



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

**EFFECTO DEL DESBALANCE NUTRICIONAL DE NITRÓGENO
SOBRE LA POBLACIÓN DE *Myzus persicae* (HEMIPTERA:
APHIDAE) Y *Bactericera cockerelli* (HEMIPTERA:
TRIOZIDAE) EN *Solanum tuberosum* (SOLANACEAE)**

Tesis

Que como requisito parcial

para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Protección Vegetal

PRESENTA:

Daniel Estiven Quiroga Murcia



Bajo la supervisión de:

Hector Lozoya Saldaña

DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México, noviembre de 2018

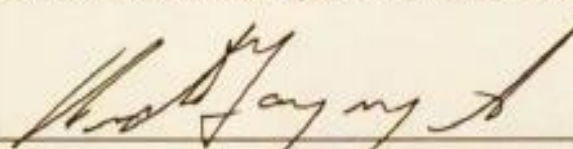


**"EFECTO DEL DESBALANCE NUTRICIONAL DE NITRÓGENO
SOBRE LA POBLACIÓN DE *Myzus persicae* (HEMIPTERA:
APHIDAE) Y *Bactericera cockerelli* (HEMIPTERA: TRIOZIDAE)
EN *Solanum tuberosum* (SOLANACEAE)"**

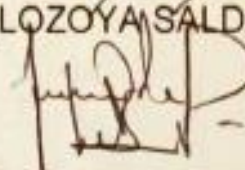
Tesis realizada por **DANIEL ESTIVEN QUIROGA MURCIA**, bajo la supervisión del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

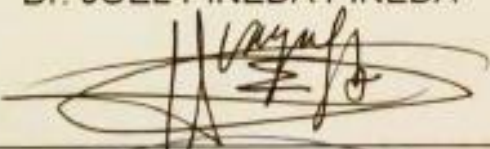
Director:


Dr. HÉCTOR LOZOYA SALDAÑA

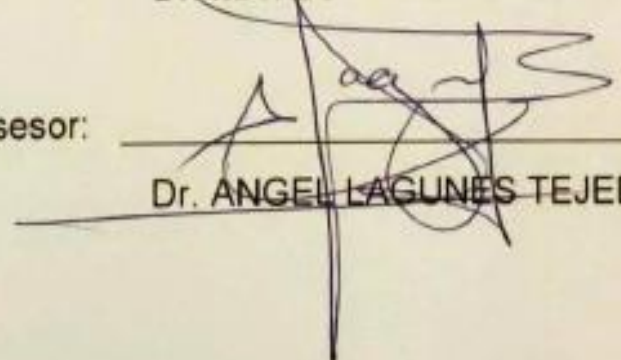
Asesor:


Dr. JOEL PINEDA PINEDA

Asesor:


Dr. MATEO VARGAS HERNANDEZ

Asesor:


Dr. ANGEL LAGUNES TEJEDA

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	13
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1. Fenología y requerimientos edafoclimáticos de la papa	17
2.2. La Variedad Ágata.....	20
2.3. Plagas y enfermedades	20
2.4. Fertilización nitrogenada y la ecología de las plagas	26
2.5. literatura citada	29
3. EFECTO DEL DESBALANCE NUTRICIONAL DE NITRÓGENO SOBRE LA POBLACIÓN DE <i>Myzus persicae</i> (HEMIPTERA: APHIDAE) Y <i>Bactericera</i> <i>cockerelli</i> (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) EN <i>Solanum tuberosum</i> (SOLANACEAE)	1
4. APÉNDICE.....	0

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Fuentes y dosis usadas en la investigación; todas fueron ajustadas descontando la cantidad aproximada de nitrógeno aportada por la mineralización de la materia orgánica 0,7 gr planta ⁻¹	17
Cuadro 2. Análisis de la población de los insectos en cada uno de los muestreos y agrupando todos los muestreos a través de los estratos en función de la fuente y la dosis.....	17
Cuadro 3. Análisis del contenido de clorofila mg g ⁻¹ para el estrato inferior y superior de la planta en función de la fuente y la dosis; y análisis de los metabolitos: Proteínas Solubles totales, Azúcares reductores y Azúcares totales ml gr ⁻¹ a través de los estratos en función de la fuente y la dosis.....	18
Cuadro 4. Análisis del contenido en porcentaje de P, N, K, Mg y Ca de las hojas a través de los estratos para los muestreos realizados en función de la fuente y la dosis.....	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo fenológico de la papa.....	18
Figura 1 articulo. Análisis combinado de la población de insectos a través de los estratos y muestreos para la interacción Fuente X Dosis.	16

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Graficas del conteo de Individuos de <i>M. persicae</i> y <i>B. cockerelli</i> por muestreos, estratos, fuentes, dosis y tratamientos; graficas de contenido de P, N, K, Mg, Ca, Clorofila y los metabolitos Proteínas totales solubles, Azucares reductores y Azucares totales, por muestreo y de forma agrupada en función de las fuentes, dosis y tratamientos.	0
---	---

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi familia, que han sido mi motor emocional en todo lo que hago, a mis profesores, que han sido la fuente de conocimientos y valores y a mis compañeros y amigos: José A. Sandra, Elena, Alfredo, Camila, Gloria S., Gloria L, Merary, Daniel C. y Alejandro que han sido una gran compañía en todo momento y sin su inmensa colaboración este trabajo no hubiese podido ser posible.

Este trabajo de tesis es el resultado de dos años de trabajo arduo que me permitieron crecer profesional, académica y personalmente, dejándome experiencia, conocimiento y grandes amistades, cosas que perduraran en lo que soy como persona y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de formarme en la Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, brindándome un gran apoyo económico y académico para la realización de mis estudios.

Agradezco al Dr. Héctor Lozoya, al Dr. Mateo Vargas, al Dr. Joel Pineda y al Dr. Ángel Lagunes, por todo su tiempo y conocimientos brindados para poder llevar a cabo este trabajo de investigación, siendo ellos pilares fundamentales del diseño, ingeniería y construcción de este trabajo.

Agradezco a la Dr. Ingeborg Zenner de Polania por su incalculable ayuda como mentora y asesora en la realización de todos mis trabajos de investigación, convirtiéndose para mí en un gran ejemplo a seguir.

Agradezco a la Universidad Federal de Pelotas en especial al Dr. Moisés Zotti, a la Dr. Danielle Barros y a sus asesoradas, por su tiempo y disposición permitiéndome realizar una estancia en su posgrado, fortaleciendo así mis conocimientos con la práctica.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Daniel Estiven Quiroga Murcia

Fecha de nacimiento: 5 de agosto de 1993

Lugar de nacimiento: Bogotá

Profesión: Ingeniero Agrónomo

Desarrollo académico

Bachillerato: Institución Educativa Distrital Villa Elisa

Licenciatura: Universidad de Ciencias Aplicadas y
Ambientales

RESUMEN
EFEECTO DEL DESBALANCE NUTRICIONAL DE NITRÓGENO
SOBRE LA POBLACIÓN DE *Myzus persicae* (HEMIPTERA:
APHIDAE) Y *Bactericera cockerelli* (HEMIPTERA: TRIOZIDAE)
EN *Solanum tuberosum* (SOLANACEAE)

Los insectos chupadores limitan la producción hortícola, por sus daños directos e indirectos. Se habla de una relación entre la fertilización y las plagas, aunque los trabajos realizados hasta la fecha no son concluyentes. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de fuentes y dosis de fertilizante nitrogenado, sobre poblaciones de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) y *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) bajo invernadero. Hubo diferencias significativas en los conteos semanales de individuos para las fuentes y las dosis para ambos insectos. Para *M. persicae* el mayor número de individuos estuvo en el testigo. Para *B. cockerelli* se observó un comportamiento parabólico de la población, donde a la mitad del ciclo hubo un pico poblacional que luego bajo. Los insectos permanecieron en el estrato superior en la mayoría de las fuentes. Se concluye que la fertilización nitrogenada influyó sobre la población de estos insectos, afectando el contenido nutricional de la planta.

Palabras Clave: Ecología, Nutrición, Desequilibrio, Insectos Chupadores.

ABSTRACT
**EFFECT OF NUTRITIONAL NITROGEN DISBALANCE ON THE
POPULATION OF *Myzus persicae* (HEMIPTERA: APHIDAE) AND
Bactericera cockerelli (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) IN *Solanum
tuberosum* (SOLANACEAE)**

Sucking insects are a great limitation for horticultural production, causing direct and indirect damage. A relationship between fertilization and pests has been previously studied, although results are not conclusive. The objective of this research was to evaluate the effect of sources and doses of nitrogen fertilizer on populations of *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) and *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) under greenhouse conditions. There were significant differences in the weekly counts of individuals between sources and doses for both insects. For *M. persicae*, the largest number of individuals was detected in the controls. For *B. cockerelli*, a parabolic behavior of the population was observed. There was a population peak in the middle of the cycle, which then dropped. The insects remained in the upper stratum in most sources. It is concluded that nitrogen fertilization did influence on the population of these insects, because it affected the nutritional content of the plant.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La papa constituye para Europa una de las grandes riquezas extraídas de América, junto a muchas otras especies vegetales, calmó la hambruna del norte de Europa y aunque el maíz también fue llevado desde América, su impacto fue menor y se focalizó en el sur de Europa (Mann 2011). Se considera que la papa fue un importante impulsor del desarrollo de occidente, junto con el guano peruano y el maíz, debido a la particularidad de tener producciones mayores por hectárea que los cereales (Ortiz and Mares 2017).

El cultivo de la papa fue responsable de impulsar el primer intercambio de fertilizantes de forma intensiva; y también propició el uso del primer insecticida artificial hecho con arsénico para el control de *Leptinotarsa* sp.; pero antes de ser adoptada por los europeos la papa fue domesticada en los Andes, puesto que de forma silvestre contenía gran cantidad de compuestos tóxicos, tales como la solanina y la tomatina. Para las culturas ancestrales que realizaron la domesticación de la papa, también constituyó una de las fuentes más valiosas de alimento (Mann, 2011; Ortiz y Mares, 2017).

Aunque en los Andes la variedad de papas era inmensa, en Europa el cultivo se dio de forma clonal y esto desencadenó una de las más grandes hambrunas en la historia de la humanidad, debido al Oomiceto *Phytophthora infestans* que devastó los cultivos, causando la muerte de más de un millón de irlandeses (Mann 2011). En la actualidad, la papa es el quinto cultivo alimenticio más importante del mundo, solo superado por la caña de azúcar, el maíz, el trigo y el arroz; con una producción mundial de 388 millones de toneladas (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2017a), se puede decir que se produce en todo el mundo y aunque es originaria de los Andes su producción se concentra en Asia, Europa y Norte américa (International Potato Center 2015).

El consumo *per cápita* de papa para el 2013 fue de 34.17 kg persona⁻¹, y aunque Asia es el mayor productor, se encuentra entre los menores consumidores (FAO,

2008, 2017a). Perú es el mayor consumidor de papa en Latinoamérica con 81.8 kg persona⁻¹, seguido de Colombia con cerca de 61 kg persona⁻¹ y México con 17 kg persona⁻¹; en el mundo el país ex URSS de Belarus consume más de 180 kg persona⁻¹ (FAO, 2017b). Es importante mencionar que menos del 50% de la papa cosechada se destina para consumo humano, y el restante para la extracción de almidones, producción de alcoholes y forraje animal principalmente (IPC, 2015).

Según datos del año 2016 (FAO, 2017a), el área sembrada con papa fue de 19'246,462 ha, con una producción de 376'826,967 ton, de las cuales, Asia participó con el 42.1%, Europa con el 39.2% y América en tercer lugar con el 12.6%, respectivamente. China, Rusia y los Estados Unidos fueron los mayores productores a nivel mundial. Para el continente americano en el 2016, se registraron 1'768,725 has sembradas con una producción de 42'592,735 ton, de las cuales Estados Unidos aportó cerca del 46%, Perú siendo el más grande productor de Latinoamérica participó con un poco más del 10%, Colombia con el 5.5% y México con el 4.2% (FAO, 2017a).

Los rendimientos en el cultivo de la papa son variables, en 2017 en Estados Unidos se reportaron 44.6 t ha⁻¹ en promedio; mientras que Perú tiene un rendimiento promedio de 12.6 t ha⁻¹, México 27.1 t ha⁻¹ y Colombia 17.3 t ha⁻¹ (FAO, 2008). aunque en este último, se han registrado rendimientos cercanos a las 50 t/ha con sistemas más tecnificados. Las diversas variedades de papa permiten que su cultivo se haga desde los 0 hasta los 4700 msnm, además, es hasta siete veces más eficiente aprovechando el agua, y produce dos a cuatro veces más la cantidad de alimento que los cereales y se cultiva en más de 100 países (IPC, 2015; Ortiz y Mares, 2017).

Dichas producciones se alcanzan con una nutrición adecuada y factores como la falta de tecnologías precisas de fertilización, insuficientes análisis de suelo y la gran heterogeneidad de éste, limitan tanto la disponibilidad y aprovechamiento de todos los nutrientes; uno de los más importantes es el nitrógeno. El Nitrógeno es el componente mayoritario de la atmosfera y para su aprovechamiento debe ser fijado

de forma biológica o a nivel industrial, cumpliendo un ciclo en el que pasa de organismos “simples” a organismos complejos que finalmente al morir lo regresan al suelo y a la atmosfera (Delwiche 1970).

La fertilización nitrogenada ha representado a nivel ambiental un gran problema debido a la excesiva aplicación de compuestos sintéticos, los cuales normalmente no son absorbidos en su totalidad y terminan en aguas subterráneas eutrofizando los causes; junto con esto la falta de análisis de suelo y tecnologías de aplicación precisas incrementan los costos de producción encareciendo los productos(Heaton 1986; Kaushal et al. 2011).

Según los datos del banco mundial (THE WORLD BANK, 2015) para el año 2014 la urea, como fuente nitrogenada, estuvo en promedio rondando los \$313 USD tonelada métrica⁻¹, y el fosfato diamónico (DAP) \$472 USD Ton métrica⁻¹. Desde el año 2000, a comienzo de siglo cuando se registraron unos de los precios más bajos en la Ton métrica de Urea con \$101 USD se ha observado un incremento en aproximadamente un 209%. Para el fosfato diamónico, con un precio promedio de \$154 USD Ton métrica⁻¹ para el 2000, se observa un aumento del 206%.

En términos fitosanitarios, existe la discusión sobre la relación entre la fertilización y el ataque de plagas; se sabe que la fertilidad del suelo es uno de los factores que puede alterar los procesos fisiológicos de la planta y consecuentemente cualquier trastorno a nivel metabólico impacta sobre la relación ecológica entre la planta y sus huéspedes plaga (Altieri y Nicholls, 2003); conceptos como resistencia y/o tolerancia de los cultivos a las plagas insectiles pueden ser relativos cuando no se cuentan con las condiciones medio ambientales en que dichos materiales vegetales fueron evaluados.

Si se tiene en cuenta que el comportamiento de los organismos biológicos obedece a la búsqueda de un equilibrio de energías entre lo que se consume y lo que se utiliza, variaciones a nivel de la composición nutricional de los tejidos de la planta influyen sobre la biología y ecología de los individuos asociados a ésta; limitaciones a nivel nutricional conllevan a que las tasas de reproducción y sobrevivencia de un

huésped disminuyan ya que estos factores están ligados a la oferta de elementos nutricionales del hospedero (Filipiak y Weiner, 2017).

Van Emden y Bashford (1969) observaron un aumento “dramático” en la fecundidad y población de *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) y *Brevycorine brassicae* (Linnaeus, 1758) cuando aplicaron dosis altas de nitrógeno en Col de Bruselas (*Brassica oleracea* var. *Gemmifera*) y este fenómeno según los autores estuvo altamente correlacionado a los altos niveles de nitrógeno soluble en las hojas.

Por otro lado, Jansson y Smilowitz (1986) evaluando también a *M. persicae*, con 4 dosis crecientes de nitrógeno encontraron que no hay diferencia significativa en el crecimiento de la población y que a la dosis más alta se redujo dicha tasa de crecimiento; aún más interesante es que la mayoría de insectos se encontraban en las hojas bajas donde la tasa fotosintética es mayor y el contenido de carbohidratos es más alto, contrario a los brotes que es donde se encuentra una mayor proporción de compuestos nitrogenados (Lu et al., 2007; Noldus et al., 1986).

Por ello se puede decir que el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la densidad poblacional de los insectos plaga no es homogéneo, por lo cual se planteó como hipótesis de esta investigación que las variaciones en la nutrición nitrogenada influyen sobre la densidad poblacional de los insectos chupadores *Myzus persicae* y *Bactericera cockerelli*, al provocar cambios fisiológicos en el cultivo de papa que alteran la ecología y compatibilidad de los elementos constituyentes del hospedero y los requerimientos nutricionales y energéticos del huésped.

Como objetivo general se planteó evaluar el comportamiento poblacional de *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) y *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) en un cultivo de papa *Solanum tuberosum* sometido a tres fuentes de nitrógeno con dosis altas y bajas; como objetivos específicos se tuvo: i).- observar el comportamiento de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg, en la planta a través del análisis foliar, y ii).- determinar el efecto de las tres fuentes de nitrógeno sobre el contenido de proteínas, azúcares totales y reductores en las plantas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Fenología y requerimientos edafoclimáticos de la papa

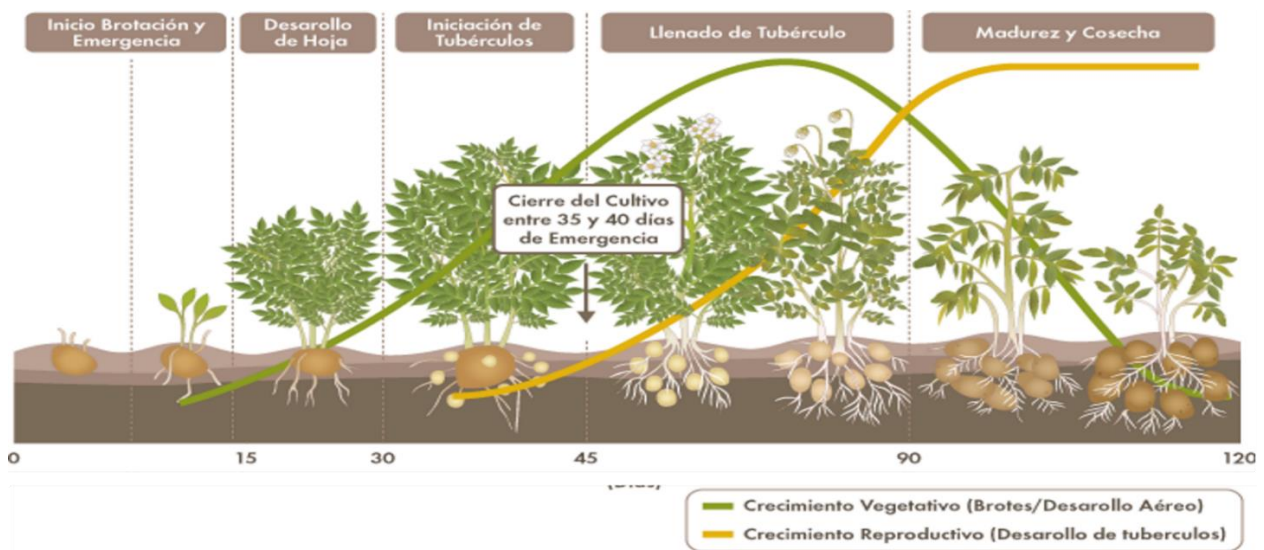
La duración del ciclo de cultivo de la papa, así como el tiempo que dura cada una de las etapas fenológicas, depende en gran medida de la variedad que se usa y las condiciones climáticas del lugar donde se establece el cultivo (Flores-Magdaleno, Flores-Gallardo, y Ojeda-Bustamante, 2014; Nemes et al., 2008), por lo tanto, conocer la fenología del cultivo y tener un cuidadoso registro del clima es de gran importancia para la formulación del manejo integral de plagas, ya que permite identificar las etapas críticas para la fertilización, el riego, el ataque de plagas y las labores culturales, de forma que se pueda aprovechar al máximo el potencial genético de la planta y obtener la mayor productividad.

Según Rowe (1993), se diferencian 5 estadios de desarrollo fenológico (Figura 1):

- Crecimiento de brotes: En esta fase se rompe la dormancia del tubérculo e inicia el desarrollo de los brotes, que se encuentran en los ojos de los tubérculos semilla y existe un incremento acelerado del metabolismo celular, además se desarrollan raíces, y los brotes crecen y emergen a la superficie; durante esta etapa la planta aun no fotosintetiza y eso por ello que usa las reservas del tubérculo.
- Desarrollo vegetativo: Hojas, tallos y ramas se desarrollan en esta etapa; las raíces se extienden bajo el suelo formando estolones (Nemes et al. 2008), y las hojas ya están en capacidad de fotosintetizar y producir carbohidratos; la duración de esta etapa varía dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas, entre 30 a 70 días.
- Iniciación del tubérculo: En la punta del estolón inicia la formación del tubérculo, dicha formación depende de un proceso inducido por reguladores hormonales propios de la planta, en algunas variedades coincide con la floración y dura entre 10 a 14 días; y se da entre los 30 a 60 días posteriores a la siembra, dependiendo la variedad, se produce una elongación de los estolones, y una

acelerada división de las células del córtex y medula del estolón de forma longitudinal, lo que hace que se hinche la parte sub-apical del estolón .

- Llenado del tubérculo: Continúa la elongación de las células del tubérculo y su multiplicación; se comienzan a acumular agua, nutrientes y carbohidratos, siendo dominantes estos órganos para la movilización y depósito de los nutrientes producidos por la planta; su duración puede ser de 60 a 90 días y es una etapa muy importante en el requerimiento hídrico puesto que la falta de agua puede retrasar el crecimiento de los tubérculos; junto con los carbohidratos, que se almacenan como almidón, también se almacenan proteínas hasta cuando decrece la actividad metabólica del tubérculo.
- Maduración del tubérculo: Se detiene la fotosíntesis, toda la parte aérea de la planta muere, y el crecimiento del tubérculo es más lento; se alcanza el valor máximo de materia seca del tubérculo y la piel de éste se endurece y es más gruesa, que es cuando el tubérculo está listo para la cosecha. La duración del ciclo es de 90 a 120 días, y el tubérculo finaliza con un contenido aproximado de 20% de almidón.



.Adaptado de <http://spn.sgm.com>.

Figura 1. Ciclo fenológico de la papa

La papa es un cultivo que se adapta muy bien a temperaturas bajas y frescas, requiriendo temperaturas de entre 15 y 20 °C, aunque puede tolerar temperaturas de 25 °C. La papa necesita una diferencia de temperatura, entre el día y la noche, de al menos 10 °C, sin esta diferencia la tuberización no sucede de forma adecuada y aunque se ve favorecido el crecimiento vegetativo la producción no es buena. Cuando las temperaturas son muy altas la tasa de asimilación de CO₂ disminuye y se retrasa el crecimiento del tubérculo, así entonces las condiciones más favorables para este proceso son los días cortos y las temperaturas nocturnas bajas (Herrera Heredia, Fierro Guzman, and Moreno Mendoza 2000).

