círculos de hojas de sorgo de 5 cm de diámetro, los cuales se colocaron previamente en cajas Petri con agar para mantener la turgencia de las hojas. Estas cajas se llevaron a cámara de cría bioclimática durante tres días (25 ± 1 °C, H.R. $60 \pm 5\%$ y fotoperiodo 12:12). A las 24 horas de iniciada la cría se retiraron las hembras adultas y al momento de realizar la infestación de las plantas, la cría se homogenizó dejando 15 ninfas de tercer instar en cada círculo.

3.4.4. Estimación de la densidad de *Melanaphis sacchari* en los distintos tratamientos.

Para la lectura de la población del pulgón se utilizó la escala de monitoreo rápido propuesto por Bowling et al. (2015), la cual consiste en una escala diagramática que permite estimar números aproximados de áfidos por hoja a través de imágenes y promedios. Se evaluó una hoja inferior y una superior de una planta por maceta, realizando un total de seis muestreos a intervalos de siete días, iniciando siete días después de la infestación.

3.4.5. Efecto de la fertilización sobre los componentes bioquímicos del sorgo

Se realizaron dos muestreos de tejidos foliares, uno en estado vegetativo y otro en floración plena. Se realizaron mediciones de azúcares solubles totales por el método de antrona propuesto por Witham et al. (1971), la absorbancia se midió a 600 nm en espectrofotómetro y azúcares reductores (solamente en floración plena) por el método de Somogyi (1952), midiendo la absorbancia a 540 nm en espectrofotómetro. Se realizaron cuantificaciones de proteínas solubles totales, utilizando el método de Bradford (1976) midiendo la absorbancia a 595 nm en

espectrofotómetro. También se realizaron análisis de los nutrimentos nitrógeno, fósforo y potasio. Para N se utilizó el método de microKjeldahl (Bremner, 1965), para P el método de azul de molibdeno (Murphy y Riley, 1962) para el desarrollo de color y se midió la absorbancia a 420 nm en espectrofotómetro (Spectrum 20 Spectrophotometer Bausch & Lomb), mientras que K se determinó por flamometría (Photometer Corning 400) y el Mg por absorción atómica (Phyllis Pye SP9 Spectrophotometer).

3.4.6. Análisis de datos

Los datos poblacionales de *Melanaphis sacchari* se sometieron a un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias con el método de Tukey ($\alpha = 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando un modelo lineal generalizado mediante el procedimiento GLIMMIX, dado que los pulgones presentan una distribución de contagio, se consideró una distribución de Poisson y como función de enlace (Link) al logaritmo natural. Para los parámetros de N, P, K, Mg, proteínas solubles totales, azúcares solubles totales y azúcares reductores se utilizó el modelo general con el procedimiento General Lineal Model, dichos análisis se realizaron con el software estadístico SAS® versión 9.4.

3.5. RESULTADOS

3.5.1. Efecto de la fertilización sobre la población de *Melanaphis sacchari*

En la Figura 1, se visualiza que la población del PAS está en función de los diferentes niveles de macroelementos aplicados N, P y K, de éstos, el nitrógeno fue el elemento que presentó un efecto significativo ($P < 0.0001$) en el incremento de la población de PAS, presentando una correlación positiva, es decir a mayor nitrógeno aplicado mayor será la densidad de pulgones. Este comportamiento tiene una tendencia aritmética, dado al pasar el N de 125 a 259 kg ha⁻¹, casi se duplica la densidad del pulgón. No obstante, después de 259 kg ha⁻¹ la densidad del PAS tiene una ligera reducción, esto se puede deber a la competencia intraespecífica (Applebaum y Heifetz, 1999). Según Honek (1993) al aumentar la población de los insectos los recursos nutricionales disminuyen, esto se traduce

en una disminución de la fertilidad debido a la disminución del tamaño de las hembras.

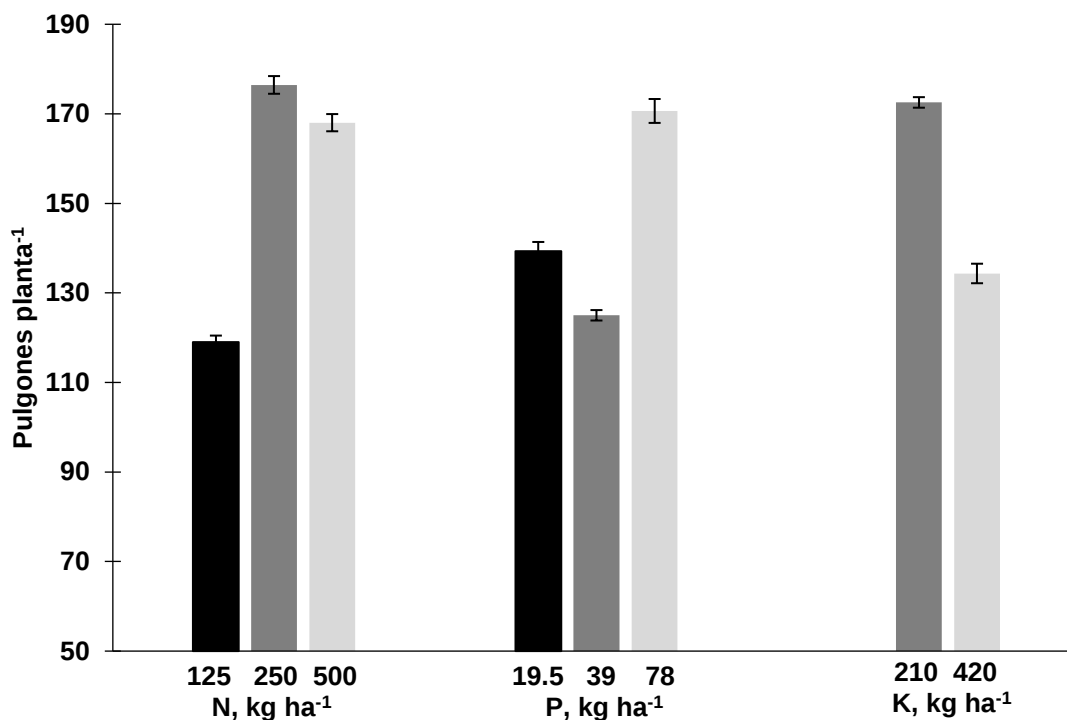


Figura 1. Efecto del N, P y K sobre la población del PAS. Las barras indican el error estándar (ES).

En el caso del fósforo, se observa una relación positiva con la densidad del PAS, dado que al incrementarse la dosis de P se incrementa la densidad de la plaga ($P < 0.0001$), es decir al pasar de 39 kg ha⁻¹ a 78 kg ha⁻¹ la población se incrementa en un 36%.

Al contrario de lo que ocurre con los dos elementos anteriores, al incrementarse al doble la dosis de potasio, se observa una reducción considerable del número de pulgones estimados por planta.

En la Figura 2 se puede apreciar la evolución de la población del PAS en respuesta a diferentes niveles de fertilización, donde se evidencia un incremento gradual en los niveles superiores de fertilización de N y P (Fig. 2 A, B), en cambio en el caso del K (Fig. 2 C) ocurrió lo opuesto.

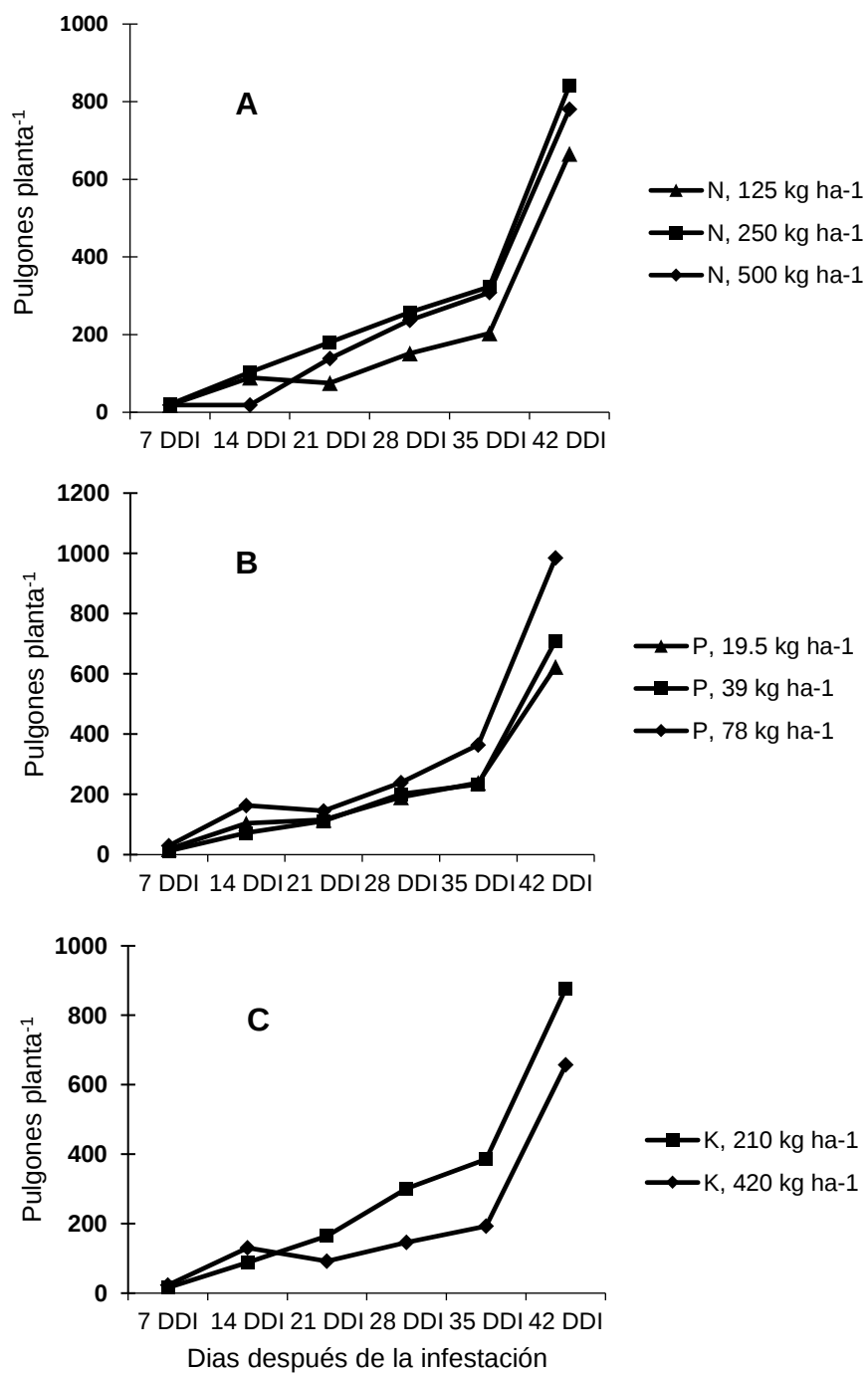


Figura 2. Dinámica poblacional del PAS en respuesta a los diferentes niveles de N, P y K.