El fotoperiodo largo estimula la producción de follaje, el cual es débil y delgado, a su vez se producen más brotes, lo que genera una mala distribución de los fotoasimilados afectando la acumulación de los carbohidratos en el tubérculo y como resultado disminuye la acumulación de materia seca.

El agua es fundamental para la producción de papa, puesto que es un factor limitante en etapas críticas para la formación de estolones, y la posterior formación de tubérculos y llenado de éstos; se requiere que la capacidad de campo esté entre 60 y 80% durante estas etapas. Un estrés hídrico en la etapa de desarrollo de tubérculos puede afectar el crecimiento de éste, el cual no se recupera aun cuando se aplique riego; por otro lado, excesos de humedad favorecen el desarrollo y diseminación de enfermedades, además de disminuir el porcentaje de materia seca en las plantas (Herrera Heredia et al. 2000).

La papa requiere suelos con buen drenaje y profundos que permitan la correcta expansión radicular, la formación de estolones y el desarrollo correcto de los tubérculos; en general, la papa demanda altos niveles de Nitrógeno y sobre todo Potasio; requiere pH entre 5 y 6.5, con altos contenidos de materia orgánica y en lo posible con textura franca, aunque también se puede cultivar en suelos franco-arenosos, franco-limosos o franco-arcillosos, siempre y cuando sean livianos y con muy buena capacidad de drenaje (Molina, Santos, and Aguilar B. 2004).

2.2. La Variedad Ágata

El cv. Ágata es de origen holandés, obtenido del cruzamiento entre BM52-72 x Sirco en el año 1976. Es una variedad de ciclo corto, 100 días aproximadamente, de habito erecto y con follaje denso; rara vez florece y/o produce frutos; el tubérculo es de color blanco o amarillo crema, ovalado y de piel intermedia a rugosa. Es una variedad muy productiva con un potencial de 44 Ton ha⁻¹ bajo condiciones óptimas (Eschemback, Kawakami, and Melo 2017), con de tubérculos medianos a grandes uniformes; posee un bajo contenido de materia seca, y por ello no es muy usada para la producción de papas fritas, y se le conoce como tipo ensalada y posee un agradable sabor(Canadian Food Inspection Agency 2019; Science and Advice for Scottish Agriculture 2019).

La variedad ágata presenta un potencial productivo de 44 t ha⁻¹ (Eschemback, Kawakami, y Melo, 2017), considerando los requerimientos nutricionales promedio publicados por Bertsch Hernández (2009), los cuales indican que para producir una tonelada de tubérculos se requieren 6, 0.8 y 9 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente; ajustando esto a la producción esperada de 44 t ha⁻¹, el cultivo requerirá de 258, 34.4 y 387 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente.

Esta variedad presenta resistencia alta al tizón tardío en tubérculos y baja-media en follaje; presenta mediana resistencia a *Fusarium* sp., resistencia media a *Streptomyces scabies* e inmunidad a la verruga de la papa *Synchytrium endobioticum*. En cuanto a virus presenta resistencia alta al Potato Virus Y, baja al Potato Virus X, y media-alta al Potato Leaf Roll Virus; y presenta alta resistencia al nematodo *Globodera rostochiensis* (Canadian Food Inspection Agency 2019; Science and Advice for Scottish Agriculture 2019).

2.3. Plagas y enfermedades

La American Phytopathological Society, (1981) reportó 61 enfermedades ocasionadas por bacterias, hongos y virus, además de 19 ocasionadas por factores abióticos asociadas al cultivo de papa; como resultado de la amplia distribución del

cultivo; algunos patógenos se han diseminado por todas las regiones donde se produce papa, tal es el caso de *Phytophthora infestans*, el cual en la actualidad es el patógeno más limitante de la producción. Las condiciones climáticas del lugar de siembra influyen en gran medida sobre la presencia de las enfermedades; por ejemplo, las enfermedades de origen bacteriano son favorecidas por temperaturas altas, mientras que las enfermedades de origen fúngico en general son favorecidas por humedad alta.

Para el caso de los insectos, su incidencia está limitada geográficamente, aunque el hombre se ha encargado de diseminar junto con el cultivo, las plagas que, en el caso de los insectos chupadores, son más limitantes por sus daños indirectos, como la transmisión de virus, bacterias y la producción de toxinas.

2.3.1. Tizón Tardío (*Phytophthora Infestans*)

Es ocasionado por el Oomycete *P. infestans*, que principalmente se transmite por semilla infectada. Este patógeno causa daños desde la emergencia del cultivo hasta la floración y puede ocasionar daños locales en las hojas hasta daños sistémicos por la infección de tallos en los primeros estadios de crecimiento; sus síntomas son manchas oscuras de aspecto aceitoso sobre hojas y tallos, en el tubérculo se pueden observar anillos necróticos. Este patógeno afecta a plantas de la familia Solanaceae como tomate, berenjena, tomatillo, entre otras, tanto cultivadas como silvestres (Acuña y Araya, 2017a, 2017c; Montesdeoca et al., 2013; Pérez y Forbes, 2011).

Phytophthora infestans es un patógeno obligado, por lo que requiere hospedantes vivos, aunque sus esporangios pueden sobrevivir en el suelo por semanas; el micelio de este patógeno no puede sobrevivir sin un hospedero vivo y se ve favorecido por condiciones de alta humedad y temperaturas entre los 15-21 °C; después de tres días se observan las lesiones ocasionadas por el patógeno, aunque esto depende de la compatibilidad del patógeno con el tejido, puesto que en ocasiones puede ocasionar lesiones de hipersensibilidad si hay incompatibilidad; para su esporulación son necesarias temperaturas entre los 10 y 25 °C con altas

humedades; los esporangios necesitan como mínimo dos horas, una temperatura encima de los 12 °C y humedad del 100%, para germinar y penetrar el tejido del hospedante; y logra sobrevivir en los tubérculos usados como semilla, protegiéndose de las condiciones climáticas adversas (CABI 2018b).

Morfológicamente, el Oomiceto posee un micelio cenocítico, con esporangios ovoides; pueden estar en el agua a bajas temperaturas germinando y produciendo zoosporas biflageladas que pueden nadar; cuando llegan a la superficie de la hoja forman su pared celular, y en presencia de humedad germinan y penetran por los estomas, aunque también puede formar un apresorio y penetrar directamente la cutícula; al penetrar la hoja forma haustorios dentro de las células. Por otro lado, de forma sexual el Oomiceto puede formar oosporas que son muy resistentes y pueden sobrevivir en el rastrojo que al tener condiciones favorables producen un esporangio y este zoosporas que continúan el ciclo del patógeno (Pérez y Forbes, 2008).

Para la identificación molecular se usa la región ITS1, 5.8S e ITS2 del rRNA subunidad pequeña, empleando los pares de iniciadores ITS4 (5' TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC 3') e ITS5 (5' GGA AGT AAA AGT CGT AAC AAG G 3') (Cooke, Drenth, Duncan, Wagels, y Brasier, 2000); además, se puede usar la región 28S del rRNA subunidad grande con los pares de iniciadores LROR (5' ACCCGCTGA ACTTAAGC 3') y LR6O (5' CGCCAGACGAGCTTACC 3') (Riethmuller, Voglmayr, Goker, Weiss, y Oberwinkler, 2002).

2.3.2. Tizón Temprano (*Alternaria solani*)

Es causado por *Alternaria solani*, un Ascomiceto que ataca principalmente las hojas de la planta, ocasionando caída prematura de éstas; su fuente de inóculo pueden ser los residuos de cosecha y la semilla infectada; sus síntomas son manchas oscuras con círculos concéntricos y un halo clorótico alrededor en hojas y tallos; su desarrollo se ve favorecido por días calurosos y con alternancias entre lluvia y sol; existen actualmente variedades resistentes, pero aun así esta enfermedad puede ocasionar pérdidas de hasta el 30% en los cultivos susceptibles (Acuña y Sandoval, 2017; Montesdeoca et al., 2013; Pérez y Forbes, 2011).

El tizón temprano es capaz de afectar los rendimientos, debido a la defoliación que puede ocasionar sobre la planta, además puede llegar a afectar al tubérculo si la enfermedad no es controlada; el inoculo inicial puede encontrarse en los tubérculos usados como semilla, restos de hojas y plantas, y en el suelo; la infección inicia cuando las condiciones ambientales son propicias (23 - 26 °C), y posterior a la infección se observan síntomas entre los 2 a 3 días (Zitter 1984).

Dentro de los hospedantes de este patógeno están las plantas de la familia Solanaceae como tomate, berenjena, chile verde y chile picante, entre otras (Rueda y Shelton, 1996). A nivel morfológico, este patógeno se caracteriza por poseer conidios elípticos de color oscuro septados transversalmente, en condiciones de altas temperatura los conidios inician la germinación después de 30 min y el tubo germinativo puede penetrar la epidermis o ingresa por los estomas; produce toxinas que se dispersan en el tejido a medida que el micelio crece (Zachmann 1982).

Para la identificación molecular se usan las regiones codificantes para la proteínas: Actina con los pares de primers ACTDF1 (5' TTCGGGTATGTGCAAGGC 3') y ACTDR1 (5' ATACCGGGGTACATGGTGG 3'), ATPasa de la membrana plasmática con los pares de iniciadores ATPDF1 (5' ATCGTCTCCATGACCGAGTTCG 3') y ATPDR1 (5' TCCGATGGAGTTCATGATAGCC 3'), y calmodulina con los pares de primers CALDF1 (5' AGCAAGTCTCCGAGTTCAAGG 3') y CALDR1 (5' CTTCTGCATCATCAYCTGGACG 3') (Lawrence et al. 2017).

2.3.3. Áfidos

Los áfidos pertenecen al orden Hemiptera: Aphididae, y representan una de las plagas más importantes para los cultivos hortícolas, ya que además del daño directo que ocasionan con la succión de savia, producen daños indirectos relacionados con la transmisión de virus y la aparición de fumagina sobre las secreciones azucaradas, reduciendo el área fotosintéticamente activa de las plantas (Salas, Quiroz, y Puelles, 2016).

Cerca de 10 virus de papa son transmitidos por áfidos, su manejo y monitoreo es de gran importancia para los gobiernos debido a la biología del insecto y su fácil propagación; además de que *Myzus persicae* posee un amplio rango de hospedantes dificultando su manejo (Rybicki 2015; Salas et al. 2016).

Myzus persicae es partenogénico, el color de su cuerpo es muy variable, puede llegar a tomar tonos rojizos a verde oscuro; dentro de sus caracteres diagnóstico para la identificación morfológica está la presencia de tubérculos antenales vistos de forma dorsal y sífinculos clavados; se encuentra distribuido en todo el mundo excepto aquellas regiones con climas extremos; sus hospedantes abarcan más de 40 familias distintas, muchas de éstas de importancia agrícola y económica; es considerado el vector más importante de virus de forma persistente y no persistente, además de ocasionar daños directos por la succión de la savia (CABI, 2018b; Van Emden y Harrington, 2007).

Myzus persicae es una de las plagas de manejo más complejo debido a aspectos propios de su biología; este insecto puede presentarse desde el inicio del ciclo y cuando va a terminar es capaz de volverse alado, y movilizarse a otros cultivos y malezas para esperar un nuevo ciclo. Howling, Bale, y Harrington (1994) observaron que el insecto es capaz de mantenerse con vida durante 7 días a una temperatura de -5 °C. Dependiendo del hospedante, su ciclo de vida tiene una duración de entre 16.6 y 20.6 días en condiciones de laboratorio con una temperatura de 25 °C y una humedad superior al 60% (Andorno, Hernandez, Botto, Schultz, y Rossa, 2007; Duarte et al., 2011); para el caso del cultivo de papa se hablan de 12 a 15 generaciones por año en condiciones del suroeste de los Estados Unidos (CABI 2019).

De forma específica, Ramamurthy et al.(2013) desarrollaron los pares primers KBR(MP)-F- (5'- ATC ATC ACT TAG AAT CTT AAT TCG TCT T-3') y KBR(MP)-R (5' TGG TAT TAT ATT TAA GAT TGT ACÁ AAT A -3') que amplifican en el gen COI para *M. persicae*, dando como resultado un producto de amplificación de 429 bp.

2.3.4. Paratrioza (*Bactericera cockerelli*)

El psílido de la papa es un hemíptero: Triozidae, el cual era considerado una plaga secundaria y en la actualidad causa grandes daños en varios cultivos de solanáceas, de forma directa e indirecta. Su ciclo de vida dura de 19.6 a 22.4 días en laboratorio y en campo, y en su estado adulto es capaz de durar hasta 60 días en condiciones de laboratorio (X.-B. Yang, Zhang, Hua, y Liu, 2010). Los adultos varían en color desde un verde muy claro cuando emergen de la pupa hasta verde oscuro y negro después de 2-3 días de emergidos; se distingue por un bandeo blanco o amarillo en la cabeza, el tórax, y el primer y último segmento del abdomen; los adultos son muy activos en comparación a los inmaduros que permanecen en el envés de las hojas; sus huevos son amarillos y pueden encontrarse en el envés, y el borde de las hojas en el estrato medio y superior; las ninfas son aplanadas y pueden ser confundida con ninfas de mosca blanca, con la diferencia que éstas son móviles; produce excreciones azucaradas en forma de gotas (salerillo) que son muy características de los psílido (CABI 2018a; Martin 2016).

Las hembras de esta plaga pueden ovipositar cerca de 500 huevos durante toda su vida, pasa por 5 instares ninfales, y se alimentan principalmente de cultivos de la familia Solanaceae aunque también han sido recolectados en Amarantáceas, Lamiáceas, Fabáceas, Brassicaceas, entre otras (Martin 2016). Altas poblaciones en la papa causan amarillamiento por la producción de toxinas, y retraso del crecimiento. Es un insecto de ciclo corto que puede infestar rápidamente el cultivo (Bujanos Muñoz y Ramos Mendez, 2015; Covarrubias, León, Moreno, Alfredo, y Salas, 2006).

La punta morada de la papa, enfermedad causada por fitoplasmas del grupo 1 y *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Gutiérrez-Ibáñez et al. 2013) pueden ser transmitidos por varios insectos, entre éstos *B. cockerelli*, *Empoasca* spp. y *Aceratagallia* spp. (Almeyda L, Sanchez Salas, y Delgadillo Sanchez, 2007); estos mismos autores detectaron la presencia de fitoplasmas que afectan a papa en malezas que podrían servir como fuentes de inóculo de los patógenos y transmitidos por los vectores al cultivo. En México, Covarrubias *et al.* (2006) encontraron

fitoplasmas en el 34%, de las regiones productoras de papa muestreadas. Se reportan pérdidas cercanas a 25 millones de dólares en Texas a causa de la punta morada, la cual es transmitida por este insecto (CABI 2018b).

2.4. Fertilización nitrogenada y la ecología de las plagas

La fertilización es uno de los puntos fundamentales para la producción agrícola y aun no es claro el efecto de un desbalance nutricional de nitrógeno con relación a la incidencia de daño de plagas y enfermedades en el cultivo de papa.

El nitrógeno (N) es uno de los elementos químicos que está presente en mayor proporción en la biomasa, puede ser absorbido por la planta tanto por hojas como por raíces como nitrógeno molecular, nitrato NO_3^- o amonio NH_4^+ ; posteriormente la planta es capaz de reducir el NO_3^- a NH_4^+ que es la forma como el N entra a hacer parte de los aminoácidos; solo como amonio o aminoácido el nitrógeno puede ser movilizado por el floema puesto que como NO_3^- este no es admitido para su transporte sino solo por xilema (Carvalho Carelli, Fahl, y Cochicho Ramalho, 2006; Delwiche, 1970; Gutschick, 1981; Maldonado, 2008).

Cuando la cantidad de NO_3^- en el suelo es baja, éste es reducido en las raíces, por el contrario, cuando es mayor, es transportado a las hojas donde será reducido; el nitrato puede ser almacenando en vacuolas mientras que el amonio al ser muy toxico es rápidamente incorporado a aminoácidos (Maldonado 2008).

Las comunidades de insectos fitófagos se regulan por cambios en la estequiometria de las comunidades de sus hospederos; debido a que la calidad nutricional y cantidad de alimento induce cambios en el bienestar y la fecundidad de los insectos, se presenta una interacción en doble sentido donde estos cambios sobre los fitófagos también influyen en el ciclo de reciclaje de nutrientes en el suelo (Filipiak y Weiner, 2017)

Guerrero (1999) afirma que para el cultivo de algodón, se ha observado que el exceso de nitrógeno aumenta la incidencia de araña roja y *Verticillium*; Bright (2000) afirma que es “probable” que un follaje frondoso y succulento propiciado por el

nitrógeno sea más atractivo para las plagas y que además la baja cantidad de otros elementos minerales en la planta puede interferir sobre la capacidad de producir metabolitos secundarios que sirvan como defensa de plagas y enfermedades. Según Navarro y Navarro (2013) una abundancia nitrogenada de la planta puede dar lugar a una mayor sensibilidad de la planta a las enfermedades.

Athar et al. (2011) también concuerdan en que un alto contenido de nitrógeno propicia un incremento en la biosíntesis y acumulación de proteínas, aminoácidos libres y azúcares que pueden atraer a la mosca blanca; también Idris et al. (2015) encontraron que al duplicar la dosis de N, P, K en tomate aumentó la población de *Bemisia tabaci*, la cantidad de proteína total/insecto y la cantidad de huevos por hembra. Ambos trabajos concuerdan en que un exceso de fertilizante produce un follaje exuberante y más grueso que puede también contribuir a atraer más insectos.

En la revisión realizada por Lu et. al. (2007) se afirma que el nitrógeno estimula e incrementa la herbivoría de algunas plagas sobre arroz, además de aumentar la sobrevivencia, el crecimiento y la reproducción de la plaga. Factores físicos como el color, tamaño, forma y textura, y factores aleloquímicos de la planta son tenidos en cuenta por la plaga para la selección del huésped y estas características pueden ser modificadas por los niveles de nitrógeno aplicado a las plantas (Duarte Gomez, 2002; Karley, Douglas y Parker, 2002).

Trialeurodes vaporariorum en plantas fertilizadas con altos niveles de nitrógeno disminuyó el tiempo entre las diferentes fases de su desarrollo y además tuvo más alta fecundidad y mayor tasa de ovoposición (Jauset et. al. 2000), algo similar a lo observado con *Planococcus citri* en *Solenostemon scutellarioides*, donde a mayores dosis de nitrógeno, el tamaño de los insectos y la cantidad de huevos aumentó y el tiempo que tardó el insecto en desarrollarse hasta la fase adulta fue menor (Hogendorp, Cloyd y Swiader 2006).

El comportamiento de *Hysteroneura setariae* fue evaluado sobre *Oryza sativa* a dosis crecientes de nitrógeno, observándose que a dosis más altas, la

supervivencia, la fecundidad y el tamaño del insecto es mayor (Jahn, Almazan y Pacia 2005).

El comportamiento de los insectos chupadores es bastante variable, *Trialeurodes vaporariorum* exhibe un comportamiento diferente puesto que el insecto prefiere alimentarse y ovipositar en el tercio superior de la planta *Solanum lycopersicum* donde los compuestos nitrogenados solubles son mayores (Jauset et al., 2000; Noldus, Rumei, y Lenteren, 1986) *Myzus persicae* sobre *Brassica oleracea* se ubicó en las hojas más jóvenes en las cuales aunque el contenido de glucosinolatos (Cao et. al., 2017), un compuesto que afecta el desarrollo de los insectos es alto, también lo fue el de aminoácidos, como la glutamina que estimula la alimentación del áfido. La cantidad de glutamato y aspartato, predominantes en el floema, entre otros aminoácidos, definen la calidad nutricional de una planta para los insectos (Karley et al. 2002).

El tipo de fertilizante usado como fuente de nitrógeno también influye sobre los compuestos nitrogenados, su concentración y disponibilidad para la planta, ya que la forma en que se suministra el nitrógeno afecta el tipo de aminoácidos producidos en la hoja, lo cual influye sobre el insecto. Para el caso de *Bemisia tabaci* sobre *Euphorbia pulcherrima* existe una mayor supervivencia del insecto a niveles intermedios de nitrógeno. La fecundidad de *Bemisia tabaci* con respecto a la cantidad de aminoácidos en las hojas se comporta como una relación cuadrática (England et. al. 2011).

Bi, Toscano y Madore (2003) encontraron una gran influencia de las fechas de muestreo sobre la capacidad nutricional de los peciolo de algodón, respecto a la aplicación de nitrógeno; observaron una relación positiva entre la aplicación de nitrógeno y el aumento de la población de *Bemisia argentifolii*; concluyeron que el nitrógeno influye sobre la cantidad de proteínas solubles y algunos aminoácidos en los peciolo de algodón pero aun así afirman que no hay una correlación significativa entre el número de moscas blancas y el nivel de compuestos nutricionales nitrogenados en los peciolo de algodón.

Medrano, Galmes y Flexas (2008) afirman que la fertilización influye directamente sobre la incidencia y ataque de plagas y enfermedades, no solo por afectar el contenido nutricional de la planta sino indirectamente por producir alteraciones morfológicas que definen el microclima. Los insectos tienen una preferencia por plantas con mayores contenidos de compuestos nitrogenados pero este comportamiento no es generalizado (Lu et. al. 2007).

2.5. literatura citada

- Acuña, I., and B. M. Araya. 2017a. Pudrición seca o fusariosis (0–2). 0–2. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Acuña, I., and B. M. Araya. 2017b. Tizón tardío (0–1). 0–1. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Acuña, I., and C. Sandoval. 2017. Tizón temprano de la papa (0–2). 0–2. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Almeyda L, I. H., J. A. Sanchez Salas, and F. Delgadillo Sanchez. 2007. Insectos vectores relacionados con los fitopasmas, agentes causales de la punta morada de la papa en los estados de Coahuila y Nuevo León. General Terán: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Agropecuarias.
- Altieri, M. A., and C. I. Nicholls. 2003. Soil fertility management and insect pests: Harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 72(2): 203–211. doi: 10.1016/S0167-1987(03)00089-8.
- American Phytopathological Society. 1981. *Compendium of Potato Diseases* (Hooker, W. J., Ed.). American Phytopathological Society.
- American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.; Baird, R. B., A. D. Eaton, & E. W. Rice, Eds.). doi: <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>.
- Andorno, A., C. Hernandez, E. Botto, S. Schultz, and F. La Rossa. 2007. Estudios biológicos de *myzus persicae* (sulzer) (hemiptera: aphididae) sobre rúcula (*eruca sativa* mill.) en condiciones de laboratorio. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 36(2): 85–95.
- Athar, H.-R., A. R. Bhatti, N. Bashir, Z. U. Zafar, Abida, and A. Farooq. 2011. Modulating infestation rate of white fly (*Bemisia tabaci*) on okra (*Hibiscus esculentus* L.) by nitrogen application. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(3): 843–850. doi: 10.1007/s11738-010-0609-4.
- Atkinson, P. R., and K. J. Nuss. 1989. Associations between host-plant nitrogen and

- infestations of the sugarcane borer , *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera : Pyralidae) I Intensively-grown V // A Peasant-grown. *Bulletin of Entomological Research*, 79: 489–506.
- Ayres, M. P., R. T. Wilkens, J. J. Ruel, M. J. Lombardero, and E. Vallery. 2000. Nitrogen budgets of phloem-feeding bark beetles with and without symbiotic fungi. *Ecology*, 81(8): 2198–2210. doi: 10.1890/0012-9658(2000)081[2198:NBOPFB]2.0.CO;2.
- Bednarz, C. W., and D. M. Oosterhuis. 1999. Physiological changes associated with potassium deficiency in cotton. *Journal of Plant Nutrition*, 22(2): 303–313. doi: 10.1080/01904169909365628.
- Bentz, J. A., J. Reeves, P. Barbosa, and B. Francis. 1995. Nitrogen fertilizer effect on selection, acceptance, and suitability of *Euphorbia pulcherrima* (Euphorbiaceae) as a host plant to *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology*, 24(1): 40–45. doi: 10.1093/ee/24.1.40.
- Bertsch Hernández, F. 2009. *Absorción de los nutrientes por los Cultivos* (1st ed.). San Jose Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Bi, J. L., N. C. Toscano, and M. A. Madore. 2003. Effect of Urea Fertilizer Application on Soluble Protein and Free Amino Acid Content of Cotton Petioles in Relation to Silverleaf Whitefly (*Bemisia argentifolii*) Populations. *Journal of Chemical Ecology*, 29(3): 747–761. doi: 10.1023/A:1022880905834.
- Bradford, M. M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248–254.
- Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen. In *Methods of Soil Analysis*, Black, C. A. (Ed.), Part 1, 1149–1176. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy.
- Bright, C. 2000. Anticiparse a la sorpresas ambientales. In *La situación en el mundo: informe anual del Worldwatch Institute sobre el medioambiente y el desarrollo* 53–75. España: Icaria.
- Bujanos Muñoz, R., and C. Ramos Mendez. 2015. El psílido de la papa y tomate *Bactericera* (=Paratrioza) *cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA. San Salvador: Organismo internacional regional de sanidad agropecuaria.
- Busch, J. W., and P. L. Phelan. 1999. Mixture models of soybean growth and herbivore performance in response to nitrogen-sulphur-phosphorous nutrient interactions. *Ecological Entomology*, 24(2): 132–145. doi: 10.1046/j.1365-2311.1999.00185.x.
- CABI. 2018a. *Bactericera cockerelli* (tomato/potato psyllid). *Invasive Species Compendium*. <https://www.cabi.org/ISC/datasheet/45643>. Accessed March 23, 2019.

- CABI. 2018b. *Leptinotarsa decemlineata* (Colorado potato beetle). Invasive Species Compendium. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/30380>. Accessed October 19, 2018.
- CABI. 2019. *Myzus persicae*. Invasive Species Compendium. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/35642>. Accessed March 23, 2019.
- Canadian Food Inspection Agency. 2019. Canadian Food Inspection Agency. Agata. <http://www.inspection.gc.ca/plants/potatoes/potato-varieties/agata/eng/1312587385615/1312587385616>. Accessed March 23, 2019.
- Cao, H.-H., Z.-F. Zhang, X.-F. Wang, and T.-X. Liu. 2017. Nutrition Outweighs Defense: *Myzus persicae* (Green Peach Aphid) Prefers and Performs Better on Young Leaves of Cabbage. *BioRxiv*. doi: 10.1101/085159.
- Carvalho Carelli, M. L., J. I. Fahl, and J. D. Cochicho Ramalho. 2006. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1): 9–21. doi: 10.1590/S1677-04202006000100002.
- Cooke, D. E. L., A. Drenth, J. M. Duncan, G. Wagels, and C. M. Brasier. 2000. A Molecular Phylogeny of *Phytophthora* and Related Oomycetes. *Fungal Genetics and Biology*, 30(1): 17–32. doi: 10.1006/FGBI.2000.1202.
- Coqueret, V., J. Le Bot, R. Larbat, N. Desneux, C. Robin, and S. Adamowicz. 2017. Nitrogen nutrition of tomato plant alters leafminer dietary intake dynamics. *Journal of Insect Physiology*, 99: 130–138. doi: 10.1016/j.jinsphys.2017.04.002.
- De Bruyn, L., J. Scheirs, and R. Verhagen. 2002. Nutrient stress, host plant quality and herbivore performance of a leaf-mining fly on grass. *Oecologia*, 130(4): 594–599. doi: 10.1007/s00442-001-0840-1.
- Delwiche, C. C. 1970. The nitrogen cycle. *Scientific American*, 223(3): 136–147. doi: 10.1016/j.cub.2015.12.021.
- Duarte Gomez, H. W. 2002. Efecto de la nutrición vegetal sobre los insectos plaga en los cultivos. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 005(1): 3–12.
- Duarte, L., M. Ceballos, H. L. Baños, A. Sánchez, I. Miranda, and M. D. L. a Martínez. 2011. Biología y tabla de vida de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera : Aphidae) en condiciones de laboratorio. *Revista de Protección Vegetal*, 26(1): 1–4.
- Dubuis, P.-H., C. Marazzi, E. Stadler, and F. Mauch. 2005. Sulphur Deficiency Causes a Reduction in Antimicrobial Potential and Leads to Increased Disease Susceptibility of Oilseed Rape. *Journal of Phytopathology*, 153(1): 27–36. doi: 10.1111/j.1439-0434.2004.00923.x.
- England, K. M., C. S. Sadof, L. A. Cañas, C. H. Kuniyoshi, and R. G. Lopez. 2011. Effects of Selected Fertilizers on the Life History of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype B. *Journal of Economic Entomology*, 104(2): 548–554. doi: 10.1603/EC10296.

- Eschemback, V., J. Kawakami, and P. E. De Melo. 2017. Performance of modern and old, European and national potato cultivars in different environments. *Horticultura Brasileira*, 35(3): 377–384. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170310>.
- Fagan, W. F., E. Siemann, C. Mitter, R. F. Denno, A. F. Huberty, H. A. Woods, and J. J. Elser. 2002. Nitrogen in insects: Implications for trophic complexity and species diversification. *The American Naturalist*, 160(6): 784–802. doi: 10.1086/343879.
- Filipiak, M., and J. Weiner. 2017. Plant-insect interactions: The role of ecological stoichiometry. *Acta Agrobotanica*, 70(1): 6–8. doi: 10.5586/aa.1710.
- Flores-Magdaleno, H., H. Flores-Gallardo, and W. Ojeda-Bustamante. 2014. Phenological Prediction of Potato Crop By Means of Thermal Time. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2): 149–157.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2008. Año Internacional de la Papa. http://www.fao.org/potato-2008/es/mundo/america_latina.html. Accessed March 1, 2018.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017a. Faostat. statistics database. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Accessed March 1, 2018.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017b. Potato Consumption per Capita. <http://www.helgilibrary.com/indicators/potato-consumption-per-capita/>. Accessed March 1, 2018.
- Guerrero, A. G. 1999. Cultivos herbáceos extensivos. España: Mundi-Prensa.
- Gutiérrez-Ibáñez, A. T., P. J. R. Sánchez, C. A. Laguna, D. J. F. Ramírez, M. A. Balbuena, and G. O. G. Alvarado. 2013. Detección de *Ca. Liberibacter solanacearum* y fitoplasmas en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el valle de Toluca. *Revista Colombiana En Biotecnología*, 15(1): 145–149.
- Gutschick, V. P. 1981. Evolved strategies in nitrogen acquisition by plants. *The American Naturalist*, 118(5): 607–637.
- Han, P., A. V. Lavoie, J. Le Bot, E. Amiens-Desneux, and N. Desneux. 2014. Nitrogen and water availability to tomato plants triggers bottom-up effects on the leafminer *Tuta absoluta*. *Scientific Reports*, 4: 1–8. doi: 10.1038/srep04455.
- Hanlon, E. A. 1998. Elemental Determination by Atomic Absorption Spectrophotometry. In Kalra, P. Y. (Ed.), *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis* (Vol. 38). doi: 10.2135/cropsci1998.0011183X003800060050x.
- Heaton, T. H. E. 1986. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: A review. *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section*, Vol. 59, 87–102. doi: 10.1016/0168-9622(86)90059-X.
- Herrera Heredia, C. A., L. H. Fierro Guzman, and J. D. Moreno Mendoza. 2000.

Manejo Integrado Del Cultivo de la Papa. Bogotá: Corpoica.

- Hogendorp, B. k, R. A. Cloyd, and J. M. Swiader. 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. *Environmental Entomology*, 35(2): 201–211. doi: 10.1603/0046-225X-35.2.201.
- Houghton, J. A. 1945. the Micro-Kjeldahl Determination of the Nitrogen Content of Amino Acids and Proteins. *The Journal of Biological Chemistry*, 159(2): 373–383.
- Howling, G. G., J. S. Bale, and R. Harrington. 1994. Effects of extended and repeated exposures to low temperature on mortality of the peach-potato aphid *Myzus persicae*. *Ecological Entomology*, 19(4): 361–366. doi: 10.1111/j.1365-2311.1994.tb00253.x.
- Huberty, A. F., and R. F. Denno. 2006. Consequences of nitrogen and phosphorus limitation for the performance of two planthoppers with divergent life-history strategies. *Oecologia*, 149(3): 444–455. doi: 10.1007/s00442-006-0462-8.
- Idris, M. . ., F. A. El-Meniawi, I. A. Rawash, and A. M. Soliman. 2015. Effects of different fertilization levels of tomato plants on population density and biometrics of the cotton whitefly , *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera : Sternorrhyncha : Aleyrodidae) under greenhouse conditions. *Middle East Journal Applied Sciences*, 05(03): 759–768.
- International Potato Center. 2015. Datos y Cifras de la Papa. <https://cipotato.org/es/potato/potato-facts-and-figures>.
<https://cipotato.org/es/potato/potato-facts-and-figures>. Accessed March 1, 2018.
- Jahn, G. C., L. P. Almazan, and J. B. Pacia. 2005. Effect of Nitrogen Fertilizer on the Intrinsic Rate of Increase of *Hysteroneura setariae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae) on Rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental Entomology*, 34(4): 938–943. doi: 10.1603/0046-225X-34.4.938.
- Jansson, R. K., G. L. Leibee, C. A. Sanchez, and S. H. Lecrone. 1991. Effects of nitrogen and foliar biomass on population parameters of cabbage insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 61(1): 7–16. doi: 10.1111/j.1570-7458.1991.tb02390.x.
- Jansson, R. K., and Z. Smilowitz. 1986. Influence of Nitrogen on Population Parameters of Potato Insects: Abundance, Population Growth, and Within-plant Distribution of the Green Peach Aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 15(1): 49–55. doi: 10.1093/ee/15.1.49.
- Jauset, A. M., M. J. Sarasúa, J. Avilla, and R. Albajes. 2000. Effect of nitrogen fertilization level applied to tomato on the greenhouse whitefly. *Crop Protection*, 19(4): 255–261. doi: 10.1016/S0261-2194(00)00016-8.

- Kainulainen, P., J. Holopainen, V. Palomäki, and T. Holopainen. 1996. Effects of nitrogen fertilization on secondary chemistry and ectomycorrhizal state of scots pine seedlings and on growth of grey pine aphid. *Journal of Chemical Ecology*, 22(4): 617–636. doi: 10.1007/BF02033574.
- Karley, A. J., A. E. Douglas, and W. E. Parker. 2002. Amino acid composition and nutritional quality of potato leaf phloem sap for aphids. *The Journal of Experimental Biology*, 205(Pt 19): 3009–3018.
- Kaushal, S. S., P. M. Groffman, L. E. Band, E. M. Elliott, C. A. Shields, and C. Kendall. 2011. Tracking Nonpoint Source Nitrogen Pollution in Human-Impacted Watersheds. *Environmental Science & Technology*, 45(19): 8225–8232. doi: 10.1021/es200779e.
- Kerslake, J. E., S. J. Woodin, and S. E. Hartley. 1998. Effects of carbon dioxide and nitrogen enrichment on a plant-insect interaction: The quality of *Calluna vulgaris* as a host for *Operophtera brumata*. *New Phytologist*, 140(1): 43–53. doi: 10.1046/j.1469-8137.1998.00244.x.
- Lawrence, D. P., P. B. Gannibal, T. L. Peever, B. M. Pryor, D. P. Lawrence, P. B. Gannibal, ... S. Petersburg. 2017. The sections of *Alternaria* : formalizing species- group concepts The sections of *Alternaria* : formalizing species-group concepts. 5514. doi: 10.3852/12-249.
- Lu, Z., K. Heong, X. Yu, and C. Hu. 2007. Effect of Nitrogen Fertilizer on Herbivores and Its Stimulation to Major Insect Pests in Rice. *Rice Science*, 14(1): 56–66. doi: 10.1016/S1672-6308(07)60009-2.
- Maldonado, J. M. 2008. Asimilación del nitrógeno y del azufre. In *FUNDAMENTOS DE FISIOLÓGÍA VEGETAL* 287–297.
- Mann, C. C. 2011. How the Potato Changed the World. *Smithsonian Magazine*, 1–6.
- Martin, N. A. 2016. Tomato potato psyllid - *Bactericera cockerelli*. Interesting Insects and other Invertebrates. New Zealand Arthropod Factsheet Series Number 60. <https://nzacfactsheets.landcareresearch.co.nz/factsheet/InterestingInsects/Tomato-potato-psyllid---Bactericera-cockerelli.html>. Accessed March 23, 2019.
- Mattson, W. J. 1980. Herbivory in Relation to Plant Nitrogen Content. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11(1): 119–161. doi: 10.1146/annurev.es.11.110180.001003.
- Medrano, H., J. Galmes, and J. Flexas. 2008. Fijación del Dioxido de Carbono y Biosíntesis de Fotoasimilados. In *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, Azcón-Bieto, J. & M. Talón (Eds.), 2nd ed., 211–227. Madrid: MCGRAW-HILL.
- Milton, K. 1978. Behavioral Adaptations to Leaf-eating by the Mantled Howler Monkey (*Alouatta palliata*). In *The Ecology of Arboreal Folivores*, Montgomery, G. G. (Ed.), 535–549. Washington: Smithsonian Institution.
- Milton, K. 1979. Factors Influencing Leaf Choice by Howler Monkeys: A Test of

- Some Hypotheses of Food Selection by Generalist Herbivores. *The American Naturalist*, 114(3): 362–378. doi: 10.1086/283485.
- Molina, J. de D., B. M. Santos, and L. Aguilar B. 2004. Cultivo de la papa Guía MIP (1st ed.). Managua: Instituto.
- Montesdeoca, F., N. Panchi, L. Navarrete, E. Pallo, F. Yumisaca, A. Taipe, ... J. Andrade-piedra. 2013. Guía fotográfica de las principales plagas del cultivo de papa en Ecuador. doi: 10.4160/978-92-9060-423-5.
- Navarro Garcia, G., and S. Navarro Garcia. 2013. Química agrícola química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. España: Mundi-Prensa.
- Nemes, Z., A. Baciú, D. Popa, L. Mike, A. Petrus, – Vancea, and O. Danci. 2008. The Study of the Potato'S Life-Cycle Phases Important To the Increase of the Individual Variability.
- Noldus, L. P. J. J., X. Rumei, and J. C. Lenteren. 1986. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera, Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera, Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology*, 101(1–5): 492–507. doi: 10.1111/j.1439-0418.1986.tb00883.x.
- Ortiz, O., and V. Mares. 2017. The Historical, Social, and Economic Importance of the Potato Crop BT - The Potato Genome (Kumar Chakrabarti, S., C. Xie, & J. Kumar Tiwari, Eds.). doi: 10.1007/978-3-319-66135-3_1.
- Pérez, W., and G. Forbes. 2008. El Tizon Tardío De La Papa. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Pérez, W., and G. Forbes. 2011. Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Ramamurthy, V. V., V. Krishna, K. B. Rebijith, N. K. K. Kumar, and R. Asokan. 2013. Development of Species-Specific Markers and Molecular Differences in Mitochondrial and Nuclear Dna Sequences of *Aphis Gossypii* and *Myzus Persicae* (Hemiptera: Aphididae) . *Florida Entomologist*, 95(3): 674–682. doi: 10.1653/024.095.0318.
- Riethmuller, A., H. Voglmayr, M. Goker, M. Weiss, and F. Oberwinkler. 2002. Phylogenetic relationships of the downy mildews (Peronosporales) and related groups based on nuclear large subunit ribosomal DNA sequences. *Mycologia*, 94(5): 834–849.
- Rodriguez Mendoza, M. D. L. N., G. Alcántar González, A. Aguilar Santelises, J. D. Etchevers Barra, and J. A. Santizó. 1998. Estimation of Nitrogen and Chlorophyll Status of Tomato with a Portable Chlorophyll Meter. *Terra*, 16(2): 135–141.
- Romero, L. C., M. Á. Aroca, A. M. Laureano-Marín, I. Moreno, I. García, and C. Gotor. 2014. Cysteine and cysteine-related signaling pathways in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant*. doi: 10.1093/mp/sst168.

- Rowe, R. C., and D. Curwen. 1993. Potato health management (Rowe, R. C., Ed.). APS Press.
- Rubio Covarrubias, O. Á., I. H. Almeyda León, J. Ireta Moreno, J. A. Sánchez Salas, R. Fernández Sosa, J. T. Borbón Soto, ... M. A. Cadena Hinojosa. 2006. Distribución de a Punta Morada y *Bactericera cockerelli* Sulc . en las principales zonas productoras de papa en México. *Agricultura Técnica En México*, 32(2): 201–211.
- Rueda, A., and A. M. Shelton. 1996. Global Crop Pest. Tizón Temprano del Tomate. <http://web.entomology.cornell.edu/shelton/veg-insects-global/spanish/eblight.html>. Accessed November 20, 2018.
- Rybicki, E. P. 2015. A Top Ten list for economically important plant viruses. *Archives of Virology*, 160(1): 17–20. doi: 10.1007/s00705-014-2295-9.
- Salas F., C., C. Quiroz, and J. Puelles T. 2016. Pulgones de la papa (No. 03). Santiago de Chile.
- Scala, A., S. Allmann, R. Mirabella, M. A. Haring, and R. C. Schuurink. 2013. Green leaf volatiles: A plant's multifunctional weapon against herbivores and pathogens. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 14, 17781–17811. doi: 10.3390/ijms140917781.
- Science and Advice for Scottish Agriculture. 2019. The European Cultivated Potato Database. Agata. <https://www.europotato.org/varieties/view/Agata-P>. Accessed March 23, 2019.
- Slansky, F., and P. Feeny. 1977. Stabilization of the Rate of Nitrogen Accumulation by Larvae of the Cabbage Butterfly on Wild and Cultivated Food Plants. *Ecological Monographs*, 47(2): 209–228. doi: 10.2307/1942617.
- Somogyi, M. 1952. Notes on Sugar Determination. *The Journal of Biological Chemistry*, 195(1): 19–23.
- Swanson, E. M., A. Espeset, I. Mikati, I. Bolduc, R. Kulhanek, W. A. White, ... E. C. Snell-Rood. 2016. Nutrition shapes life-history evolution across species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1834). doi: 10.1098/rspb.2015.2764.
- Turlings, T. C. J., and M. Erb. 2018. Tritrophic Interactions Mediated by Herbivore-Induced Plant Volatiles: Mechanisms, Ecological Relevance, and Application Potential. *Annual Review of Entomology*, 63(1): 433–452. doi: 10.1146/annurev-ento-020117-043507.
- Van Emden, H. F., and M. A. Bashford. 1969a. A Comparison of the Reproduction of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* in Relation to Soluble Nitrogen Concentration and Leaf Age in the Brussels Sprout Plant. Ein Vergleich der Vermehrung von *Brevicoryne Brassicae* und *Myzus persicae* in Beziehung zu. *Anzeiger Für Schädlingskunde Und Pflanzenschutz*, 42(6): 95. doi: 10.1007/BF02027653.

- Van Emden, H. F., and M. A. Bashford. 1969b. A comparison of the reproduction of *Brevicorine brassicae* and *Myzus persicae* in relation to soluble nitrogen concentration and leaf age (leaf position) in the Brussels sprout plant. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 12(3): 351–364. doi: 10.1111/j.1570-7458.1969.tb02530.x.
- Van Emden, H. F., and R. Harrington. 2007. *Aphids as Crop Pests*. CABI.
- Vivaldo, G., E. Masi, C. Taiti, G. Caldarelli, and S. Mancuso. 2017. The network of plants volatile organic compounds. *Scientific Reports*, 7(1): 1–18. doi: 10.1038/s41598-017-10975-x.
- Witham, F. H., D. F. Blaydes, and R. M. Devlin. 1971. *Experiments in plant physiology*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Yang, X.-B., Y.-M. Zhang, L. Hua, and T.-X. Liu. 2010. Life History and Life Tables of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae) on Potato Under Laboratory and Field Conditions in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Journal of Economic Entomology*, 103(5): 1729–1734. doi: 10.1603/ec10083.
- Zachmann, R. 1982. Early Blight of Potato *Alternaria solani*. International Potato Center.
- Zitter, T. A. 1984. Vegetable MD Online. Potatoe Early Blight. http://vegetablemdonline.ppath.cornell.edu/factsheets/Potato_EarlyBlt.htm. Accessed October 25, 2018.

EFFECTO DEL DESBALANCE NUTRICIONAL DE NITRÓGENO SOBRE LA POBLACIÓN DE *MYZUS PERSICAE* (HEMIPTERA: APHIDAE) Y *BACTERICERA COCKERELLI* (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) EN *SOLANUM TUBEROSUM* (SOLANACEAE)

Daniel Estiven Quiroga-Murcia^{1*}, Héctor Lozoya-Saldaña¹, Ingeborg Zenner de Polanía², Mateo Vargas-Hernández¹, Joel Pineda-Pineda¹, Ángel Lagunes-Tejeda³.

¹ Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México; ² Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá (Colombia); ³ Colegio de Posgraduados Texcoco, Estado de México, México.

*Corresponding author: quirogaedaniel@hotmail.com

Resumen

Los insectos chupadores limitan la producción hortícola, por sus daños directos e indirectos. Se habla de una relación entre la fertilización y las plagas, aunque los trabajos realizados hasta la fecha no son concluyentes. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de fuentes y dosis de fertilizante nitrogenado, sobre poblaciones de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) y *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) bajo invernadero. Hubo diferencias significativas en los conteos semanales de individuos para las fuentes y las dosis para ambos insectos. Para *M. persicae* el mayor número de individuos estuvo en el testigo. Para *B. cockerelli* se observó un comportamiento parabólico de la población, donde a la mitad del ciclo hubo un pico poblacional que luego bajo. Los insectos permanecieron en el estrato superior en la mayoría de las fuentes. Se concluye que la fertilización nitrogenada influye sobre la población de estos insectos, afectando el contenido nutricional de la planta.

Palabras Clave: Ecología, Nutrición, Desequilibrio, Insectos Chupadores.