3.5.2. Efecto de la fertilización sobre los componentes bioquímicos del sorgo

En los cuadros 4 y 5 se puede observar que los resultados de los análisis foliares mostraron que las dosis N tuvo una correlación positiva con la concentración de N en hoja, resultados similares se tuvieron con las concentraciones de P en respuesta a las dosis de P y las concentraciones K en respuesta a las dosis de K en las dos fechas de evaluación. Las concentraciones de K, Mg, proteínas solubles totales y azúcares solubles totales presentaron diferencias significativas en las diferentes dosis de nitrógeno aplicado, presentándose una correlación positiva con el magnesio y las proteínas solubles totales, y viceversa con el K y los azúcares solubles totales; mientras que para las concentraciones de P y azúcares reductores las aplicaciones de nitrógeno resultaron no significativas.

En las dos evaluaciones realizadas, las aplicaciones de fósforo resultaron no significativas para las concentraciones de N, K, proteínas solubles totales y azúcares reductores; sin embargo, la adición de fósforo al cultivo generó un efecto significativo sobre las concentraciones de Mg y de azúcares solubles totales, observándose una correlación positiva en ambos casos.

Las aplicaciones de potasio al cultivo presentaron un efecto significativo sobre las concentraciones de azúcares reductores y azúcares solubles totales en el segundo muestreo (Cuadro 5), donde se puede observar un marcado descenso en de éstos con el incremento en la dosis de potasio. Las concentraciones de Mg

En cuanto a las concentraciones de proteínas solubles totales, concentraciones de Mg, N y P la aplicación de potasio resultó no significativa (Cuadro 4; Cuadro 5). Se puede evidenciar también que en la segunda evaluación todos los componentes bioquímicos considerados mostraron una disminución en sus concentraciones.

Cuadro 4. Efecto del N, P y K sobre componentes bioquímicos en la etapa vegetativa del sorgo.

Niveles de fertilización	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Magnesio (%)	Proteínas solubles totales (%)	Azúcares solubles totales (gr/100 g de tejido fresco)	Azúcares reductores (mg de glucosa/100 g de tejido fresco)
Niveles de Nitrógeno							
125 kg ha ⁻¹	2.376	0.366	4.386	0.487	14.848	13.166	-
250 kg ha ⁻¹	2.600	0.382	4.331	0.597	16.251	12.195	-
500 kg ha ⁻¹	2.775	0.292	3.690	0.736	17.345	11.260	-
E. S. (±)	0.330	0.073	0.457	0.170	2.063	1.700	-
Niveles de Fósforo							
19.5 kg ha ⁻¹	2.559	0.284	4.119	0.490	15.993	10.667	-
39 kg ha ⁻¹	2.566	0.342	4.284	0.676	16.036	12.618	-
78 kg ha ⁻¹	2.644	0.417	4.056	0.586	16.528	12.925	-
E. S. (±)	0.330	0.073	0.457	0.170	2.063	1.700	-
Niveles de Potasio							
210 kg ha ⁻¹	2.628	0.350	4.105	0.643	16.427	12.770	-
420 kg ha ⁻¹	2.450	0.336	4.229	0.798	15.313	12.618	-
E. S. (±)	0.330	0.073	0.457	0.170	2.063	1.700	-

E. S. = Error estándar de la media.

Cuadro 5. Efecto del N, P y K sobre componentes bioquímicos en la etapa reproductiva del sorgo.

Niveles de fertilización	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Magnesio (%)	Proteínas solubles totales (%)	Azúcares solubles totales (gr/100 g de tejido fresco)	Azúcares reductores (mg de glucosa/100 g de tejido fresco)
Niveles de Nitrógeno							
125 kg ha ⁻¹	2.077	0.302	4.226	0.492	12.979	10.837	5.017
250 kg ha ⁻¹	2.689	0.309	3.942	0.495	16.807	8.681	5.525
500 kg ha ⁻¹	2.832	0.305	3.364	0.688	17.701	9.591	5.636
E. S. (±)	0.433	0.053	0.667	0.081	2.707	0.879	0.341
Niveles de Fósforo							
19.5 kg ha ⁻¹	2.399	0.234	3.874	0.478	14.997	9.519	6.281
39 kg ha ⁻¹	2.571	0.313	4.180	0.555	16.066	8.942	6.060
78 kg ha ⁻¹	2.590	0.362	4.141	0.646	16.188	11.410	6.504
E. S. (±)	0.433	0.053	0.667	0.081	2.707	0.879	0.341
Niveles de Potasio							
210 kg ha ⁻¹	2.636	0.300	3.610	0.560	15.847	10.041	5.796
420 kg ha ⁻¹	2.524	0.320	4.547	0.552	15.774	8.688	3.517
E. S. (±)	0.433	0.053	0.667	0.081	2.707	0.879	0.341