Abstract

Sucking insects represent limitation for horticultural production, for their direct and indirect damage. A relationship between fertilization and pests has been previously studied, although results are not conclusive. The objective of this research was to evaluate the effect of sources and doses of nitrogen fertilizer on populations of *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) and *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) under greenhouse conditions. There were significant differences in the weekly counts of individuals between sources and doses for both insects. For *M. persicae*, the largest number of individuals was detected in the controls. For *B. cockerelli*, a parabolic behavior of the population was observed. There was a population peak in the middle of the cycle, but it was then lowered the end. The insects remained in the upper stratum in most sources. It is concluded that nitrogen fertilization does influence the population of these insects, because it affects the nutritional content of the plant.

Introducción

La papa es uno de los cultivos alimenticios más importantes del mundo, solo superado por la caña de azúcar, el maíz, el trigo y el arroz; con un área sembrada de 19'246,462 ha y una producción de 376'826,967 ton. En América para el año 2016, se registraron 1'768,725 has sembradas con una producción de 42'592,735 ton, de las cuales Estados Unidos aportó cerca del 46%, Perú un poco más del 10%, Colombia con el 5.5% y México con el 4.2% (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2017a; International Potato Center 2015).

Los áfidos representan una de las plagas más importantes para los cultivos hortícolas, ya que además del daño directo que ocasionan con la succión de savia, producen daños indirectos relacionados con la aparición de fumagina sobre las secreciones azucaradas de estos insectos, reduciendo el área fotosintéticamente activa de las plantas y la transmisión de virus (Salas, Quiroz y Puellas, 2016); Cerca de 10 virus de papa son transmitidos por áfidos, su manejo y monitoreo es de gran importancia debido a la biología del insecto y su fácil propagación por el amplio rango de hospedantes que posee dificultando su manejo (Rybicki 2015; Salas et al. 2016); para el caso del cultivo de papa se hablan de 12 a 15 generaciones por año en condiciones del suroeste de los Estados Unidos (CABI 2019).

El psílido de la papa *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Trioizidae) era considerado una plaga secundaria y en la actualidad causa daños de importancia económica en varios cultivos de solanáceas, de forma directa e indirecta (X.-B. Yang, Zhang, Hua y Liu, 2010), en la papa provoca amarillamiento por la producción de toxinas y retraso del crecimiento, además de transmitir la enfermedad llamada punta morada de la papa, causada por fitoplasmas del grupo 1 y *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Almeyda et al. 2007; Gutiérrez-Ibáñez et al. 2013; Rubio Covarrubias et al. 2006); estos mismos autores detectaron la presencia de fitoplasmas que afectan a papa en malezas que podrían servir como fuentes de inóculo de los patógenos y transmitidos por los vectores al cultivo. Este es un insecto de ciclo corto que puede infestar rápidamente el cultivo (Bujanos Muñoz y Ramos Mendez, 2015; Covarrubias, León, Moreno, Alfredo, y Salas, 2006); a causa de esta enfermedad se reportan pérdidas cercanas a 25 millones de dólares en Texas (CABI 2018b).

El balance alimenticio que existe entre un organismo considerado plaga y un cultivo de interés es de gran importancia a la hora de hablar de manejo integrado de plagas; el organismo se desarrolla cuando el hospedero suple todas las necesidades nutricionales de este para crecer y reproducirse.

Mantener dicho balance representa para los organismos asegurar su sobrevivencia, puesto que parámetros como el tamaño, su tasa de crecimiento y su posición en la cadena trófica se ven afectados por el contenido nutricional de su alimentación. Incompatibilidades entre el alimento y el requerimiento nutricional del consumidor se expresan como disminución en la reproducción, sobrevivencia y crecimiento (Filipiak y Weiner 2017; Lu et al. 2007)

El nitrógeno es un elemento esencial para todos los procesos metabólicos al ser parte de la estructura celular y génica; los organismos heterótrofos requieren un suministro de nitrógeno orgánico ya metabolizado por los autótrofos; por esto se considera que es un factor limitante para la sobrevivencia de diversos organismos, en los animales entre el 7-14% de su peso está constituido por nitrógeno, mientras que en las plantas se habla de un 3-7% en tejidos de crecimiento activo, órganos de almacenamiento y semillas; el floema contiene solo entre 0.004-0.60% de Nitrógeno (Mattson 1980).

Las proteínas en los animales constituyen la estructura de sus tejidos y órganos mientras que en las plantas son los carbohidratos quienes cumplen esta función (Mattson 1980; Medrano et al. 2008), adicionalmente, el contenido de nitrógeno en los animales es mucho más alto que en las plantas (Filipiak y Weiner 2017; Huberty y Denno 2006; Swanson et al. 2016).

Existe gran discusión en torno al efecto del Nitrógeno en el desarrollo de las plagas y enfermedades; al plantearse que este elemento se constituye como un limitante en la dieta de los insectos para su desarrollo, crecimiento, sobrevivencia y reproducción (Ayres, Wilkens, Ruel, Lombardero y Vallery 2000; Bentz, Reeves, Barbosa y Francis 1995; Busch y Phelan 1999; De Bruyn, Scheirs y Verhagen 2002; Fagan et al. 2002;

Hogendorp et al. 2006; Jahn et al. 2005; Jauset et al. 2000; Kainulainen, Holopainen, Palomäki y Holopainen 1996; Kerslake, Woodin y Hartley 1998; Mattson 1980; Slansky and Feeny 1977; Swanson et al. 2016; Van Emden y Bashford 1969a), también existen estudios donde se habla de que no existe un efecto directo significativo de los desbalances nutricionales en el desarrollo de los insectos (Atkinson y Nuss 1989; Han, Lavoire, Le Bot, Amiens-Desneux y Desneux 2014; Jansson y Smilowitz 1986).

Respecto al tema se tienen varias hipótesis, entre éstas, que los insectos aprovechan situaciones de estrés nutricional y/o hídrico para atacar a la planta y al contrario que para los insectos es más atractiva una planta en óptimas condiciones de nutrición y agua; Han et al. (2014) observaron que *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) prefiere plantas en óptimas condiciones nutricionales puesto que cuando existen desbalances en el contenido de nitrógeno y agua, la planta produce compuestos químicos de defensa que perjudican el desarrollo del insecto.

A su vez, el comportamiento de los insectos es muy complejo puesto que poseen estrategias evolutivas que le permiten hacer frente a situaciones adversas a su balance nutricional; existe evidencia de que son capaces de eficientizar el uso del nitrógeno, al consumir más alimento para suplir el desbalance (Huberty y Denno 2006), alargar la duración de su ciclo de vida (Coqueret et al. 2017), sincronizar su ciclo de vida con la planta teniendo en cuenta que hay fases donde sus tejidos son nutricionalmente más ricos (Bi et al. 2003), seleccionar tejidos con altos contenidos nutricionales y manipular su dieta diversificándola o estableciendo relaciones simbióticas con hongos para alcanzar niveles óptimos de nitrógeno (Atkinson y Nuss 1989; Ayres et al. 2000; Bentz et al. 1995).

Jansson y Smilowitz (1986) en el caso de *Myzus persicae* sobre papa, usando 4 dosis crecientes de nitrógeno encontraron que no hay diferencia significativa en el crecimiento de la población y que a la dosis más alta se redujo la tasa de crecimiento; la mayoría de insectos se encontraban en las hojas bajas donde la tasa fotosintética es mayor y el contenido de carbohidratos es más alto, contrario a los brotes que es donde se encuentra una mayor proporción de compuestos nitrogenados (Lu et al., 2007; Noldus, et. al., 1986). Se podría inferir que es importante no solo la dosis de nitrógeno sino la forma y la distribución de ésta durante el ciclo puesto que Jansson & Smilowitz (1986) observaron diferentes comportamientos cuando dividieron las dosis aplicadas.

Por ello se puede decir, que el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la densidad poblacional de los insectos plaga no es homogéneo y el objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento poblacional de *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) y *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) en un cultivo de papa *Solanum tuberosum* sometido a tres fuentes de nitrógeno con dosis altas y bajas; además, observar el comportamiento de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg, en la planta a través de análisis foliar y determinar el efecto de las tres fuentes de nitrógeno sobre el contenido de proteínas, azúcares totales y reductores en las plantas.

Metodología

Esta investigación fue realizada bajo invernadero en la Universidad Autónoma Chapingo, Municipio de Texcoco, Estado de México, México; la variedad de papa usada fue Agatha, de ciclo corto que presenta resistencia alta a *Phytophthora infestans* en tubérculos y baja-media en follaje; presenta mediana resistencia a *Fusarium* sp., resistencia media a *Streptomyces scabies* e inmunidad a la verruga de la papa *Synchytrium endobioticum*. En cuanto a virus presenta resistencia alta al Potato Virus Y, baja al Potato Virus X, y media-alta al Potato Leaf Roll Virus; y presenta alta resistencia al nematodo *Globodera rostochiensis* (Canadian Food Inspection Agency 2019; Science and Advice for Scottish Agriculture 2019)

Preparación del sustrato: El sustrato de siembra se preparó con un 70% de suelo, 15% de turba y 15% de perlita, fue puesto en bolsa negras de 19 kg, se realizó un análisis de nutrimentos disponibles y en vista que el sustrato contenía nitrógeno, se lavó éste durante 7 días con una lámina de riego de aproximadamente 2 m; posterior al lavado se obtuvo una concentración de cero nitrógeno disponible en la solución de suelo.

Tratamientos: Se probaron tres diferentes fuentes de nitrógeno, nitrato de amonio (NA) que aporta nitrógeno como amonio y nitrato en partes iguales, nitrato de calcio (NC) que aporta nitrógeno solo como nitrato y sulfato de amonio (SA) cuyo aporte de nitrógeno solo es en forma amoniacal, cada fuente a dosis de 0,5 X que

corresponde a la mitad del requerimiento, 1 X que corresponde a las dosis optima y 2 X que corresponde al doble de la dosis optima (Cuadro 1).

El requerimiento usado para fijar las dosis está ajustado a un rendimiento de 30 ton ha⁻¹; para el requerimiento se tomó en cuenta los requerimientos promedio publicados por Bertsch Hernández (2009), por tonelada a producir se habla de 6 kg ha⁻¹ de Nitrógeno; ajustando a la producción esperada de 30 Ton ha⁻¹ se tendría un requerimiento de 180 kg ha⁻¹ de Nitrógeno o 4,32 gr planta⁻¹ (Cuadro 1). Basados en el análisis de suelo se calculó un aporte de nitrógeno por mineralización de la materia orgánica de 0,7 gr bolsa⁻¹.

La dosis de fertilizante por planta fue dividida en 6 aplicaciones cada 8 días, la primera se efectuó 36 días después de la siembra (DDS) de las plantas hasta los 72 DDS; el fertilizante se diluyó en agua y fue aplicado directamente al suelo cuidando de haber cortado el suministro de agua un día antes.

Manejo del Cultivo: Se contó con un sistema de riego por goteo con el cual se ajustaban los periodos de riego dependiendo el estadio del cultivo y las condiciones de temperatura y humedad del invernadero; se realizaron aplicaciones de fungicidas con el fin de mantener a las plantas libres de cualquier hongo fitopatógeno que pudiese afectar al cultivo.

Las plantas se distribuyeron sobre tres mesadas metálicas, donde cada mesada se fertilizo solo una fuente de nitrógeno a las diversas dosis, también se incluyó un tratamiento control al que solo se le aplicaba agua.

Se utilizó un diseño experimental en parcelas subdivididas donde la parcela grande era cada una de las fuentes utilizadas arregladas como un DBCA y como parcelas chicas las dosis de nitrógeno propuestas; se usaron tres repeticiones por tratamiento (Fuente x dosis) y cada repetición a su vez estaba compuesta por tres plantas.

Infestación y muestreo de insectos: inicialmente se estableció una cría de áfidos, con insectos procedentes de una cría del Colegio de posgraduados, Texcoco, Edo. México, México, dentro del invernadero en plantas de papa para que el insecto se adaptara a ésta; la cría se inició un mes antes de la siembra del cultivo de forma tal que para la emergencia hubiese suficiente población para que infestara a las plantas, con esto se buscó observar la preferencia del insecto.

Por otro lado, para la infestación de *Bactericera cockerelli*, se utilizaron adultos criados en el Colegio de Posgraduados Texcoco Edo. México, México; fueron liberados aproximadamente 400 individuos a los 37 DDS.

Para estimar la densidad poblacional de los insectos se dividieron las plantas en dos estratos y se tomó una hoja, de cada uno, que se marcó desde el primer muestreo; también se contaron los insectos que se encontraban en el cogollo en todos los estados: huevos, ninfas y adultos de ambos insectos; se realizaron un total de 6 muestreos distanciados entre si cada siete días a partir de los 50 DDS.

Análisis foliares: se realizaron dos muestreos para los análisis foliares de contenido de nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca), a los 65 DDS y a los 84 DDS, y un muestreo para cuantificar proteínas solubles totales, azúcares totales y azúcares reductores, a los 65 DDS.

Para la determinación de N se utilizó el método de micro-Kjeldahl (Bremner 1965; Houghton 1945), para la estimación de P se utilizó el método de colorimetría con fosfo-vanado-molibdato y se midió la absorbancia a 420 nm en un espectrofotómetro (Genesis 10uv Thermo Scientific), para estimar K se midió por Flamometría usando el equipo (Photometer Corning 400); en el caso de Ca y Mg se midieron por espectrofotometría de absorción atómica (Phyllis Pye SP9 Spectrophotometer) (American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation 2017; Hanlon 1998).

Para la cuantificación de azúcares totales se usó el método de antrona (Witham, Blaydes, and Devlin 1971), para azúcares reductores se usó el método de Somogyi (Somogyi 1952) y para proteínas solubles totales se usó el método de Bradford (Bradford 1976).

Se realizó una medición del contenido de clorofila usando el SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development), con la metodología usada por Mendoza, Alcántar González, Santelises, Etchevers Barra, & Santizó (1998), en

el estrato inferior y superior de la planta; los datos fueron transformados a contenido de clorofila en mg g^{-1} usando la formula aportada por los mismos autores.

Análisis estadístico: Con los resultados obtenidos para el conteo de insectos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) usando el modelo lineal generalizado con una distribución de Poisson y función de enlace logaritmo. La comparación de medias se calculó por medio de mínimos cuadrados, se analizaron los datos en forma individual por muestreos y estratos, también se analizaron en forma combinada agrupando los estratos y muestreos. Para el caso de los análisis de contenido de clorofila, elementos nutricionales y metabolitos, se realizó un ANOVA usando el modelo lineal general y la comparación de medias se hizo usando la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, de la misma forma que para el conteo de los insectos se analizaron datos en forma individual por muestreo y agrupando estratos y muestreos en función de los factores fuente y dosis.

Resultados

Densidad Poblacional de *Myzus persicae*

Para el caso de *Myzus persicae* se observa a través de los muestreos que la población total se mantuvo cuando las plantas fueron fertilizadas con NC y NA, cuando se aplicó SA la población disminuyó hacia el último muestreo; mientras que en el tratamiento control la población aumentó cerca de un 100% (Cuadro 2).

Por otro lado, el comportamiento a través de los estratos muestra que para la mayoría de los tratamientos hubo mayor cantidad de insectos en el estrato superior que en el inferior excepto para la fuente NC a la dosis baja donde siempre hubo mayor cantidad de insectos en las hojas inferiores. Tanto para el tratamiento control como para la fuente SA a la dosis óptima el comportamiento fue variable, en ambos tratamientos para los primeros y últimos muestreos hubo mayor población de insectos en el estrato superior, pero durante los muestreos intermedios se invirtió dicho comportamiento. En la fuente NC la más alta población se presentó en la dosis 0,5 X, para la fuente NA se dio en la dosis 1 X y en la fuente SA en la dosis 2 X (Figura 1).

Cuando se observan los datos en función de la fuente, se puede notar que durante todos los muestreos hubo diferencias significativas (Cuadro 2); aun cuando el comportamiento fue bastante variable, las tres fuentes tuvieron las más altas poblaciones en el primer muestreo; inicialmente la mayor población se observó con la fuente SA pero al final ésta tuvo la menor población; NC que fue la fuente con menor población al comienzo fue la que más insectos tenía al final; hubo un ligero aumento de población en el último muestreo para las fuentes NC y NA que rompió con la tendencia de disminución durante todos los otros muestreos.

Al agrupar los resultados por dosis de N (Cuadro 2), se observa que también hubo diferencias significativas en todos los muestreos y que las dosis desbalanceadas fueron las que tuvieron más insectos durante todos los muestreos; la dosis óptima tuvo las poblaciones más bajas y solo en el último muestreo la población supera a la dosis 2 X aunque en el agrupamiento no hubo diferencias significativas; en general se observó al igual que al agrupar por fuentes la tendencia de disminución de la población desde el primero al último muestreo.

Finalmente al realizar un análisis combinando los datos de todos los muestreos (Cuadro 2) se observó que hubo diferencias significativas entre todas las fuentes y la que tuvo la mayor población fue NA, la menor población se obtuvo con la fuente SA. La dosis óptima resultó con la población más baja y la dosis 0,5 X tuvo la población más alta; al observar la interacción fuente x dosis todos los tratamientos tuvieron diferencias significativas encontrándose que el tratamiento con la mayor población fue NC a la dosis 0,5 X y el que tuvo la menor fue SA a la dosis óptima.

Población de *Bactericera cockerelli*

Durante el primer muestreo el insecto aún no se había establecido en las plantas por ello la población fue prácticamente nula; ya para el segundo muestreo se comenzaron a observar huevos y adultos.

La población de *Bactericera cockerelli* tuvo una evolución parabólica para las fuentes NC y NA, así como para el tratamiento control (Cuadro 2). Se observaron poblaciones muy bajas al inicio de los muestreos, posteriormente la población aumentó hasta llegar a un pico a la mitad de los muestreos, época que concuerda

fenológicamente con la tuberización, y decreció casi a cero en el último muestreo; la población en el tratamiento control fue baja al compararla con los demás tratamientos.

Para la fuente SA hubo un aumento de población durante todos los muestreos con todas las dosis hasta llegar al último muestreo; la población más alta de insectos se alcanzó al día 69 DDS con la dosis 0,5 X de la fuente NA. En esta fuente con las dos dosis desbalanceadas se obtuvieron las mayores poblaciones al compararlas con la dosis optima; para la fuente NC la población más alta se presentó con la dosis 1 X y en la fuente SA la dosis más alta fue la que tuvo la población mayor (Figura 1).

Respecto a la distribución en la planta, las fuentes NA y SA en todas las dosis y muestreos los insectos se mantuvieron en el estrato superior en su mayoría; solo en el último muestreo se observó como en algunos tratamientos los insectos se encontraron en el estrato inferior, en otros casos ascendieron al cogollo. Para la fuente NC a la dosis 0,5 X los insectos se mantuvieron en el estrato superior y cogollo pero para las otras dosis el comportamiento fue más aleatorio, observándose que en la dosis optima inicialmente estuvieron en el estrato superior y a los 63 y 69 DDS descendieron, aunque pasados esos muestreos volvieron a subir al estrato superior y cogollo; en la dosis 2 X fue el único tratamiento donde los insectos estuvieron la mayor parte de los muestreos en el estrato inferior, aunque en el último muestreo se observó un ascenso al estrato superior.

En el tratamiento control, los insectos estuvieron durante todos los muestreos en el estrato superior, pero en el último muestreo se observa una pequeña dispersión a estrato inferior y el cogollo.

Al combinar los datos de las dosis de las fuentes (Cuadro 2), hubo diferencias significativas entre estas durante los 4 primeros muestreos, pero posteriormente cuando la población decreció no hubo diferencias significativas. Inicialmente la fuente que más insectos tuvo fue NA, comportamiento que se mantuvo a lo largo de los muestreos hasta decrecer la población en el último muestreo.

En el mayor pico poblacional, con 12,6 insectos planta⁻¹, se presentó a los 69 DDS; la fuente NA tuvo la más alta población y durante todos los muestreos la fuente que menos insectos tuvo fue SA, donde no pasaron de 2 insectos planta⁻¹ (Cuadro 2).

Al agrupar las fuentes y expresar los resultados solo en función de las dosis (Cuadro 2), inicialmente la dosis 2 X fue la que tuvo el mayor número de insectos y esto se mantuvo hasta el último muestreo exceptuando el muestreo a los 69 DDS, donde no hubo diferencias significativas entre la dosis 0,5 X y 2 X. Estas dosis desbalanceadas, a su vez presentaron el mayor número de insectos durante casi todos los muestreos, solo en el primer muestreo no se observó este comportamiento, al compararlo con la dosis optima ajustada al requerimiento nutricional; en el último muestreo no se observaron diferencias significativas entre las dosis al igual que con las fuentes.

En el análisis combinando de todos los muestreos (Cuadro 2) se observa que la fuente que tuvo la mayor población de insectos fue NA, mientras que la menor población se observó en la fuente SA. La dosis 2 X presentó la mayor población, seguida de la dosis optima y la menor población se presentó en la dosis 0,5 X; al evaluar la interacción entre fuentes y dosis se observa que la mayor población se observó con la fuente NA a la dosis 2 X y la menor población se observó con la fuente NC a la dosis 0,5 X, no existieron diferencias significativas entre dosis, pero sí hubo diferencias significativas entre fuentes y en la interacción fuente x dosis.

Contenido de clorofila

El contenido de clorofila en hojas fue relativamente homogéneo (Cuadro 3), al agrupar las dosis en función de las fuentes, para el estrato inferior, se observó que no hubo diferencias significativas entre éstas, aunque el tratamiento control tuvo los valores más bajos y la fuente NC los más altos

Al agrupar las fuente en función de la dosis, se observó una mayor cantidad de clorofila en la dosis 0,5 X con respecto a las demás, el tratamiento control nuevamente en este caso tuvo la concentración más baja de clorofila; entre las dosis para el estrato inferior tampoco hubo diferencias significativas; todos los tratamientos tuvieron un contenido mayor de clorofila con respecto al tratamiento control.

En el estrato superior al agrupar las dosis en función de la fuente (Cuadro 3) se obtuvo diferencias significativas en el contenido de clorofila, siendo las fuentes amoniacales las que tuvieron los valores más altos, seguidas por la fuente NC, el tratamiento control tuvo los valores más bajos; al agrupar las fuentes en función de las dosis se observa que no hubo diferencias significativas entre las dosis, siendo el tratamiento control el tratamiento con los valores más bajos y la dosis 1 X y 0, 5X las que tuvieron levemente una mayor cantidad de clorofila; en la interacción fuente x dosis el tratamiento control tuvo el contenido más bajo y la dosis óptima de la fuente SA el más alto.

Contenido Nutricional

En general se observaron diferencias significativas entre fuentes, dosis y Fuente x dosis para los nutrientes N, P, K; Mg y Ca (Cuadro 4).

Para el primer muestreo en el estrato inferior al agrupar las dosis en función de las fuentes (Cuadro 4) se observaron diferencias significativas en N, P, K, el tratamiento control en todos los casos tuvo niveles de nutrientes similares a los demás tratamientos, siendo este el que tuvo el mayor contenido de fósforo, el mayor contenido de N lo tuvo la fuente NA y el mayor contenido de K lo tuvo la fuente SA; el tratamiento control también tuvo la mayor cantidad de Ca con respecto a las demás fuentes.

En este estrato al evaluar las fuentes agrupadas en función de la dosis (Cuadro 4), se observaron niveles de fósforo homogéneos y una tendencia creciente en el N y K, donde la dosis control y la dosis 0,5 X tuvieron valores similares pero la que tuvo el mayor contenido fue la dosis 2 X; respecto al Ca nuevamente se observa que la dosis control tuvo valores más altos que las demás.

En el estrato superior agrupando las dosis en función de la fuente, nuevamente el tratamiento control presenta los valores más altos para P, por otro lado, el tratamiento control tuvo los valores más bajos de N y las fuentes amoniacales tuvieron los valores más altos; al igual que en el estrato inferior, la fuente NC tuvo los niveles más altos de K, nuevamente para las fuentes hubo diferencias significativas en el contenido de N, P, K solamente.

Al agrupar las fuentes en función de la dosis (Cuadro 4), solo se observaron diferencias significativas en el contenido de Ca, el P se comportó de forma homogénea igual que en el estrato inferior, se observó la tendencia creciente del N al aumentar las dosis desde el tratamiento control y en K la tendencia se invirtió en este estrato; nuevamente se observó que el tratamiento control y en este caso la dosis 0,5 X tuvieron el mayor contenido de Ca.

Al combinar los estratos y agrupar los datos en función de la fuente (Cuadro 4), se observa que hubo diferencias significativas entre fuentes para los nutrientes N, P, K; la concentración de N en el tratamiento control fue menor que en las fuentes, aunque la concentración de P fue alta con la fuente SA; la concentración de K fue mayor en la fuente NC y la menor fue para SA, mientras que el tratamiento control tuvo la mayor concentración de Ca con respecto a los demás tratamientos.

En función de la dosis (Cuadro 4), no hubo diferencias significativas en el contenido de N, P, K, pero sí en Mg, Ca; se observó que el contenido de N estuvo en función de la dosis siendo el tratamiento control el tratamiento con más baja cantidad de este nutrimento, tanto P, K como Mg mantuvieron niveles homogéneos; en el contenido de calcio la dosis menores (tratamiento control y 0,5 X) tuvieron la mayor cantidad de este nutrimento.

Para el muestreo dos se observó que los nutrientes se equilibraron en la mayoría de tratamientos (Cuadro 4), por lo cual al comparar fuentes en el estrato inferior no hubo diferencias significativas. En el estrato inferior solo hubo diferencias en el contenido de P y K, pero al agrupar en función de la dosis no hubo diferencias significativas para ninguno de los nutrientes; en el análisis combinado de los datos se observa que solo entre las fuentes para P y K hubo diferencias significativas pero no entre las dosis.

En el estrato inferior al agrupar en función de las fuentes (Cuadro 4) se observó un menor contenido de nitrógeno en el tratamiento control y un contenido mayor de P, K y Ca comparado con las fuentes, al agrupar en función de las dosis igualmente se observa un mayor contenido de Ca en el tratamiento control. En el estrato superior,

agrupando los datos en función de las fuentes, el tratamiento control tiene los mayores contenidos de P y Ca y el menor contenido de N; agrupando los datos en función de la dosis los valores son homogéneos teniendo el tratamiento control nuevamente mayor contenido de Ca.

En el análisis combinado para los estratos con los datos agrupados a través de la fuente se mantiene el comportamiento en el que para los nutrientes P y Ca el tratamiento control tiene los más altos valores, mientras que para N se presentan el menor valor; si se agrupan las fuentes a través de las dosis (Cuadro 4), se observa que entre las dosis 0,5 X, 1 X y 2 X el contenido de N se estabiliza y en el tratamiento control es menor, para P, K y Ca se observa un mayor contenido en el tratamiento control.

En general los nutrientes P y Mg tuvieron los comportamientos más estables, N, K y Ca variaron entre cada tratamiento (Cuadro 4), el nitrógeno mantuvo una relación directamente proporcional a la dosis tanto en el estrato inferior como en el superior y en la combinación de ambos para los dos muestreos; se observa que P y Ca que se mantuvieron en mayor cantidad en el tratamiento control en ambos muestreos.

Cantidad de proteínas solubles totales, azúcares totales y azúcares reductores.

El contenido de metabolitos solo fue evaluado en un muestreo y al igual que el contenido nutricional (Cuadro 3), ambos pudieron estar influenciados tanto por la presencia de los insectos, como por la fertilización. Para los datos combinados a través de las fuentes se observó que el NA los contenidos más altos de proteína en ambos estratos así como en el análisis combinado, este último además tuvo el mayor contenido de azúcares reductores; a su vez la fuente NC tuvo los valores más bajos de los tres metabolitos; el tratamiento control presentó niveles altos de proteínas en el estrato inferior; respecto a los azúcares totales la fuente SA tuvo los valores más altos.

Se observó una sincronía entre el contenido de azúcares reductores y proteínas cuando se agruparon los datos en función de las fuentes (Cuadro 3), ya que cuando se aumenta uno de los parámetros el otro también lo hace, cuando los datos se agruparon en función de la dosis se observa que la dosis óptima tuvo niveles altos de proteínas y bajos de azúcares reductores en comparación con las dosis desbalanceadas que tuvieron menor contenido de proteínas y mayor contenido de azúcares reductores. Entre las fuentes hubo diferencias significativas en el estrato inferior para el contenido de azúcares reductores, mientras que en el estrato superior hubo diferencias significativas en el contenido de azúcares totales. Entre las dosis solo hubo diferencias significativas en el análisis combinado de los estratos para los azúcares reductores (Cuadro 3).

Discusión

Densidad poblacional de *Myzus persicae* y *Bactericera cockerelli*

La demanda de nitrógeno en los diversos organismos está marcada, entre otros factores, por sus ciclos ontogénicos, donde en estadios juveniles la demanda es mayor y disminuye con la edad, para el caso de las plantas esto sucede a nivel de los tejidos (Mattson 1980). Al observar los dos muestreos nutricionales, el contenido de nitrógeno en las hojas disminuyó, lo que puede deberse al efecto de la alimentación de los insectos sobre la planta o a relaciones fuente-demanda mediante las cuales los nutrientes migran a órganos sumidero, que en el caso de la papa serían los tubérculos.

Esta disminución en el contenido de nitrógeno podría afectar al pulgón, Milton en (1978, 1979) propuso la existencia de dos grupos de herbívoros, unos comportamentales y otros especialistas anatómicos donde los primeros no poseían una gran especialización en su tracto digestivo siendo muy selectivos por requerir alimento con alta cantidad de nutrientes, por otro lado estaban los que poseían un sistema digestivo más complejo normalmente asociado a microorganismos que permitían aprovechar de mejor manera todos los nutrientes contenidos en la biomasa. Con base en esta descripción los insectos chupadores harían parte del primer grupo por lo cual son más selectivos a la hora de alimentarse buscando plantas o tejidos dentro de la planta con mayor cantidad de nutrientes en nuestro caso nitrógeno orgánico.

La población de pulgones en todas las fuentes disminuyó a lo largo de los muestreos, lo que se atribuye a la reducción de nitrógeno en la planta, además las plantas poseen un complejo sistema de defensa que les permite protegerse del ataque de herbívoros sirviendo como señales de alerta o mediante efectos directos sobre los

herbívoros o como repelentes, anti alimentarios o como sustancias toxicas que afectan el desarrollo en general (Turlings and Erb 2018). En contra parte, se debe tener en cuenta que la defensa representa un gasto energético y nutricional para la planta; cuando existen desbalances nutricionales hay cambios en la planta a nivel metabólico, químico y morfológico (De Bruyn et al. 2002; Han et al. 2014; Lu et al. 2007), cambios que pueden llevar a desbalances a nivel ecológico que favorecen a uno u otro de los actores del agroecosistema (Altieri and Nicholls 2003; Swanson et al. 2016).

El tratamiento control fue el que tuvo en todos los muestreos nutricionales el nivel más bajo de nitrógeno, aunque tuvo niveles altos de proteínas y azúcares reductores con respecto a las fuentes que recibieron nutrición suplementada, se puede inferir que la planta utilizó el poco nitrógeno disponible en el suelo producto de la mineralización de la materia orgánica y del tubérculo semilla para sobrevivir enfocándose en la producción de metabolitos esenciales y descuidando consumos de lujo (Dubuis, Marazzi, Stadler and Mauch 2005) como lo pudiese ser la defensa, por ello *M. persicae* encontró en la planta un hospedero en el que tenía disponibilidad de nutrientes sin compuestos nocivos que afectaran su desarrollo, siendo también probablemente el tratamiento control un hospedero de insectos que se encontraban en las otras plantas y que migraron debido a menores cantidades de nutrientes o elevada concentración de compuestos tóxicos o repelentes en estas.

Lo anterior debe verificarse midiendo otros metabolitos que pudiesen tener estas funciones de defensa en la planta pero que no fueron evaluados en esta investigación; si esta hipótesis fuese validada, en campo las plantas con deficiencias nutricionales muy marcadas pueden ser un foco de propagación de pulgones lo cual hasta pudiese llegar a ser utilizado como una táctica de manejo que mantenga estas plantas de forma planeada para que se realice un control dirigido solo a estas.

El comportamiento de *M. persicae* y *B. cockerelli* al agrupar los datos a través de la fuente de nitrógeno es complejo de relacionar con el contenido nutricional y de metabolitos; no se observó un patrón a nivel de estas variables que permita inferir sobre la mayor población de insectos en la fuente NA con respecto a la fuente SA; se observa que la fuente NA tuvo al igual que el tratamiento control un alto contenido de proteínas, y también de azúcares reductores; su contenido de nitrógeno fue mayor que el del tratamiento control en el primer muestreo y cercano al del tratamiento control en el segundo; al comparar la fuente SA con las anteriores se evidencia que el nivel de proteínas fue menor pero el contenido de azúcares totales fue alto.

Bentz, Reeves, Barbosa, & Francis (1995) observaron que *B. tabaci* tuvo un mayor desarrollo cuando las plantas fueron fertilizadas con Nitrato de Amonio que con Nitrato de Calcio, en este estudio la población de *M. persicae* fue mayor en esta fuente pero la menor población se obtuvo con la fuente SA, lo cual hace pensar que el aporte de azufre por parte de esta fuente puede tener algún efecto sobre la población del insecto; existen compuestos volátiles como el dimetilsulfuro y el metanotiol que pudiesen tener algún efecto sobre la población de insectos (Scala, Allmann, Mirabella, Haring, and Schuurink 2013; Vivaldo, Masi, Taiti, Caldarelli, and Mancuso 2017), además se sabe que el azufre es un compuesto precursor de la cisteína que a su vez es la base de compuestos de defensa como los glucosinatos (Dubuis et al. 2005; Romero et al. 2014)

Por otro lado, la fuente NC que tuvo poblaciones intermedias de insectos entre las dos fuentes, en el contenido de metabolitos fue el más bajo, pero se observó en los muestreos nutricionales que el contenido de K fue de los más altos, esto concuerda con el trabajo de Bednarz & Oosterhuis (1999) donde altos niveles de K en la planta ocasionaron una baja producción de Proteínas y azúcares en plantas de algodón.

Cuando los datos se agrupan a través de las dosis, la dosis optima tuvo durante todos los muestreos, excepto en el último y en el análisis combinado, los niveles más bajos de población de *M. persicae*; aunque se observaron niveles altos de proteína, tuvo los más bajos de azúcares tanto reductores como totales. Si se comparan los dos casos donde hubo mayor y menor población de pulgones, el alto contenido de proteínas fue un factor común, lo cual podría indicar que dicho parámetro no influyo en la aceptabilidad de la papa por los pulgones mientras que si el contenido de azúcares.

El contenido de nitrógeno en la dosis optima fue, en el primer muestreo, intermedio y en el segundo de los más bajos, Atkinson and Nuss (1989); Jansson, Leibe, Sanchez and Locrone (1991) y Van Emden and Bashford (1969a) encontraron que el contenido de nitrógeno total en la planta no es un parámetro que pueda relacionarse con la población de insectos y se proponen parámetros como la biomasa o el nitrógeno en el floema , y dentro

de estos parámetros el contenido de nitrógeno en la planta y en el suelo es solo uno de los factores que pueden influenciarlo.

Han et al. (2014) y Coqueret et al. (2017) afirman que para el caso de *Tuta absoluta* en tomate, el insecto prefirió siempre plantas que tuvieron niveles óptimos de fertilización nitrogenada puesto que a niveles bajos o altos la relación C:N se afecta y se producen compuestos de defensa bien sea derivados del carbono o del nitrógeno dependiendo el tipo de desbalance; dichos compuestos se producen en menor cantidad cuando la planta posee niveles óptimos de nutrición y por ello el insecto tuvo mejores índices de desarrollo sobre plantas con una nutrición óptima, lo cual fue contrario a esta investigación, puesto que las plantas que tuvieron dosis de nitrógeno desbalanceadas (0X, 0,5X y 2X), fueron las que tuvieron la mayor población de *M. persicae*.

Respecto a lo anterior se puede decir que una fertilización en niveles óptimos podría mantener una relación C:N equilibrada de forma tal que se produzca una variedad de compuestos de defensa que en conjunto tendrían un mayor efecto sobre las poblaciones de insectos chupadores, adicionalmente una fuente que aporte azufre podría fortalecer este sistema de defensa de la planta (Dubuis et al. 2005; Romero et al. 2014) y prueba de ello es que en esta investigación el tratamiento SA en la dosis 1 X fue quien tuvo la menor población de *M. persicae* a lo largo de los muestreos.

La distribución de los insectos en la planta a través de los estratos estuvo marcada por una preferencia por el estrato superior, contrario a lo observado por Jansson & Smilowitz (1986), se afirma que en las hojas inferiores el contenido de N es menor debido a diferencias en la relación C:N donde la planta en hojas más viejas lleva a cabo procesos de proteólisis que hacen que el N sea reciclado y llevado rápidamente a hojas superiores y tejidos demandantes, este fenómeno desencadena un aumento de nitrógeno a nivel del floema lo cual favorecería a los insectos chupadores (Van Emden and Bashford 1969a; Van Emden and Harrington 2007).

Concordando con lo anterior, estos resultados evidencian una mayor cantidad de nitrógeno en el estrato superior para ambos muestreos aunque esta cantidad fue disminuyendo con la edad por ello podría decirse que tanto la cantidad de nitrógeno como la edad de la planta son variables que pueden afectar la población de insectos (Van Emden and Bashford 1969a).

La población de *B. cockerelli* mostró un comportamiento parabólico que concuerda con el comportamiento del nitrógeno en la planta, donde se llega a un nivel alto cerca del tercer muestreo y posteriormente disminuye; en observaciones previas de este insecto durante la cría, se ha notado su gran susceptibilidad a cambios en el contenido de agua y nutrientes en su hospedero; cuando el insecto detecta situaciones de estrés prefiere mudarse de planta y los estadios que no puede hacerlo mueren; este comportamiento se relaciona con que en la fuente que menor cantidad de nitrógeno hubo (0 X) hubo la menor población del insecto.

Huberty & Denno (2006) describen dos estrategias de los insectos para hacer frente a los bajos niveles de nitrógeno en la planta, que el insecto se alimente durante más tiempo y que este migre en busca de plantas o tejidos con mayor contenido nutricional. En el caso de *M. persicae* por aspectos propios de su biología es un insecto que puede moverse en la fase áptera en la planta pero le es difícil migrar en esta fase, considerando lo anterior el insecto en esta fase podría optar por alimentarse durante periodos más largos a fin de conseguir suplir su demanda alimenticia, en la fase alada le es fácil moverse a grandes distancias y es un comportamiento que se observó cuando las plantas comenzaron la senescencia con una gran aparición de insectos alados. Por otro lado los adultos de *B. cockerelli* tienen la facilidad de desplazarse rápido entre las plantas, se puede afirmar que este insecto usa la segunda estrategia cuando encuentra situaciones de estrés; los mismos autores observaron que cuando se restringía la movilidad de los insectos a plantas con mayor contenido nutricional estos morían y este comportamiento también se observó durante la cría de *B. cockerelli*.

Bentz et al. (1995) hacen la precisión de que el contenido de clorofila puede estimular o generar una mayor atracción de *B. tabaci* a plantas que son fertilizadas con nitrógeno, al existir una relación directamente proporcional entre el contenido de clorofila y el contenido de nitrógeno en las hojas; en nuestro caso, dicha correlación existió, observándose que las plantas fertilizadas con nitrógeno tuvieron más nitrógeno en hojas y el contenido de clorofila fue mayor con respecto al tratamiento control; aun así en las plantas del tratamiento control, que tuvieron la menor cantidad de clorofila, fue donde se presentaron las poblaciones más altas de *M.*

persicae; para el caso de *B. cockerelli* dicha relación de atracción por plantas con mayor clorofila sí pudo observarse.

Respecto al contenido de otros nutrientes en las plantas, el tratamiento control tuvo los más altos niveles de P y Ca, aunque la fuente SA también, lo cual no hace evidente alguna correlación con la población de insectos, Atkinson & Nuss (1989) y Huberty y Denno (2006) observaron que las variaciones en el contenido de P no estuvieron correlacionadas con la población de *Eldana sacharina* en Caña de azúcar y *Prokelisia dolus* y *P. marginata* en *Spartina* sp. respectivamente.

Conclusión

Con base en los resultados se puede afirmar que la fertilización nitrogenada afecta las poblaciones *M. persicae* y *B. cockerelli*, puesto que influye en parámetros como el contenido de nutricional de las hojas, así como en la producción de metabolitos.

La fuente que tuvo la menor población de insectos en esta investigación fue Sulfato de amonio y la dosis que menos estimuló el crecimiento de la población fue la dosis óptima de nitrógeno.

Las plantas que no recibieron ningún aporte de nitrógeno fueron las que tuvieron la mayor población de *M. persicae*, se propone que esta preferencia pudiese usarse como una táctica de manejo donde se usen plantas con deficiencias nutricionales como cultivo trampa para pulgones.

Se observó que el comportamiento de ambos insectos es diferente puesto que biológicamente tienen adaptaciones morfológicas y metabólicas que definen la estrategia que usan frente a situaciones de estrés nutricional, por ello el manejo de ambas especies debe ser diferenciado en el campo.

Se debe profundizar en el estudio de los desbalances nutricionales, haciendo hincapié en su efecto sobre la producción de metabolitos primarios y secundarios para poder evaluar el efecto de estos sobre el comportamiento de las plagas y ser usados posteriormente dentro de los planes de manejo integrado de plagas.

Literatura Citada

- Almeyda L, I. H., J. A. Sanchez Salas, and F. Delgadillo Sanchez. 2007. Insectos vectores relacionados con los fitopasmas, agentes causales de la punta morada de la papa en los estados de Coahuila y Nuevo León. General Terán: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Agropecuarias.
- Altieri, M. A., and C. I. Nicholls. 2003. Soil fertility management and insect pests: Harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 72(2): 203–211. doi: 10.1016/S0167-1987(03)00089-8.
- American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.; Baird, R. B., A. D. Eaton, & E. W. Rice, Eds.). doi: <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>.
- Atkinson, P. R., and K. J. Nuss. 1989. Associations between host-plant nitrogen and infestations of the sugarcane borer, *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) I Intensively-grown V // A Peasant-grown. *Bulletin of Entomological Research*, 79: 489–506.
- Ayres, M. P., R. T. Wilkens, J. J. Ruel, M. J. Lombardero, and E. Vallery. 2000. Nitrogen budgets of phloem-feeding bark beetles with and without symbiotic fungi. *Ecology*, 81(8): 2198–2210. doi: 10.1890/0012-9658(2000)081[2198:NBOPFB]2.0.CO;2.
- Bednarsz, C. W., and D. M. Oosterhuis. 1999. Physiological changes associated with potassium deficiency in cotton. *Journal of Plant Nutrition*, 22(2): 303–313. doi: 10.1080/01904169909365628.
- Bentz, J. A., J. Reeves, P. Barbosa, and B. Francis. 1995. Nitrogen fertilizer effect on selection, acceptance, and suitability of *Euphorbia pulcherrima* (Euphorbiaceae) as a host plant to *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology*, 24(1): 40–45. doi: 10.1093/ee/24.1.40.

- Bertsch Hernández, F. 2009. Absorción de los nutrientes por los Cultivos (1st ed.). San Jose Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Bi, J. L., N. C. Toscano, and M. A. Madore. 2003. Effect of Urea Fertilizer Application on Soluble Protein and Free Amino Acid Content of Cotton Petioles in Relation to Silverleaf Whitefly (*Bemisia argentifolii*) Populations. *Journal of Chemical Ecology*, 29(3): 747–761. doi: 10.1023/A:1022880905834.
- Bradford, M. M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248–254.
- Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen. In *Methods of Soil Analysis*, Black, C. A. (Ed.), Part 1, 1149–1176. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy.
- Bujanos Muñoz, R., and C. Ramos Mendez. 2015. El psílido de la papa y tomate *Bactericera* (=Paratrioza) cockerelli (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA. San Salvador: Organismo internacional regional de sanidad agropecuaria.
- Busch, J. W., and P. L. Phelan. 1999. Mixture models of soybean growth and herbivore performance in response to nitrogen-sulphur-phosphorous nutrient interactions. *Ecological Entomology*, 24(2): 132–145. doi: 10.1046/j.1365-2311.1999.00185.x.
- CABI. 2018. *Leptinotarsa decemlineata* (Colorado potato beetle). Invasive Species Compendium. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/30380>. Accessed October 19, 2018.
- CABI. 2019. *Myzus persicae*. Invasive Species Compendium. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/35642>. Accessed March 23, 2019.
- Canadian Food Inspection Agency. 2019. Canadian Food Inspection Agency. Agata. <http://www.inspection.gc.ca/plants/potatoes/potato-varieties/agata/eng/1312587385615/1312587385616>. Accessed March 23, 2019.
- Coqueret, V., J. Le Bot, R. Larbat, N. Desneux, C. Robin, and S. Adamowicz. 2017. Nitrogen nutrition of tomato plant alters leafminer dietary intake dynamics. *Journal of Insect Physiology*, 99: 130–138. doi: 10.1016/j.jinsphys.2017.04.002.
- De Bruyn, L., J. Scheirs, and R. Verhagen. 2002. Nutrient stress, host plant quality and herbivore performance of a leaf-mining fly on grass. *Oecologia*, 130(4): 594–599. doi: 10.1007/s00442-001-0840-1.
- Dubuis, P.-H., C. Marazzi, E. Stadler, and F. Mauch. 2005. Sulphur Deficiency Causes a Reduction in Antimicrobial Potential and Leads to Increased Disease Susceptibility of Oilseed Rape. *Journal of Phytopathology*, 153(1): 27–36. doi: 10.1111/j.1439-0434.2004.00923.x.
- Fagan, W. F., E. Siemann, C. Mitter, R. F. Denno, A. F. Huberty, H. A. Woods, and J. J. Elser. 2002. Nitrogen in insects: Implications for trophic complexity and species diversification. *The American Naturalist*, 160(6): 784–802. doi: 10.1086/343879.
- Filipiak, M., and J. Weiner. 2017. Plant-insect interactions: The role of ecological stoichiometry. *Acta Agrobotanica*, 70(1): 6–8. doi: 10.5586/aa.1710.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. Faostat. statistics database. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Accessed March 1, 2018.
- Gutiérrez-Ibáñez, A. T., P. J. R. Sánchez, C. A. Laguna, D. J. F. Ramírez, M. A. Balbuena, and G. O. G. Alvarado. 2013. Detección de *Ca. Liberibacter solanacearum* y fitoplasmas en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el valle de Toluca. *Revista Colombiana En Biotecnología*, 15(1): 145–149.
- Han, P., A. V. Lavoie, J. Le Bot, E. Amiens-Desneux, and N. Desneux. 2014. Nitrogen and water availability to tomato plants triggers bottom-up effects on the leafminer *Tuta absoluta*. *Scientific Reports*, 4: 1–8. doi: 10.1038/srep04455.
- Hanlon, E. A. 1998. Elemental Determination by Atomic Absorption Spectrophotometry. In Kalra, P. Y. (Ed.), *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis* (Vol. 38). doi: 10.2135/cropsci1998.0011183X003800060050x.