E. S. = Error estándar de la media.

3.5.3. Relaciones entre la población del PAS y los componentes bioquímicos en las plantas de sorgo

En las Figura 3 se resumen todas las relaciones de las poblaciones del PAS con los componentes bioquímicos del sorgo (N, P, K, Mg, proteínas solubles totales, azúcares solubles totales y azúcares reductores). La población del PAS se correlacionó positivamente con concentraciones de N ($r = 0.6935$), proteínas solubles totales ($r = 0.7797$) y azúcares reductores ($r = 0.5602$), pero negativamente con el contenido de K ($r = -0.7692$) en hojas de sorgo. Con los demás componentes no se observó una correlación aparente.

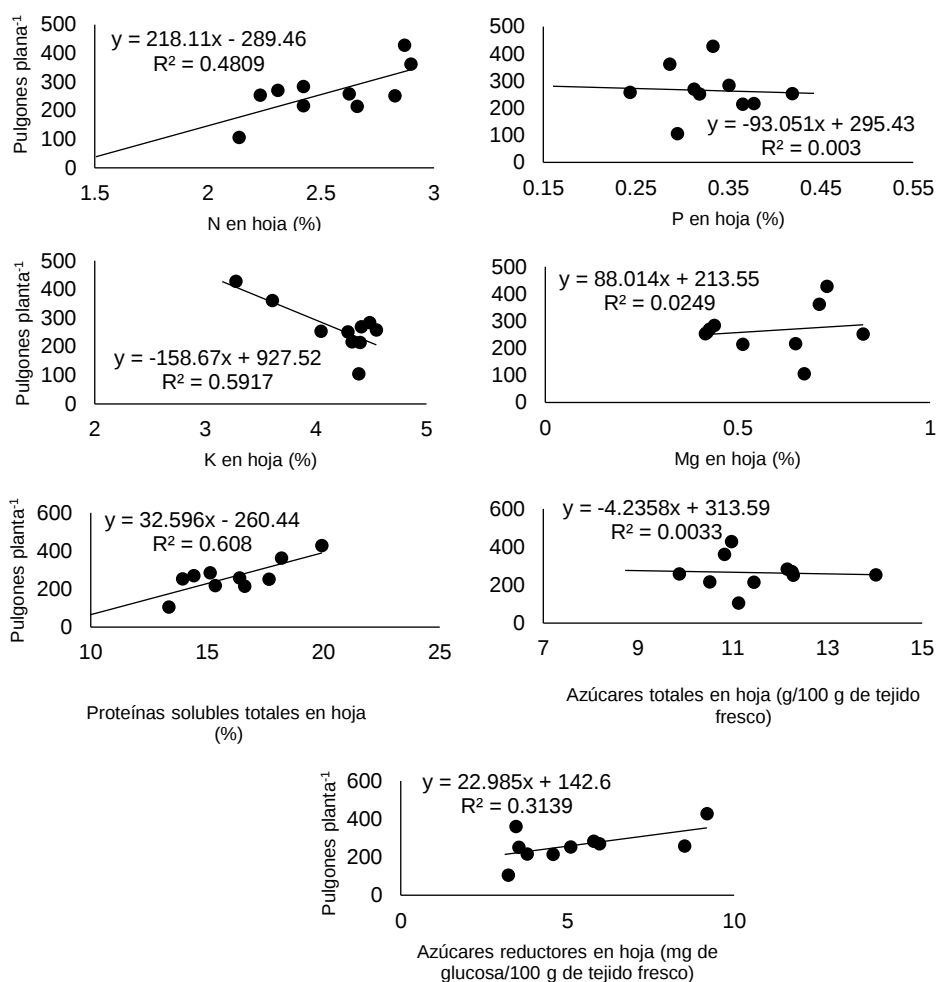


Figura 3. Relación entre la población del PAS y componentes bioquímicos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), proteínas solubles totales, contenido de azúcares solubles totales y contenido de azúcares reductores en las plantas de sorgo.

3.6. DISCUSIÓN

La fertilización es uno de los pilares más importantes en la producción agrícola, y el sorgo no es una excepción. Los nutrientes esenciales N, P y K que son aplicados al sorgo en diferentes formas de fertilizantes para mantener la fertilidad del suelo y evitar que las deficiencias de estos nutrientes limiten el rendimiento de este cultivo. El nutriente más utilizado en el cultivo de sorgo es el N seguido del P. Normalmente las recomendaciones de aplicación de los nutrientes N, P y K son en tasas de 190, 40 y 00 kg ha⁻¹, respectivamente (Díaz de León et al., 2008), pero en ocasiones los agricultores superan estos niveles con la expectativa de obtener una mayor producción.