- Hogendorp, B. k, R. A. Cloyd, and J. M. Swiader. 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. *Environmental Entomology*, 35(2): 201–211. doi: 10.1603/0046-225X-35.2.201.
- Houghton, J. A. 1945. the Micro-Kjeldahl Determination of the Nitrogen Content of Amino Acids and Proteins. *The Journal of Biological Chemistry*, 159(2): 373–383.
- Huberty, A. F., and R. F. Denno. 2006. Consequences of nitrogen and phosphorus limitation for the performance of two planthoppers with divergent life-history strategies. *Oecologia*, 149(3): 444–455. doi: 10.1007/s00442-006-0462-8.
- International Potato Center. 2015. Datos y Cifras de la Papa. <https://cipotato.org/es/potato/potato-facts-and-figures>. <https://cipotato.org/es/potato/potato-facts-and-figures>. Accessed March 1, 2018.
- Jahn, G. C., L. P. Almazan, and J. B. Pacia. 2005. Effect of Nitrogen Fertilizer on the Intrinsic Rate of Increase of *Hysteroneura setariae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae) on Rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental Entomology*, 34(4): 938–943. doi: 10.1603/0046-225X-34.4.938.
- Jansson, R. K., G. L. Leibee, C. A. Sanchez, and S. H. Lecrone. 1991. Effects of nitrogen and foliar biomass on population parameters of cabbage insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 61(1): 7–16. doi: 10.1111/j.1570-7458.1991.tb02390.x.
- Jansson, R. K., and Z. Smilowitz. 1986. Influence of Nitrogen on Population Parameters of Potato Insects: Abundance, Population Growth, and Within-plant Distribution of the Green Peach Aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 15(1): 49–55. doi: 10.1093/ee/15.1.49.
- Jauset, A. M., M. J. Sarasúa, J. Avilla, and R. Albajes. 2000. Effect of nitrogen fertilization level applied to tomato on the greenhouse whitefly. *Crop Protection*, 19(4): 255–261. doi: 10.1016/S0261-2194(00)00016-8.
- Kainulainen, P., J. Holopainen, V. Palomäki, and T. Holopainen. 1996. Effects of nitrogen fertilization on secondary chemistry and ectomycorrhizal state of scots pine seedlings and on growth of grey pine aphid. *Journal of Chemical Ecology*, 22(4): 617–636. doi: 10.1007/BF02033574.
- Kerslake, J. E., S. J. Woodin, and S. E. Hartley. 1998. Effects of carbon dioxide and nitrogen enrichment on a plant-insect interaction: The quality of *Calluna vulgaris* as a host for *Operophtera brumata*. *New Phytologist*, 140(1): 43–53. doi: 10.1046/j.1469-8137.1998.00244.x.
- Lu, Z., K. Heong, X. Yu, and C. Hu. 2007. Effect of Nitrogen Fertilizer on Herbivores and Its Stimulation to Major Insect Pests in Rice. *Rice Science*, 14(1): 56–66. doi: 10.1016/S1672-6308(07)60009-2.
- Mattson, W. J. 1980. Herbivory in Relation to Plant Nitrogen Content. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11(1): 119–161. doi: 10.1146/annurev.es.11.110180.001003.
- Medrano, H., J. Galmes, and J. Flexas. 2008. Fijacion del Dioxido de Carbono y Biosintesis de Fotoasimilados. In *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, Azcón-Bieto, J. & M. Talón (Eds.), 2nd ed., 211–227. Madrid: MCGRAW-HILL.
- Milton, K. 1978. Behavioral Adaptations to Leaf-eating by the Mantled Howler Monkey (*Alouatta palliata*). In *The Ecology of Arboreal Folivores*, Montgomery, G. G. (Ed.), 535–549. Washington: Smithsonian Institution.
- Milton, K. 1979. Factors Influencing Leaf Choice by Howler Monkeys: A Test of Some Hypotheses of Food Selection by Generalist Herbivores. *The American Naturalist*, 114(3): 362–378. doi: 10.1086/283485.
- Noldus, L. P. J. J., X. Rumei, and J. C. Lenteren. 1986. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera, Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera, Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology*, 101(1–5): 492–507. doi: 10.1111/j.1439-0418.1986.tb00883.x.
- Rodriguez Mendoza, M. D. L. N., G. Alcántar González, A. Aguilar Santelises, J. D. Etchevers Barra, and J. A. Santizó. 1998. Estimation of Nitrogen and Chlorophyll Status of Tomato with a Portable Chlorophyll Meter. *Terra*, 16(2): 135–141.

- Romero, L. C., M. Á. Aroca, A. M. Laureano-Marín, I. Moreno, I. García, and C. Gotor. 2014. Cysteine and cysteine-related signaling pathways in *arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant*. doi: 10.1093/mp/sst168.
- Rubio Covarrubias, O. Á., I. H. Almeyda León, J. Ireta Moreno, J. A. Sánchez Salas, R. Fernández Sosa, J. T. Borbón Soto, ... M. A. Cadena Hinojosa. 2006. Distribución de a Punta Morada y *Bactericera cockerelli* Sulc . en las principales zonas productoras de papa en México. *Agricultura Técnica En México*, 32(2): 201–211.
- Rybicki, E. P. 2015. A Top Ten list for economically important plant viruses. *Archives of Virology*, 160(1): 17–20. doi: 10.1007/s00705-014-2295-9.
- Salas F., C., C. Quiroz, and J. Puelles T. 2016. Pulgones de la papa (No. 03). Santiago de Chile.
- Scala, A., S. Allmann, R. Mirabella, M. A. Haring, and R. C. Schuurink. 2013. Green leaf volatiles: A plant's multifunctional weapon against herbivores and pathogens. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 14, 17781–17811. doi: 10.3390/ijms140917781.
- Science and Advice for Scottish Agriculture. 2019. The European Cultivated Potato Database. Agata. <https://www.europotato.org/varieties/view/Agata-P>. Accessed March 23, 2019.
- Slansky, F., and P. Feeny. 1977. Stabilization of the Rate of Nitrogen Accumulation by Larvae of the Cabbage Butterfly on Wild and Cultivated Food Plants. *Ecological Monographs*, 47(2): 209–228. doi: 10.2307/1942617.
- Somogyi, M. 1952. Notes on Sugar Determination. *The Journal of Biological Chemistry*, 195(1): 19–23.
- Swanson, E. M., A. Espeset, I. Mikati, I. Bolduc, R. Kulhanek, W. A. White, ... E. C. Snell-Rood. 2016. Nutrition shapes life-history evolution across species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1834). doi: 10.1098/rspb.2015.2764.
- Turlings, T. C. J., and M. Erb. 2018. Tritrophic Interactions Mediated by Herbivore-Induced Plant Volatiles: Mechanisms, Ecological Relevance, and Application Potential. *Annual Review of Entomology*, 63(1): 433–452. doi: 10.1146/annurev-ento-020117-043507.
- Van Emden, H. F., and M. A. Bashford. 1969. A Comparison of the Reproduction of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* in Relation to Soluble Nitrogen Concentration and Leaf Age in the Brussels Sprout Plant. Ein Vergleich der Vermehrung von *Brevicoryne Brassicae* und *Myzus persicae* in Beziehung zu. *Anzeiger Für Schädlingskunde Und Pflanzenschutz*, 42(6): 95. doi: 10.1007/BF02027653.
- Van Emden, H. F., and R. Harrington. 2007. *Aphids as Crop Pests*. CABI.
- Vivaldo, G., E. Masi, C. Taiti, G. Caldarelli, and S. Mancuso. 2017. The network of plants volatile organic compounds. *Scientific Reports*, 7(1): 1–18. doi: 10.1038/s41598-017-10975-x.
- Witham, F. H., D. F. Blaydes, and R. M. Devlin. 1971. *Experiments in plant physiology*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Yang, X.-B., Y.-M. Zhang, L. Hua, and T.-X. Liu. 2010. Life History and Life Tables of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae) on Potato Under Laboratory and Field Conditions in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Journal of Economic Entomology*, 103(5): 1729–1734. doi: 10.1603/ec10083.

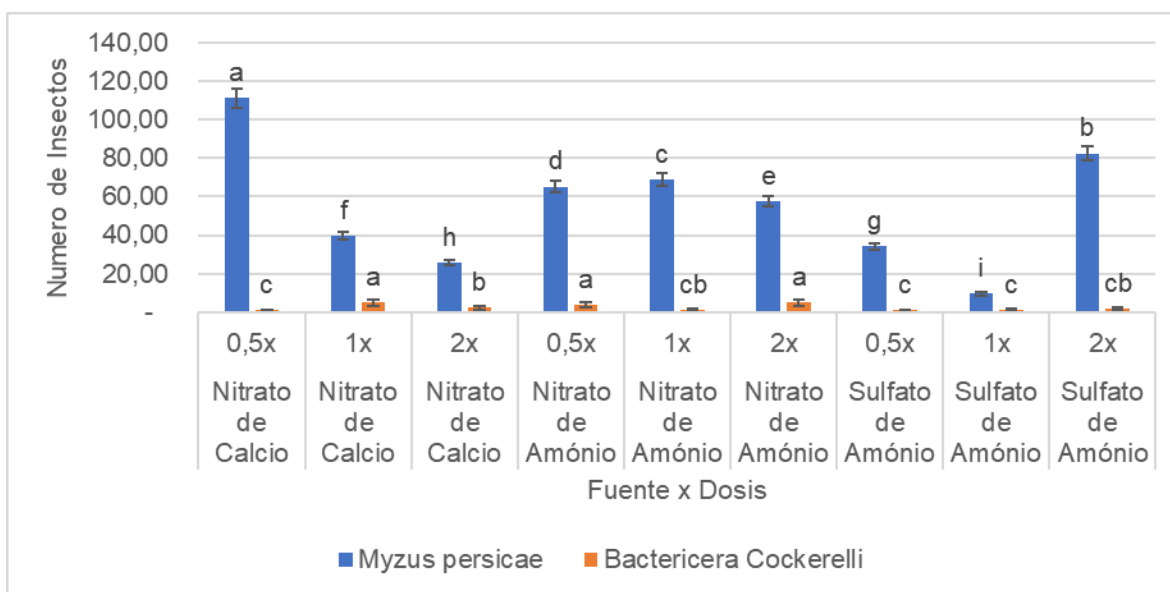


Figura 1. Análisis combinado de la población de insectos a través de los estratos y muestreos para la interacción Fuente X Dosis; para cada especie, tratamientos con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo con la prueba de mínimos cuadrados $P>0.05$.

Cuadro 1. Fuentes y dosis aplicadas; todas fueron ajustadas descontando la cantidad aproximada de nitrógeno aportada por la mineralización de la materia orgánica 0,7 gr planta⁻¹.

FUENTE	DOSIS Gr PLANTA ⁻¹		
	0,5 X	1 X	2 X
NITRATO DE CALCIO	9,3	23,3	51,2
NITRATO DE AMONIO	4,3	10,6	23,3
SULFATO DE AMONIO	7,1	17,6	38,7

Cuadro 2. Análisis de la población de los insectos en cada uno de los muestreos y agrupando todos los muestreos a través de los estratos en función de la fuente y la dosis para cada especie, dosis o fuentes con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo con la prueba de mínimos cuadrados $P > 0.05$.

	Muestreo 1			Muestreo 2			Muestreo 3			Muestreo 4			Muestreo 5			Muestreo 6			Dinamica poblacional														
	M. persicae			M. persicae B. cockerelli			M. persicae B. cockerelli			M. persicae B. cockerelli			M. persicae B. cockerelli			M. persicae B. cockerelli			M. persicae B. cockerelli														
Fuente Pr>F	<.0001			<.0001			<.0001			<.0001			<.0001			0.0003			<.0001			0,0158			<0,0001			0,0002					
DMS																																	
Nitrato de Calcio	73,67	c		60,81	b	2,74	b			63,74	b	4,69	b			44,97	b	1,98	b	66,88	a	1,30	ab	48,36	b	2,19	a						
Nitrato de Amónio	80,26	b		72,77	a	3,79	a			70,32	a	11,54	a			52,59	a	3,56	a	57,61	b	0,84	b	63,73	a	2,92	a						
Sulfato de Amónio	104,45	a		47,78	c	0,55	c			49,84	c	1,97	c			39,03	c	1,54	c	28,85	c	1,85	b	23,02	c	1,82	a	30,19	c	1,28	b		
Dosis Pr>F	0.0034			<.0001			<.0001			<.0001			<.0001			0.0002			<.0001			0,3252			<0,0001			0,0067					
0,5x	85,40	b		70,48	a	0,42	c			77,32	a	4,83	b			71,04	a	5,55	a	62,11	a	1,97	b	1,30	ab	1,42	a	62,89	a	0,49	b		
1x	80,60	c		47,86	c	2,86	b			49,08	c	3,37	c			33,13	c	2,63	b	26,04	c	1,84	b	0,84	b	1,25	a	29,88	c	0,63	ba		
2x	89,73	a		62,68	b	4,76	a			58,87	b	6,69	a			47,18	b	5,26	a	42,18	b	3,60	a	1,82	a	1,52	a	49,51	b	0,86	a		

Cuadro 3. Análisis del contenido de clorofila mg g^{-1} para el estrato inferior y superior de la planta en función de la fuente y la dosis; y análisis de los metabolitos: Proteínas Solubles totales, Azúcares reductores y Azúcares totales ml gr^{-1} a través de los estratos en función de la fuente y la dosis; para cada especie, dosis o fuentes con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo con la prueba LSD $P>0.05$.

	Clorofila				Metabolitos					
	E. inferior		E. Superior		Proteínas ST		Az. Reductores		Az. Totales	
Fuente Pr>f	0,1282		0,0035		0,0887		0,0429		0,0009	
DMS	2,4831		40,046		0,6913		0,0129		10,229	
Control	2,010	B	1,905	B	2,21	a	0,04	a	41,61	b
Nitrato de Amonio	2,253	A	2,372	A	1,59	a	0,03	b	32,15	a
Nitrato de calcio	2,391	A	2,099	B	2,24	a	0,04	a	44,96	b
Sulfato de Amonio	2,353	A	2,438	A	1,89	a	0,03	ab	48,61	b
Dosis Pr>F	0,8231		0,9983		0,0905		0,0473		0,1016	
DMS	2,4837		4,0029		2,211		0,0129		10,229	
0,5 X	2,350	A	2,307	A	2,21	a	0,04	b	41,67	a
1X	2,328	A	2,308	A	1,67	a	0,04	a	47,05	a
2X	2,317	A	2,282	A	2,27	a	0,03	a	38,18	a
0X	2,010	B	1,905	B	1,77	a	0,03	a	49,48	a

Cuadro 4. Análisis del contenido en porcentaje de P, N, K, Mg y Ca de las hojas a través de los estratos para los muestreos realizados en función de la fuente y la dosis; para cada especie, dosis o fuentes con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo con la prueba LSD $P > 0.05$.

	Nutricionales muestreo 1										Nutricionales muestreo 2									
	P		N		K		Mg		Ca		P		N		K		Mg		Ca	
Fuente Pr>F	0,0001		0,0014		0,0001		0,8302		0,1030		0,0090001		0,1284		0,019		0,2751		0,0749	
DMS	0,0682		0,3908		0,5451		0,1354		0,5651		0,1093		0,5044		0,4771		0,1394		0,5458	
Control	0,60	a	2,77	c	7,00	b	1,00	a	2,09	a	0,82	a	2,34	b	7,09	a	0,80	b	2,63	a
Nitrato de Calcio	0,45	c	2,91	ba	7,64	a	1,04	a	1,58	a	0,51	c	2,89	a	7,09	a	1,00	a	2,37	ab
Nitrato de Amónio	0,52	b	3,27	bc	6,98	b	1,07	a	1,55	a	0,61	bc	2,51	ab	6,69	ab	0,95	a	1,87	b
Sulfato de Amónio	0,63	a	3,52	a	6,60	b	1,04	a	2,00	a	0,69	b	2,53	ab	6,54	b	1,04	a	2,23	ab
Dosis Pr>F	0,4231		0,0031		0,8185		0,0119		0,0287		0,9791		0,9457		0,6021		0,8457		0,6983	
DMS	0,0682		0,3908		0,5451		0,1354		0,5651		0,1093		0,5044		0,4771		0,1394		0,5458	
Control	0,60	a	2,77	c	7,00	a	1,00	b	2,09	a	0,82	a	2,34	a	7,09	a	0,80	b	2,63	a
0,5 X	0,55	ab	2,95	bc	7,04	a	1,15	a	2,08	a	0,61	b	2,66	a	6,87	a	0,99	a	2,05	b
1X	0,51	b	3,22	ba	7,03	a	1,00	b	1,55	ab	0,60	b	2,61	a	6,68	a	0,99	a	2,24	ab
2X	0,53	ab	3,53	a	7,16	a	1,00	b	1,51	b	0,70	b	2,67	a	6,78	a	1,02	a	2,17	ab

3. APÉNDICE

Apéndice 1. Graficas del conteo de Individuos de *M. persicae* y *B. cockerelli* por muestreos, estratos, fuentes, dosis y tratamientos; graficas de contenido de P, N, K, Mg, Ca, Clorofila y los metabolitos Proteínas totales solubles, Azúcares reductores y Azúcares totales, por muestreo y de forma agrupada en función de las fuentes, dosis y tratamientos. .

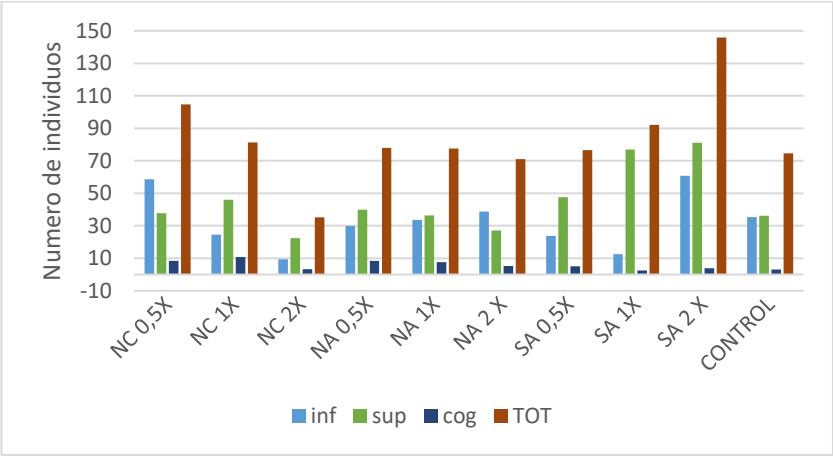


Figura 1. Conteo de *Myzus persicae* muestreo 1.

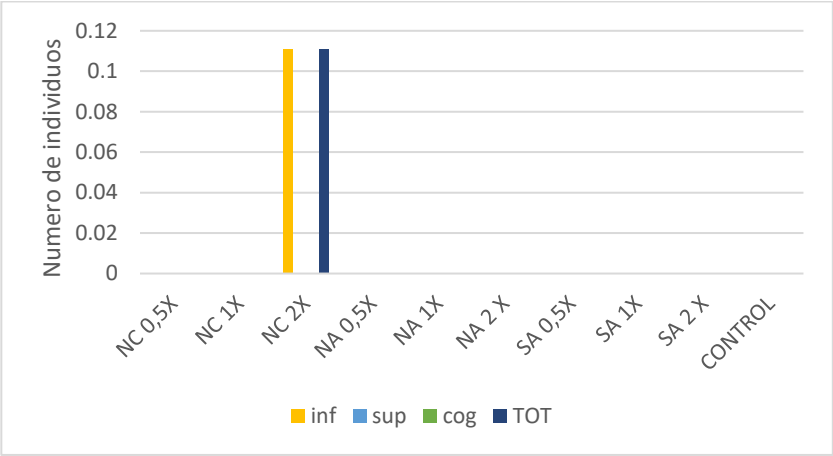


Figura 2. Conteo de *Bactericera cockerelli* muestreo 1.

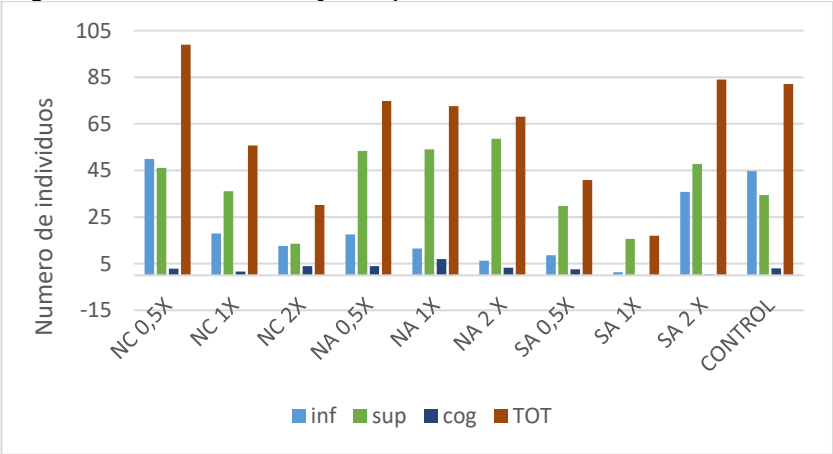


Figura 3. Conteo de *Myzus persicae* muestreo 2.

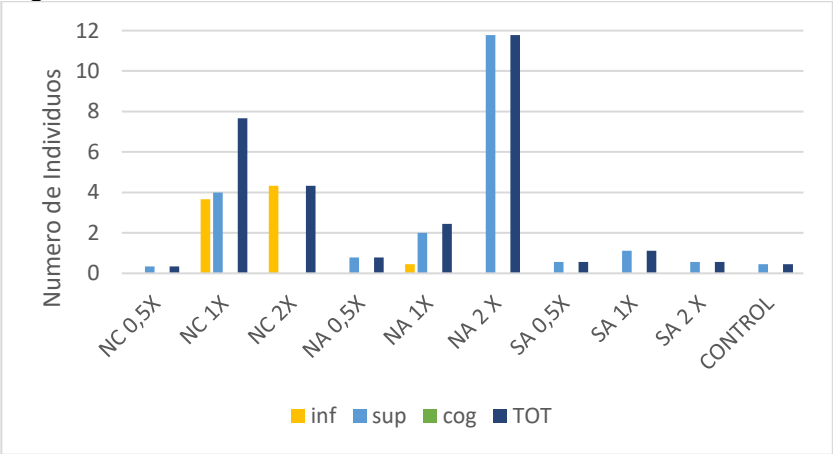


Figura 4. Conteo de *Bactericera cockerelli* muestreo 2.

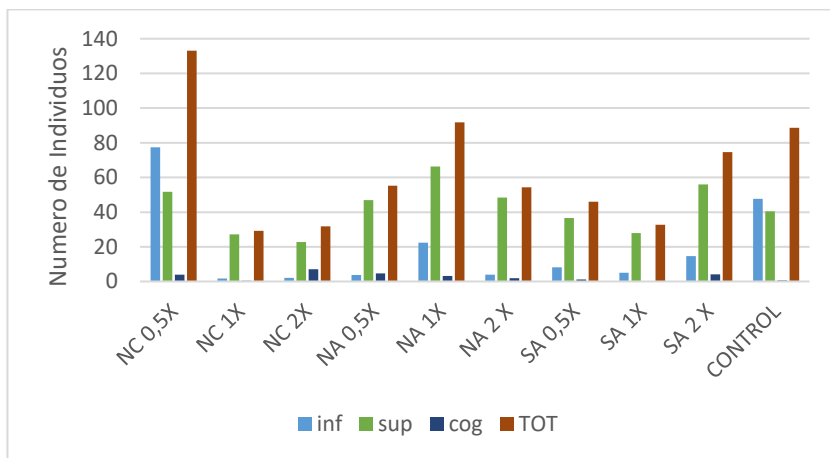


Figura 5. Conteo de *Myzus persicae* muestreo 3.

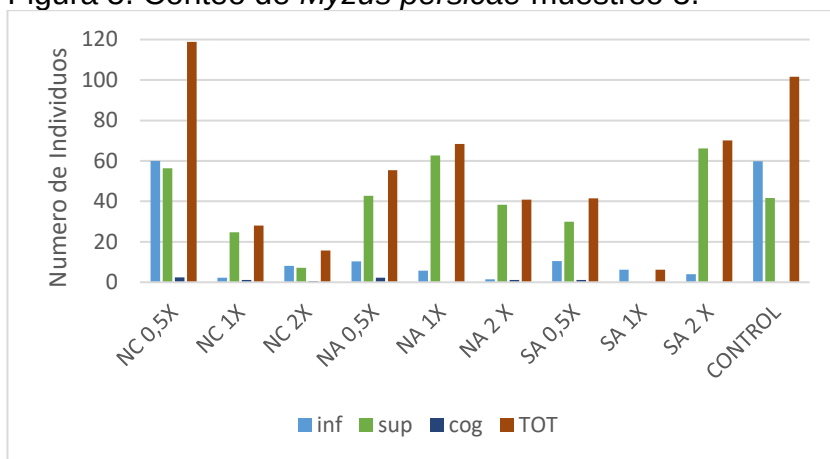


Figura 7. Conteo de *Myzus persicae* muestreo 4.

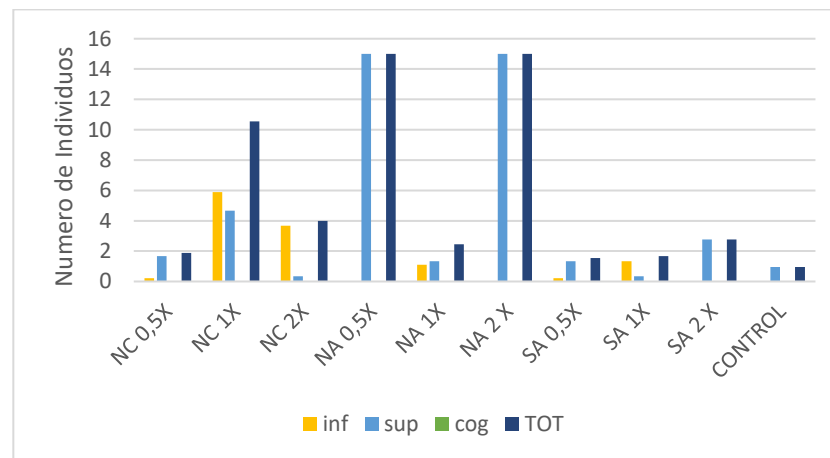


Figura 6. Conteo de *Bactericera cockerelli* muestreo 3.

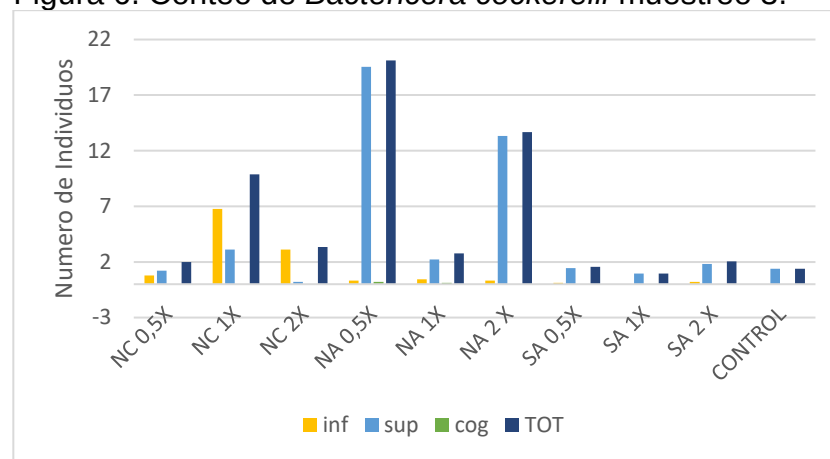


Figura 8. Conteo de *Bactericera cockerelli* muestreo 4.

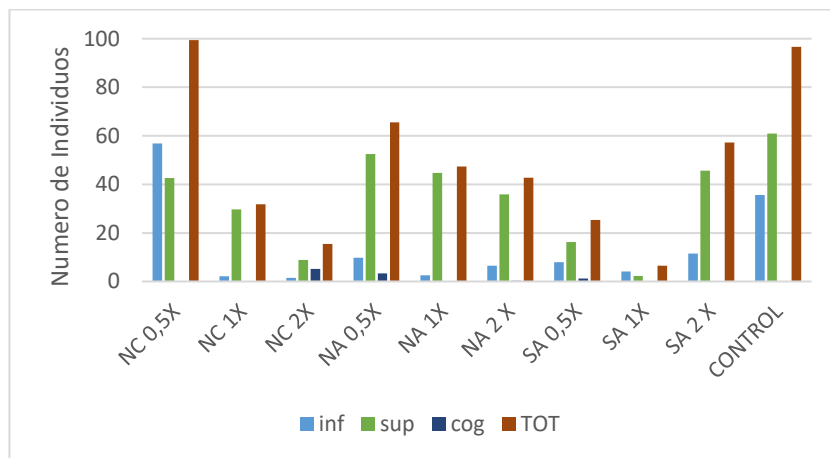


Figura 9. Conteo de *Myzus persicae* muestreo 5.

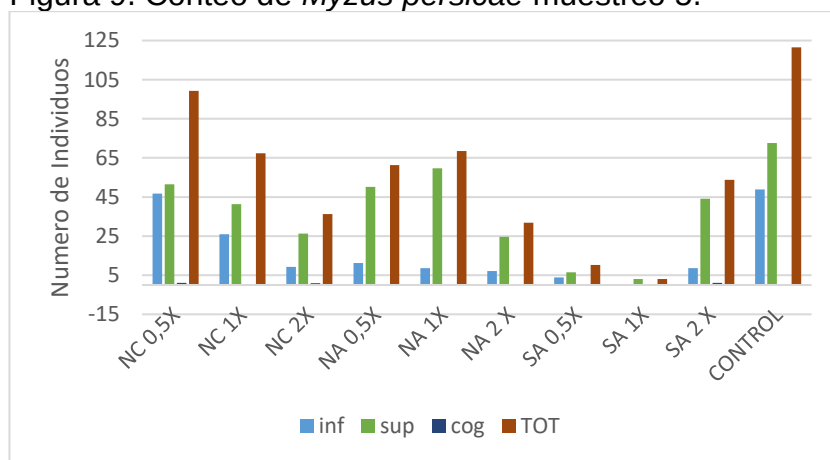


Figura 11. Conteo de *Myzus persicae* muestreo 6.

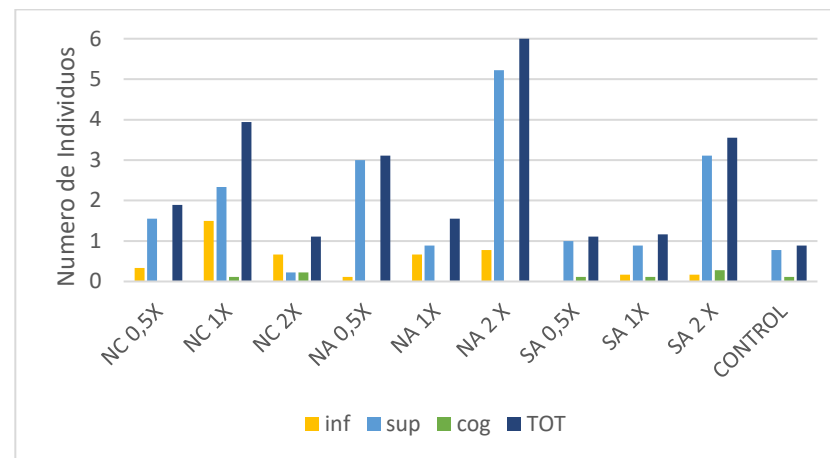


Figura 10. Conteo de *Bactericera cockerelli* muestreo 5.

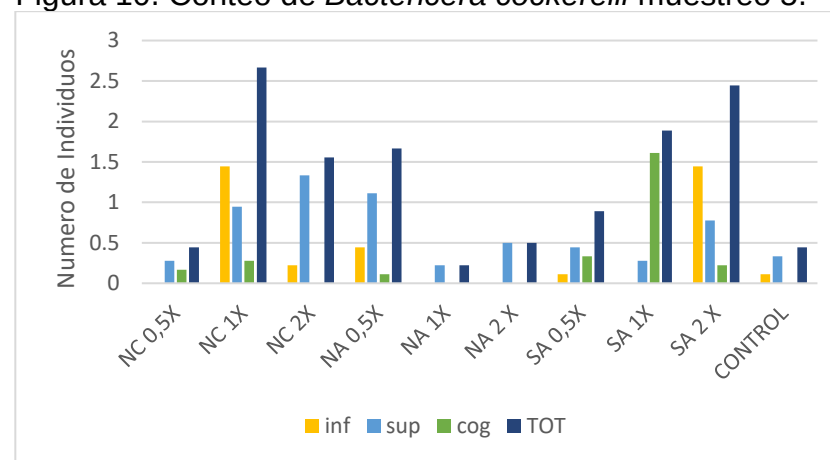


Figura 12. Conteo de *Bactericera cockerelli* muestreo 6.

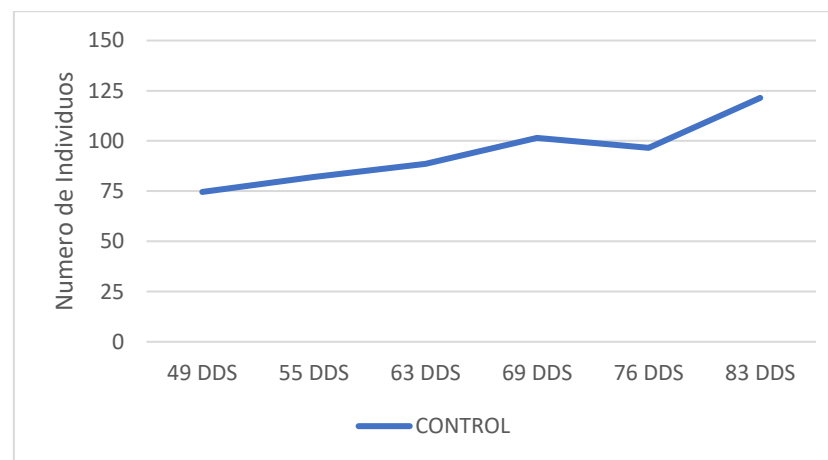
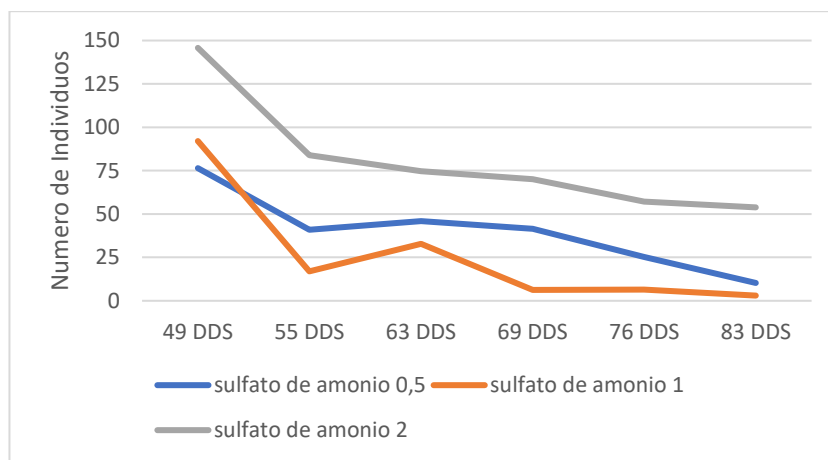
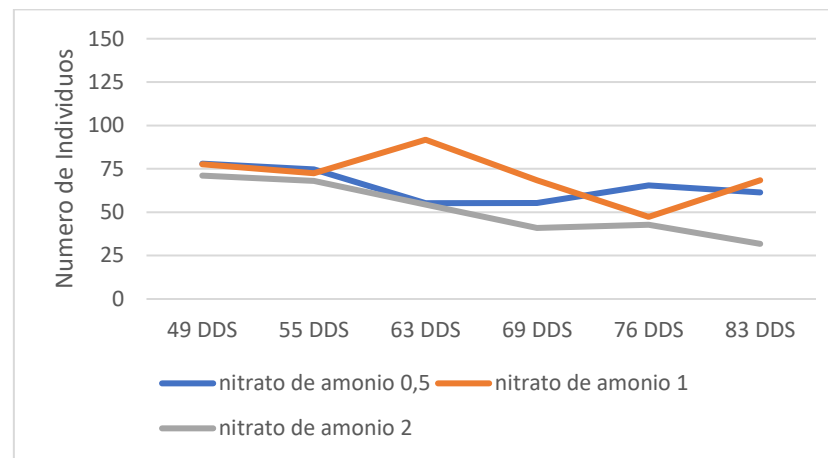
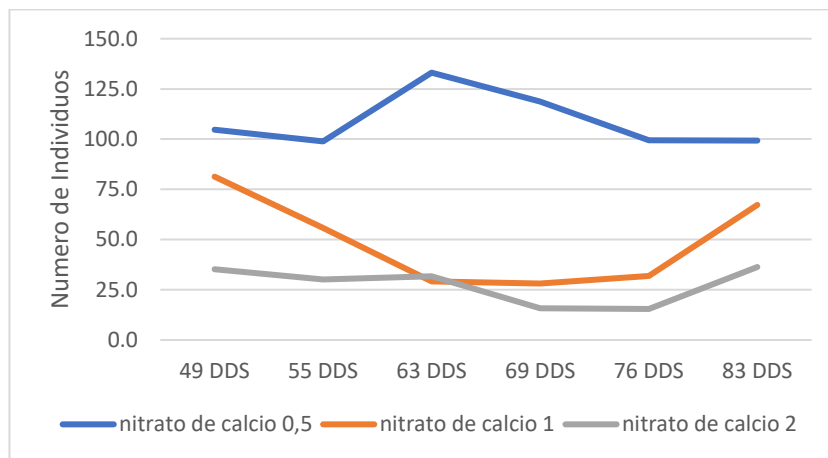


Figura 13. Dinámica poblacional de *M. persicae* agrupando los estratos por fuente y dosis.

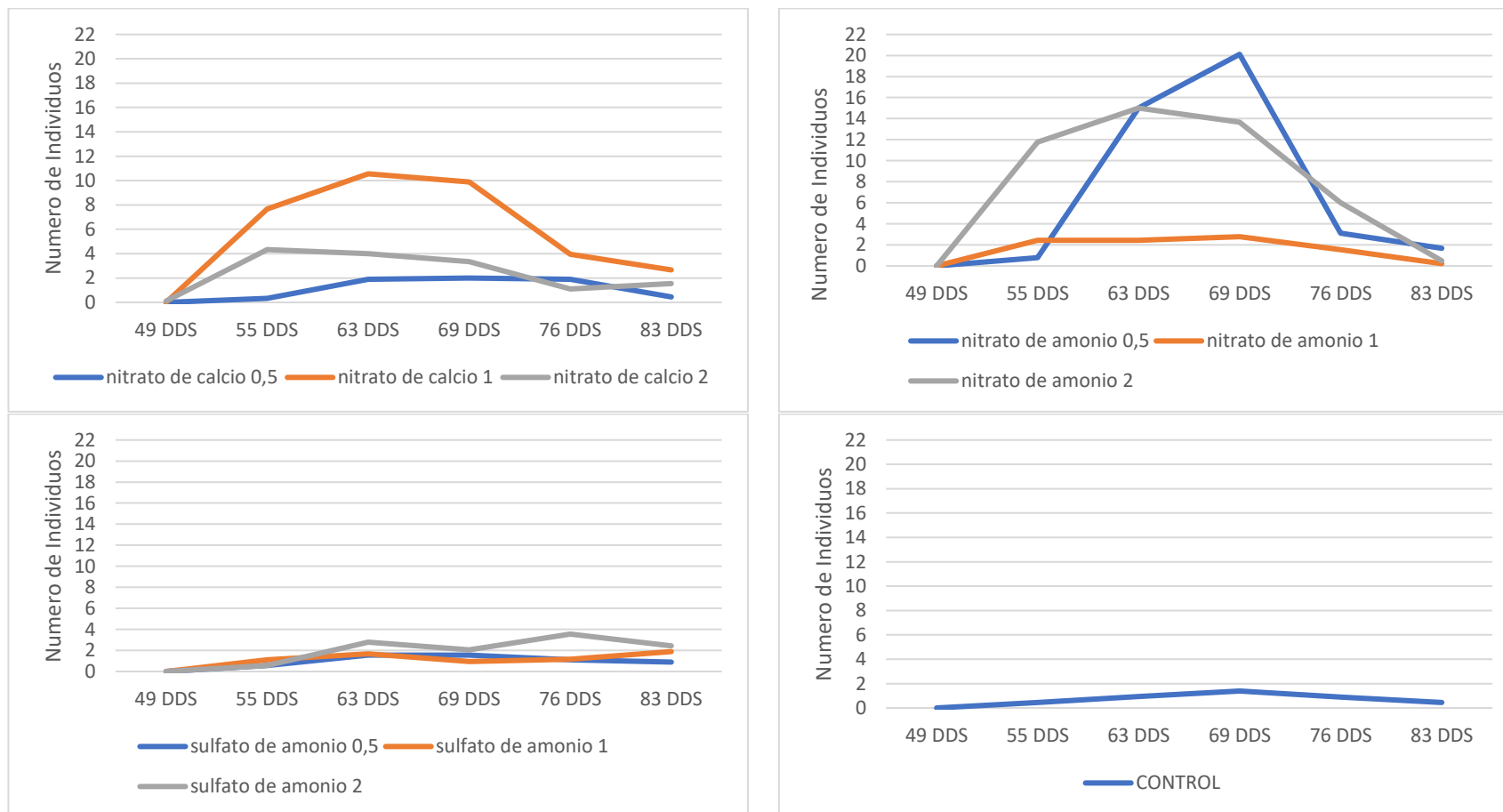


Figura 14. Dinámica poblacional de *B. cockerelli* agrupando los estratos por fuente y dosis.

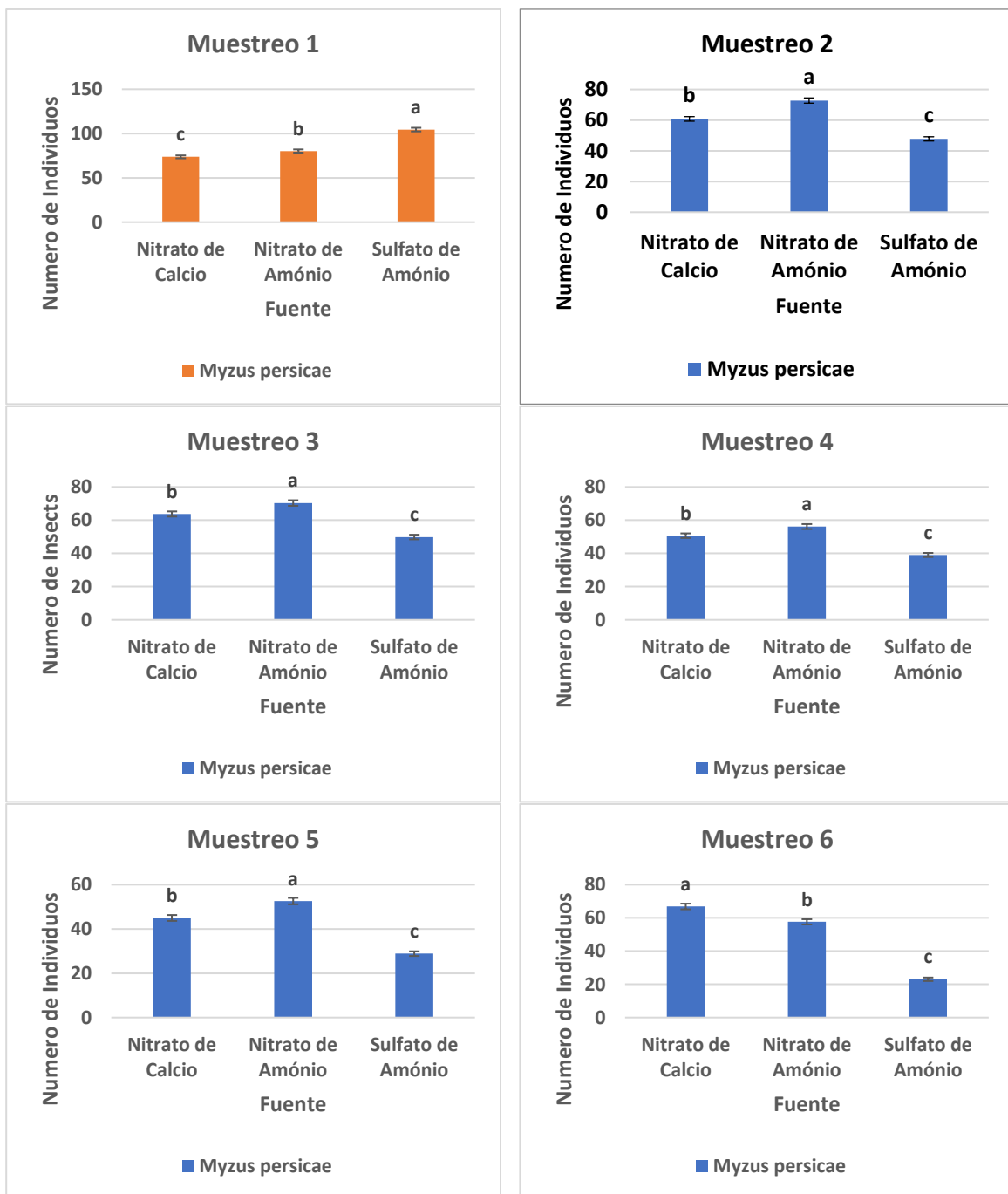


Figura 15. Análisis de individuos de *M. persicae* agrupados en función de la fuente para cada uno de los muestreos.