En este estudio la fertilización nitrogenada tuvo un impacto importante sobre la población del PAS, observándose un aumento significativo de la misma al incrementarse la dosis de N al cultivo; resultados similares se observaron en el primer reporte de la influencia de la fertilización nitrogenada sobre el PAS realizado por Lama et al. (2019). Varios estudios reportan que la fertilización nitrogenada excesiva provoca un incremento en la tasa de fecundidad de los áfidos, estimulando un aumento excesivo de la población (Aqueel y Leather, 2011; Aziz et al., 2018; Gash, 2012; A. Hosseini et al., 2015; M. Hosseini et al., 2010; Jansson y Ekbom, 2002; Rostami et al., 2012). Según Bala et al. (2018) dosificaciones excesivas de N dan como resultado plantas verdes, succulentas, que atraen la población de plagas. Las plantas con excesiva fertilización nitrogenada aumentan su peso seco, área foliar, como también el contenido de clorofila en hoja y el rendimiento del grano. Juntamente con lo anterior el aumento de la dosis de N promueve la acumulación de proteínas, aminoácidos libres y azúcares que pueden atraer a los insectos. Resultados contrastantes se obtuvieron en el presente estudio donde el contenido de proteínas totales y azúcares reductores presentaron una correlación positiva con la población del PAS, estos a su vez tuvieron un incremento directamente proporcional al aumento de la dosis de N. Behmer (2009) propone que el equilibrio de nutrientes en las dietas de los animales es la base de la mayoría de la partes de su estado

físico, a esto lo llamó “geometrical framework” (marco geométrico). Esta teoría supone que los animales ingieren una cantidad óptima de alimento para satisfacer su demanda. Dependiendo de la composición de los alimentos, esta cantidad óptima determina su “objetivo de ingesta de alimentos”, y a medida que se distancia de la ingesta real da como resultado importantes costos de acondicionamiento físico. Esta teoría contrasta con los resultados de nuestro estudio, donde se observó un desarrollo menor en la población del PAS en dosis bajas de N. Esta teoría sugiere que los pulgones se alimentaron hasta cubrir sus requerimientos óptimos de N, pero a su vez tuvieron un exceso en la ingesta de carbohidratos (Cuadro 4; Cuadro 5); todo este exceso de carbohidratos requiere un costo de acondicionamiento físico para su eliminación.

Por otro lado, al incrementar la dosis de N al doble del requerimiento de la planta se nota una leve disminución en la población del PAS. Sauge et al. (2010) observaron que la población de *Myzus persicae* se mantuvo estable en los niveles bajos de N y disminuyó levemente en los niveles altos de N, mostrando una respuesta parabólica al nivel de N. Las hipótesis más consideradas para este fenómeno son la toxicidad por un contenido excesivo de metabolitos en el floema de la planta y la disminución de la fecundidad de las hembras por una disminución de tamaño por la escasez de recursos nutricionales (Honek, 1993)

En desacuerdo con los resultados del presente estudio, Choudhary et al. (2001) reportaron un significativo aumento en la población de *Myzus persicae* en canola fertilizada evasivamente con N. En cambio, muchas investigaciones refuerzan los obtenidos en nuestro estudio. En un estudio realizado con *Aphis craccivora* en ornamentales Hosseini et al. (2015) observaron que al incrementar los niveles de fertilización nitrogenada aumentaba drásticamente la población del áfido. En un trabajo conducido por Sinha et al. (2018) se reportó un incremento en la población del pulgón *Lipaphis erysimi* con altas dosis de N en mostaza, resultados similares tuvieron Fallahpour et al. (2015) con la misma plaga en canola.

El P en nuestro estudio tuvo un efecto significativo sobre la población del PAS, observándose un incremento de la población al suministrar dosis elevadas de P

al cultivo. En una compilación de estudios sobre los efectos de la nutrición en plantas sobre la orden hemíptera Singh y Sood (2017) encontraron que en el 50 % de los casos la fertilización fosforada tuvo una correlación positiva con la población de los insectos, ya sea aumentándola o mejorando algún parámetro biológico. En la otra mitad de los casos, el efecto fue inverso. Apoyando los resultados del presente estudio, Rashid et al. (2014) encontraron que al elevar la dosis de P en arroz se incrementaba marcadamente la población de *Nilaparvata lugens*. Resultados similares reportaron Dash et al. (2007) sobre la misma plaga.

En desacuerdo con nuestros resultados, El-Zahi et al. (2012) encontraron que la aplicación de P disminuía la incidencia de *Bemisia tabaci* en algodón. Apoyando estos resultados Sinha et al. (2018) y Pandey (2010) observaron una disminución en la población del pulgón de la mostaza en dosis altas de P. Explicando estos resultados, Facknath y Lalljee (2005) mencionan que altas concentraciones de P disminuyen el atractivo del hospedante ante plagas insectiles mediante la acumulación de compuestos fenólicos (ejemplo tanino y lignina), que actúan como una barrera teniendo efectos disuasorios o directamente tóxicos sobre los insectos. En contraparte, apoyando nuestros resultados, Bala et al. (2018) mencionan que una fertilización excesiva de fosforo puede provocar un crecimiento exuberante de las plantas resultando más atractivas para algunos insectos. En el caso del presente estudio, esta atracción se puede explicar por un aumento de las proteínas totales generado por el incremento de la dosis de P (Cuadro 4), ya que se observó una correlación positiva entre la concentración de proteínas totales hoja y la población del PAS (Fig. 3).

En la actualidad se tiene bien presente que el K influye en varios procesos fisiológicos y bioquímicos que tienen relevancia con la susceptibilidad de las plantas a insectos (Amtmann et al., 2008). En nuestro estudio el incremento de la dosis de K tuvo un efecto negativo sobre la población del PAS. Estos resultados se pueden atribuir a que con altas dosis de K la absorción de N por la planta disminuyó considerablemente, también se observó una correlación negativa con la concentración de azúcares reductores (Cuadro 4). Wyn-Jones y Pollard (1983)

demostraron que más de 60 enzimas dependen de la actividad del K, donde muchas de ellas están involucradas en el metabolismo de azúcares y del nitrógeno. Bajas dosis de K en los cultivos dan como resultado una acumulación de azúcares solubles, en especial los reductores en hojas (Bednarz y Oosterhuis, 1999; Huber, 1984; Pettigrew, 1999). El K también cumple la función de osmorregulador y transporte a larga distancia de metabolitos, resultando indispensable para la movilización de metabolitos primarios en la planta (Amtmann et al., 2008), lo que puede explicar la acumulación de proteínas en las hojas en nuestro estudio.

Muchos estudios comprueban el efecto negativo que presenta el K sobre las plagas, entre ellos se encuentra el de Rashid et al. (2014) que evaluó el efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en arroz, donde encontraron que al elevar la dosis de K la población de *Nilaparvata lugens* se reducía significativamente. Liu et al. (2013) encontraron que, en niveles bajos de fertilización potásica, la fecundidad de *Nilaparvata lugens* aumentaba considerablemente. Estudios realizados recientemente refuerzan la fuerte influencia del K sobre el desarrollo de insectos herbívoros. Sinha et al. (2018) reportaron que la fertilización potásica redujo el ataque del pulgón de la mostaza *Lipaphis erysimi* al cultivo.

3.7. CONCLUSIONES

Aunque son necesarias más investigaciones sobre el efecto de la fertilización sobre el PAS, se puede concluir que los resultados obtenidos en este estudio muestran claramente que la fertilización con N, P y K generan efectos notables sobre los principales parámetros nutricionales del sorgo y estos a su vez sobre el atractivo y susceptibilidad al PAS, siendo los más notorios las proteínas solubles totales, azúcares reductores, concentraciones de N y K en hoja. Los tres primeros componentes presentaron correlaciones positivas sobre la población del PAS y el K se presentó como un antagonista de esta (Fig. 3). Comprender las complejas interacciones que existen entre la planta, el insecto y los nutrientes son la clave para incluir la nutrición de cultivos al plan de manejo. Los resultados obtenidos

en este estudio sirven como una táctica a ser tomada en cuenta para un manejo integral de la plaga en el cultivo de sorgo.

3.8. LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A. y Nicolls, C. I. (2003). Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil & Tillage Research* 72:203-211.
- Amtmann, A., Troufflard, S., & Armengaud, P. (2008). The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01075.x>.
- Aqueel, M. A., & Leather, S. R. (2011). Effect of nitrogen fertilizer on the growth and survival of *Rhopalosiphum padi* (L.) and *Sitobion avenae* (F.) (Homoptera: Aphididae) on different wheat cultivars. *Crop Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.09.013>.
- Applebaum, S. W., Heifetz, Y. (1999). Density-dependent physiological phase in insects. *Annual Review of Entomology*.44:317-341.
- Aziz, S. M., Akter, T., Ali, M., Nasif, S. O., Shahriar, S. A., & Nowrin, F. (2018). Effect of Nitrogen , Phosphorus and Potassium (NPK) Application on Insect Pests Infesting Transplanting Aman Rice (*Oryza sativa* L .). *Asian Research Journal of Agriculture*, 9(3), 1–15. <https://doi.org/10.9734/ARJA/2018/42953>.
- Bala, K., Sood, A., Singh Pathania, V., & Thakur, S. (2018). Effect of plant nutrition in insect pest management: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*.
- Bednarz, C. W., & Oosterhuis, D. M. (1999). Physiological changes associated with potassium deficiency in cotton. *Journal of Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/01904169909365628>.
- Behmer, S. T. (2009). Insect Herbivore Nutrient Regulation. *Annual Review of Entomology*. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090537>
- Blazhevski, S., Kalaitzaki, A. P., Tsagkarakis, A. E. (2018). Impact of nitrogen and potassium fertilization regimes on the biology of the tomato leaf miner *Tuta absoluta*. *Entomol Gen* 37:157-174.
- Bowling, R. D., Brewer, M., Knutson, A., Way, M., Porter, P., Bynum, E., Allen, C., Villanueva, R. (2015). Monitoreo de Pulgón Amarillo en Sorgo. Texas A&M AgriLife Extension Service. Texas A&M AgriLife Research. Disponible en: www://ccag.tamu.edu/files/2015/11/ScoutCard-Español_lista.pdf
- Bradford, M. M., (1976). "A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dyebinding". *Anal. Biochem.* 72: 248-254.
- Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: Black, C.A. et al. (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*.

- Choudhary, A. K., Ramesh, L., & Sharma, V. (2001). Incidence of mustard aphid (*Lipaphis erysimi* Kalt and *Myzus persicae* sulzer) in Brassica species at varying fertility levels in the mid-hill zone of Himachal Pradesh. *Insect Environment*, 7(2), 58–59.
- Chow, A., Chau, A. and Heinz, K. M. (2011). Reducing Fertilization: A Management Tactic Against Western Flower Thrips on Roses. *J. Appl. Entomol.*, 136: 506-529.
- Coqueret, V., Le Bot, J., Larbat, R., Desneux, N., Robin, C., Adamowicz, S. (2017). Nitrogen nutrition of tomato plant alters leafminer dietary intake dynamics. *J Insect Physiol* 99:130-138.
- Dash, D., Rath, L. K., & Mishra, B. K. (2007). Studies on nutrient status in rice foliage and its relationship with leaf folder and brown planthopper incidence. *Indian Journal of Plant Protection*.
- Díaz de León, T. J., Mejía Á. C., Hurtado G. B. (2008). Recomendaciones de fertilización para mejorar la nutrición. Bócolí., INIFAP, Campo Experimental Bajío. Folleto desplegable no.2.
- Dong, Y. C., Han, P., Niu, C. Y., Zappalà, L., Amiens-Desneux, E., Bearez, P., Lavoit, A. V., Biondi, A. and Desneux, N. (2018). Nitrogen and water inputs to tomato plant do not trigger bottom-up effects on a leafminer parasitoid through host and non-host exposures. *Pest Manag Sci* 74:516-522.
- Douglas, A. E. (2006). Phloem–sap Feeding by Animals: Problems and Solutions. *J. Exp. Bot.*, 57: 747–754.
- Elser, J. J., Fagan, W. F., Denno, R. F., Dobberfuhl, D. R., Folarin, A., Huberty, A., Interlandi, S., Kilham, S. S., McCauley, E., Schulz, K. L., Siemann, E. H. and Sterner, R. W. (2000). Nutritional Constraints in Terrestrial and Freshwater Food Webs. *Nature*, 408: 578-580.
- El-Zahi, Arif, E.S., Jehan, S. A., El-Naggar, B. A., Madeha and El-Dewy, E. H. (2012). Inorganic fertilization of cotton field-plants in relation to sucking insects and yield production components of cotton plants. *Journal of American Science* 8(2): 509-517.
- Evans, H. J., & Sorger, G. J. (1966). Role of Mineral Elements with Emphasis on the Univalent Cations. *Annual Review of Plant Physiology*. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.17.060166.000403>.
- Facknath, S., & Lalljee, B. (2005). Effect of soil-applied complex fertiliser on an insect-host plant relationship: *Liriomyza trifolii* on *Solanum tuberosum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2005.00288.x>.
- Fallahpour, F., Ghorbani, R., Nassiri Mahallati, M., & Hosseini, M. (2015). Demographic parameters of *Lipaphis erysimi* on canola cultivars under different nitrogen fertilization regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology*.

- Fontanetto, H., Keller, O., Belotti, L., Negro, C., & Giailevra, D. (2009). Efecto de diferentes combinaciones de nitrógeno y azufre sobre el cultivo de sorgo granífero. *Jornada de Actualización En Sorgo Granífero*, 21–23.
- Gash, A. F. J. (2012). Wheat Nitrogen Fertilisation Effects on the Performance of the Cereal Aphid *Metopolophium dirhodum*. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy2010001>.
- Hogendorp, B., Cloyd, R. and Swiader, J. (2006). Effect of Nitrogen Fertility on Reproduction and Development of Citrus Mealybug, *Planococcus citri* Risso (Homoptera: Pseudococcidae), Feeding on Two Colors of Coleus, *Solenostemon scutellarioides* L. Codd. *Environ. Entomol.*, 35: 201-211.
- Honek, A. (1993). Intraspecific variation in body size and fecundity in insects: a general relationship. - *Oikos* 66: 483-492.
- Hosseini, A., Hosseini, M., Goldani, M., Karimi, J., & Madadi, H. (2015). Effect of nitrogen fertilizer on biological parameters of the *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) and associated productivity losses in common globe amaranth. *Journal of Agricultural Science and Technology*.
- Hosseini, M., Ashouri, A., Enkegaard, A., Goldansaz, S. H., Mahalati, M. N., & Hosseininaveh, V. (2010). Performance and population growth rate of the cotton aphid, and associated yield losses in cucumber, under different nitrogen fertilization regimes. *International Journal of Pest Management*. <https://doi.org/10.1080/09670870903248827>.
- Huber, S. C. (1984). Biochemical basis for effects of K-deficiency on assimilate export rate and accumulation of soluble sugars in soybean leaves. *Plant Physiology*. <https://doi.org/10.1104/pp.76.2.424>.
- Ibarra, J. E., García-Suárez, R., Luévano-Borroel, J., Peña-Martínez, R. (2016). Identificación molecular de biotipos del pulgón amarillo del sorgo, *Melanaphis sacchari*, en el estado de Guanajuato. 2016 c. En: Yañez-López (Ed.) Memoria del Simposio Avances en la investigación del Manejo integrado del Pulgón amarillo del Sorgo en Guanajuato. p. 11-24.
- Jansson, J., & Ekbohm, B. (2002). The effect of different plant nutrient regimes on the aphid *Macrosiphum euphorbiae* growing on petunia. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. <https://doi.org/10.1023/A:1021247924770>
- Kiraly, Z. (1976). Plant disease resistance as influenced by biochemical effects of nutrients and fertilizers. In *Fertilizer Use and Plant Health, Proceedings of Colloquium 12*. Atlanta, G. A.: International Potash Institute. p. 33–46.
- Knutson, A., Bowling, R., Brewer, M. J., Bynum, E., & Porter, P. (2016). The sugarcane aphid: management guidelines for grain and forage sorghum in Texas. In *Texas A&M AgriLife Extension and Research, Texas A&M University*: (<http://ccag.tamu.edu/sorghum-insect-pests/>).
- Lama, L., Wilson, B. E., Davis, J. A., & Reagan, T. E. (2019). Influence of Sorghum Cultivar, Phenological Stage, and Fertilization on Development and Reproduction of *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). *Florida*

- Entomologist*. <https://doi.org/10.1653/024.102.0131>.
- Larbat, R., Adamowicz, S., Robin, C., Han, P., Desneux, N., Le Bot, J. (2016). Interrelated responses of tomato plants and the leaf miner *Tuta absoluta* to nitrogen supply. *Plant Biol* 18:495–504.
- Liu, J. L., Zhang, H. M., Chen, X., Yang, X., & Wu, J. C. (2013). Effects of rice potassium level on the fecundity and expression of the vitellogenin gene of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2013.06.001>.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A. (2001). Principles of Plant Nutrition. 5th Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Meyer, G. A. (2000). Interactive effects of soil fertility and herbivory on *Brassica nigra*. *Oikos* 22:433-441.
- Murphy, J. y Riley, I. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-6.
- Osaki, M. (1995). Ontogenetic changes of N, P, and K contents in individual leaves of field crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 41: 429-438.
- Pandey, A. K. (2010). Effect of nitrogen, phosphorus and potash on mustard aphid and yield attributing characters of mustard in coldarid region (Ladakh). *Indian Journal of Entomology*, 72(2), 117-121
- Perrenoud, S. (1990). Potassium and plant health, Vol. 3. International Potash Institute, Basel.
- Pettigrew, W. T. (1999). Potassium deficiency increases specific leaf weights and leaf glucose levels in field-grown cotton. *Agronomy Journal*. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.916962x>.
- Rashid, M., Jahan, M., Islam, K., Bari, M., & Haque, S. (2014). Effect of Nutrient Management on Population Growth of Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Bangladesh Rice Journal*. <https://doi.org/10.3329/brj.v17i1-2.20900>.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A., & Terán, A. P. (2015). *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae): A New Sorghum Insect Pest in Mexico . *Southwestern Entomologist*. <https://doi.org/10.3958/059.040.0217>.
- Rostami, M., Zamani, A., Goldasteh, S., Shoushtari, R., & Kheradmand, K. (2012). Influence of nitrogen fertilization on biology of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) reared on *Chrysanthemum iindicum* (Asteraceae). *Journal of Plant Protection Research*. <https://doi.org/10.2478/v10045-012-0019-2>
- Sauge, M. H., Grechi, I., & Poëssel, J. L. (2010). Nitrogen fertilization effects on *Myzus persicae* aphid dynamics on peach: Vegetative growth allocation or chemical defence? *Entomologia Experimentalis et Applicata*. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2010.01008.x>.
- SENASICA. (2018). Mapa dinámico fitosanitario.

<https://sinavef.senacica.gob.mx/mdf/pulgonamarillodelsorgo> (Melanaphis sacchari) en Mexico.

- Slansky Jr. F. & Panizzi A. R. (1987). Nutritional ecology of seed-sucking insects, p. 283-320. In F. Slansky, Jr. & Rodriguez, J. G. (eds.). Nutritional ecology of insects, mites, spiders and related invertebrates. New York, Wiley. p. 1066.
- Singh, V., & Sood, A. K. (2017). Plant Nutrition: A tool for the management of hemipteran insect-pests-A review. *Agricultural Reviews*. <https://doi.org/10.18805/ag.r-1637>.
- Sinha, R., Singh, B., Rai, P. K., Kumar, A., Jamwal, S., & Sinha, B. K. (2018). Soil fertility management and its impact on mustard aphid, *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) (Hemiptera: Aphididae). *Cogent Food & Agriculture*. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1450941>.
- Simpson, S. J. & Simpson C. L. (1990). The mechanisms of nutritional compensation by phytophagous insects, p. 111-160. In E.A. Bernays (ed.). Insect-plant interactions. Volume II. Boca Raton, CRC Press, 199 p.
- Somogyi, M. (1952). Notes of sugar determination. *J Biol Chem.*;195:19-23.
- Tari, I., Laskay, G., Takács, Z., & Poór, P. (2013). Response of sorghum to abiotic stresses: A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*. <https://doi.org/10.1111/jac.12017>.
- Witham, F. H., Blaydes, D. F., Devlin, R. M. (1971). Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold C. New York, USA. p. 245.
- Wojcieszka, U., and A. Kocoń. (1997). Reaction of faba bean plants to soil and foliar N application and K nutrition. *Plant Soil*. 19: 23-28.
- Wyn-Jones, R. J., Pollard, A. (1983). Proteins, enzymes and inorganic ions. In: Lauchli A, Pirson A (eds) Encyclopedia of Plant Physiology. Springer, Berlin. p. 528-562.
- Zapata, S. D., Villanueva, R., Sekula, D., Esparza-diaz, G., Duke, K., & Mutaleb, M. (2016). The Economic Impact of the Sugarcane Aphid on Sorghum Production. *Southern Agricultural Economics Association's Annual Meeting*.