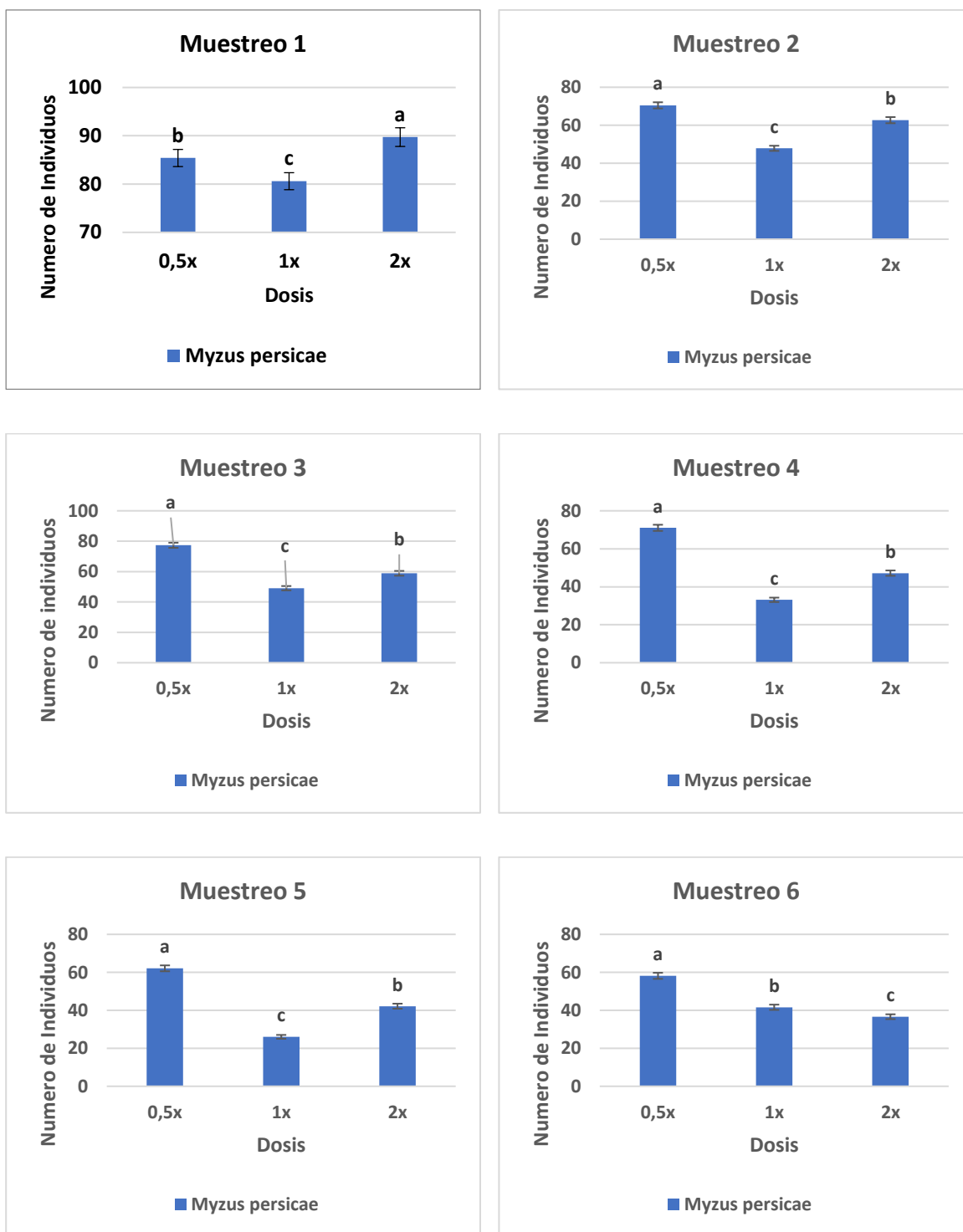


Figura 16. Análisis de individuos de *M. persicae* agrupados en función de la Dosis para cada uno de los muestreos.

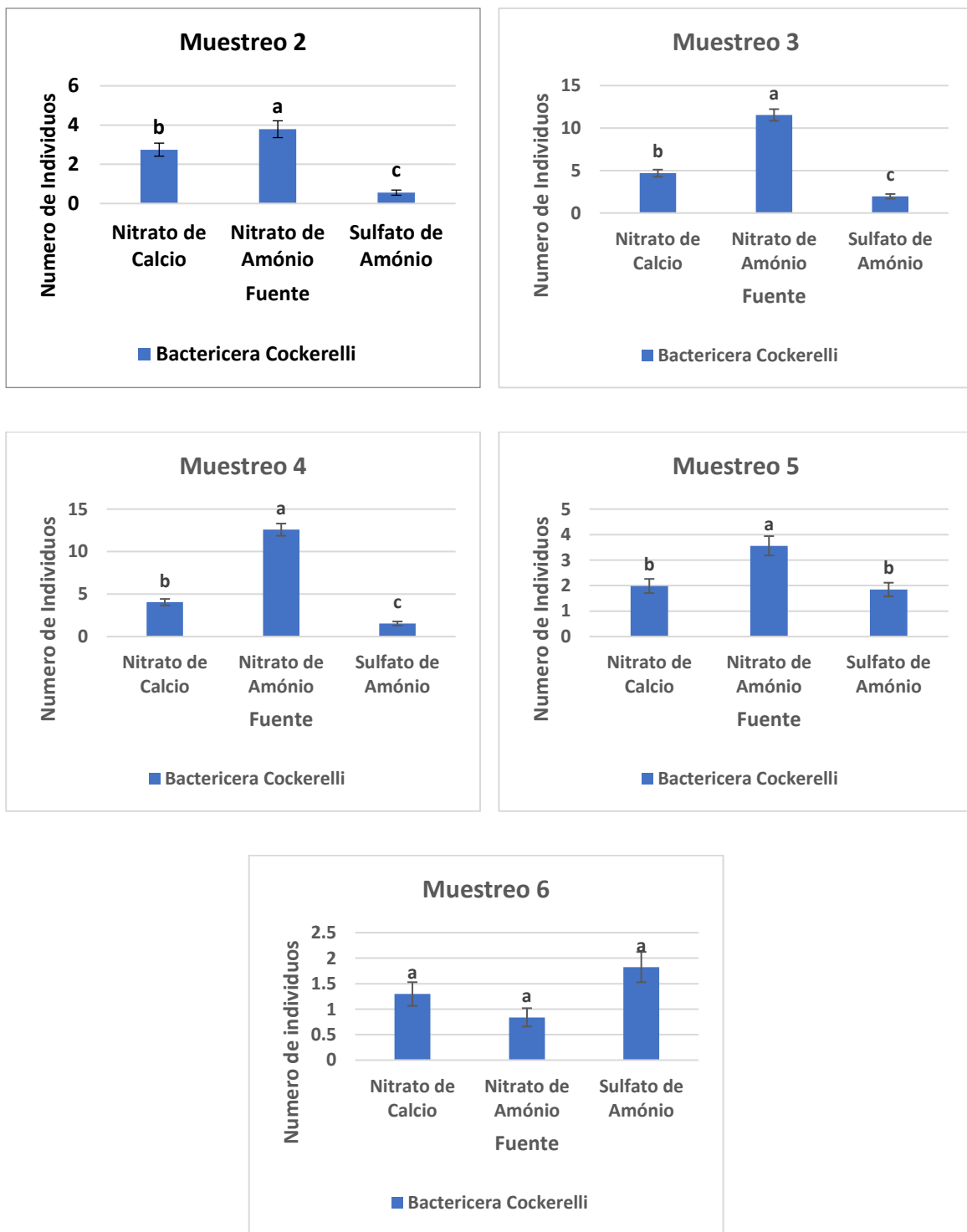


Figura 17. Análisis de individuos de *B. cockerelli* agrupados en función de la fuente para cada uno de los muestreos.

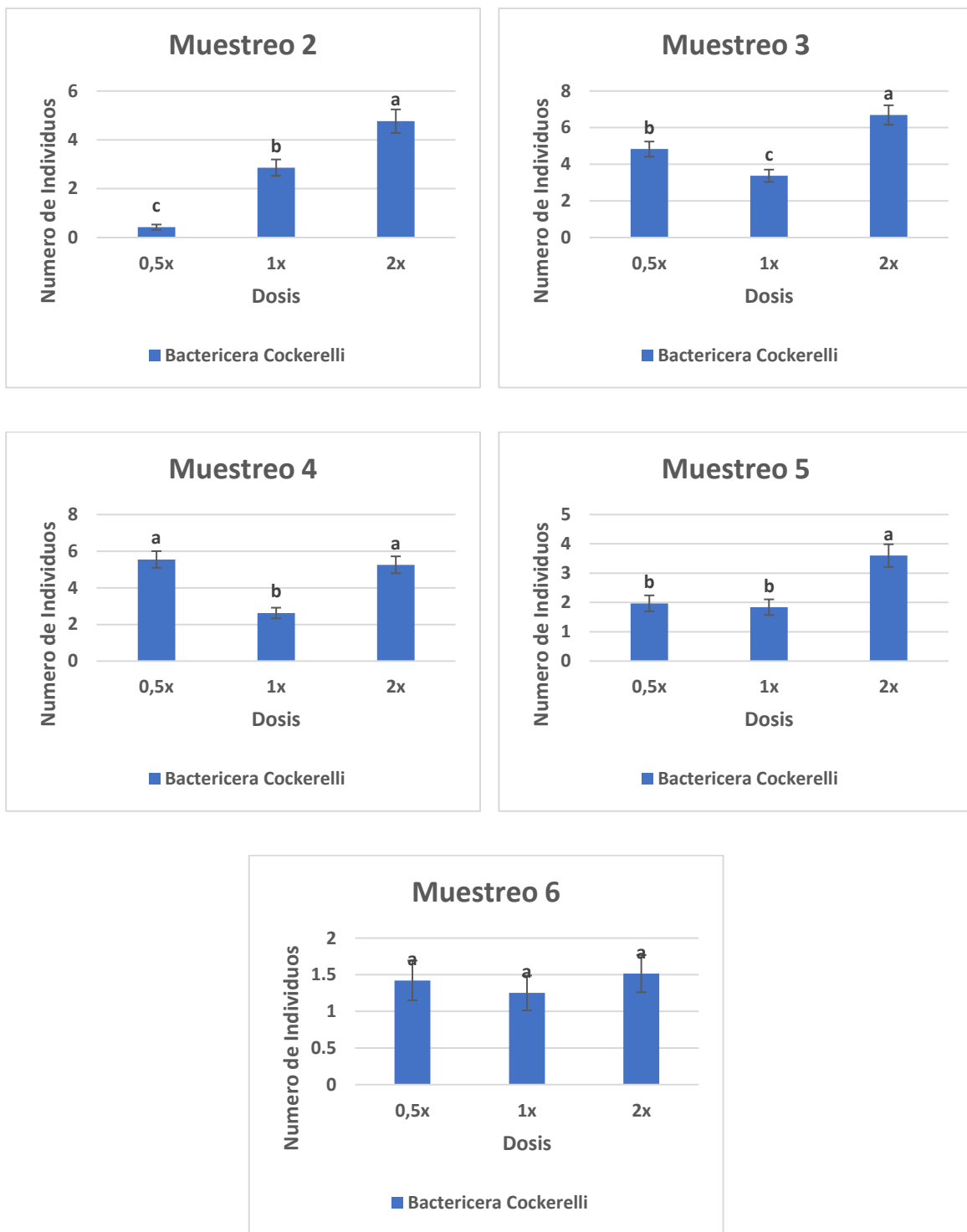


Figura 18. Análisis de individuos de *B. cockerelli* agrupados en función de la Dosis para cada uno de los muestreos.

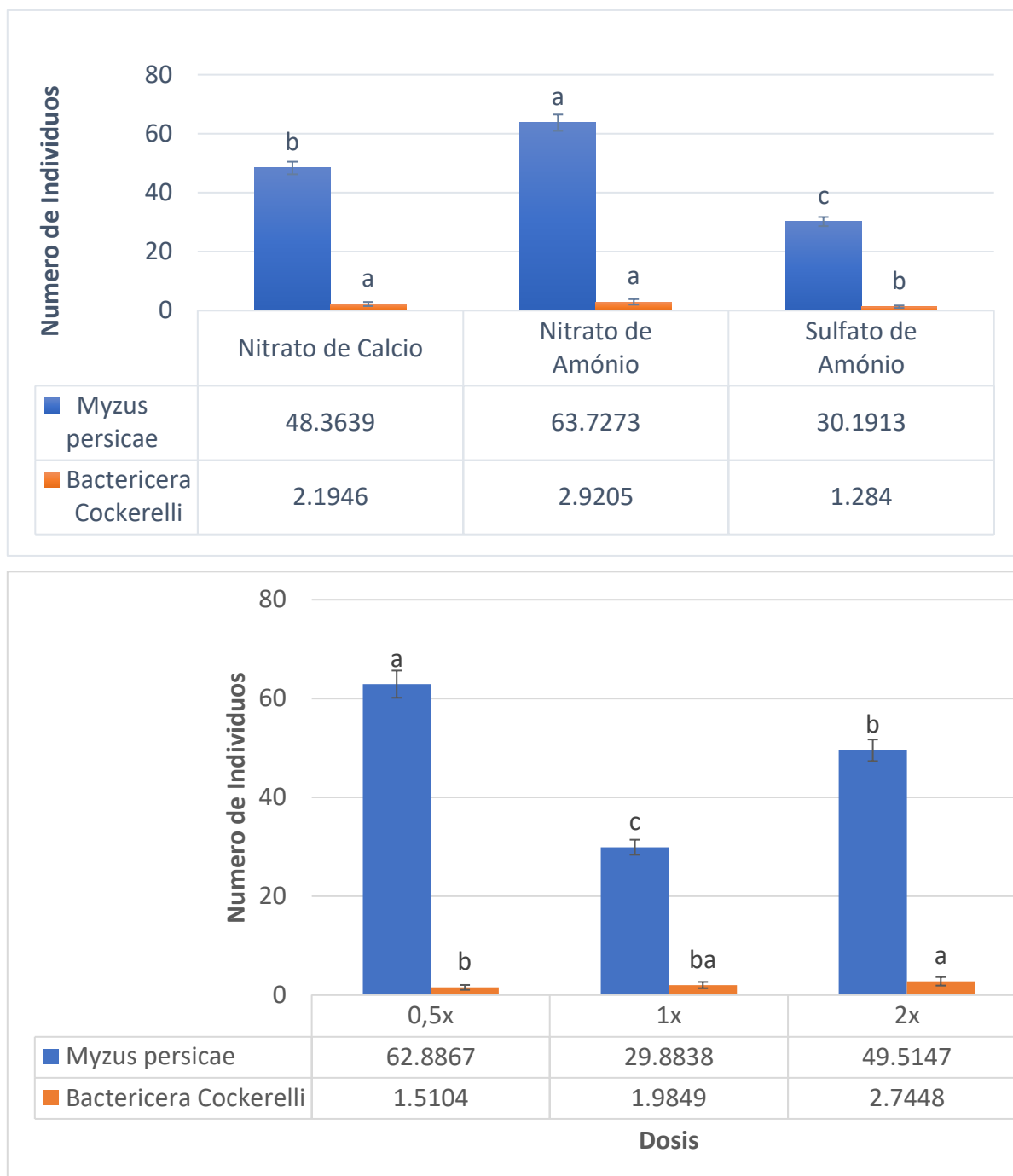


Figura 19. Arriba. Análisis combinado de la población de individuos a través de los estratos y muestreos agrupados en función de la fuente. Abajo. Análisis combinado de la población de individuos a través de los estratos y muestreos agrupados en función de la Dosis.

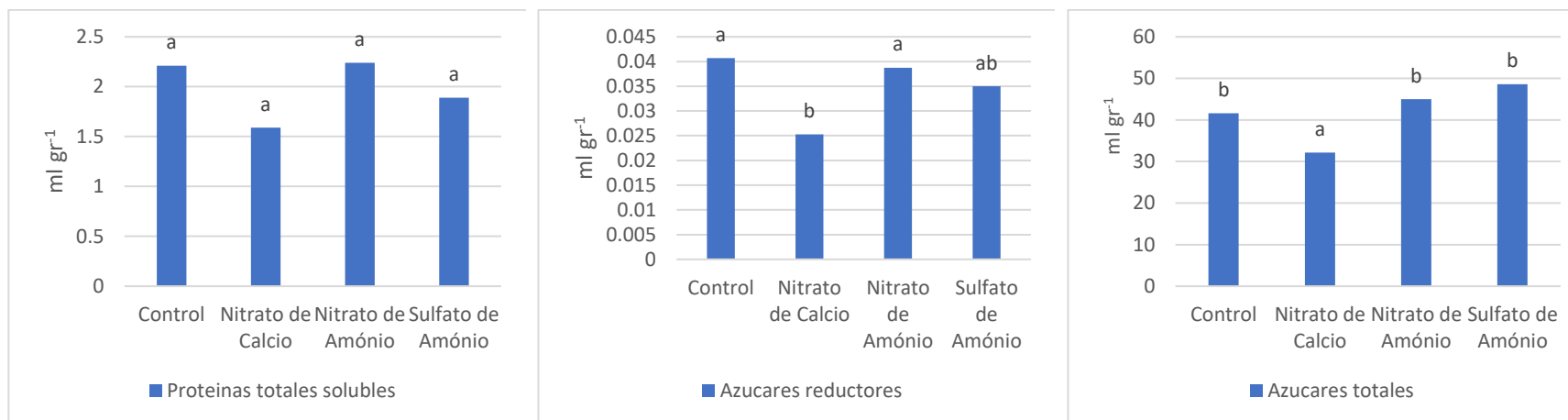


Figura 20. Datos del contenido de Proteínas solubles, azúcares reductores y azúcares totales en tejido fresco, agrupados en función de la fuente.

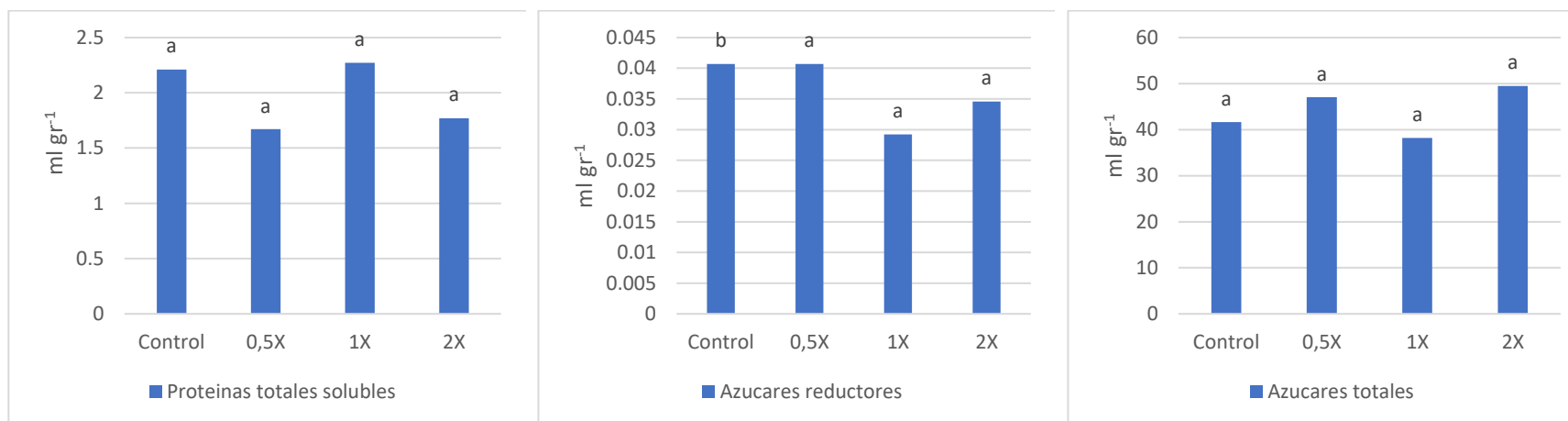


Figura 21. Datos del contenido de Proteínas solubles, azúcares reductores y azúcares totales en tejido fresco, agrupados en función de la dosis.

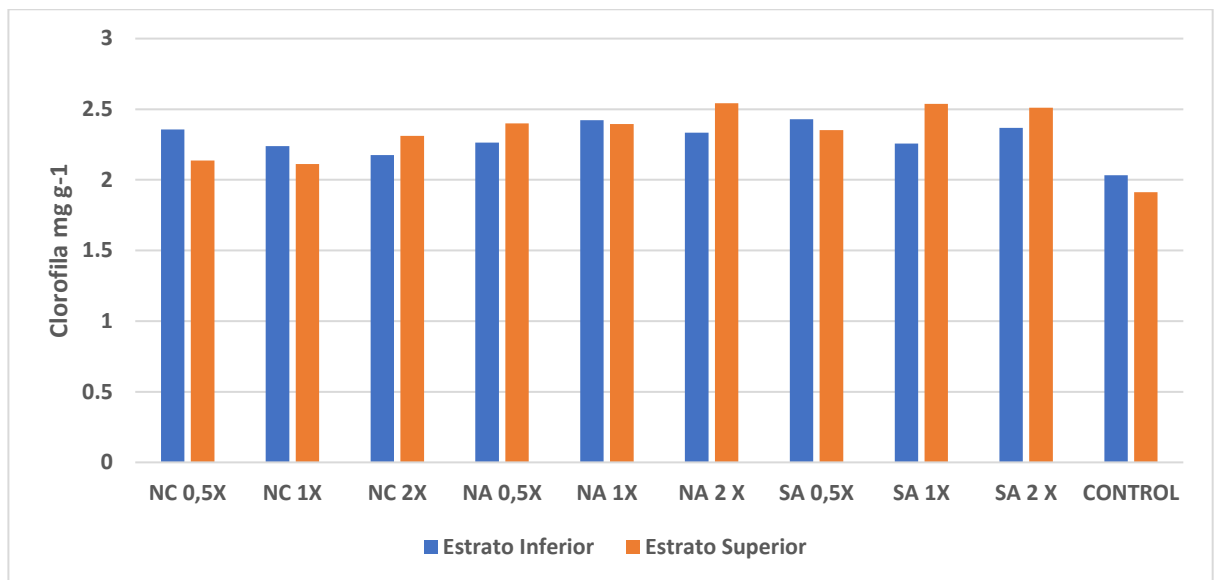


Figura 22. Contenido de Clorofila para cada tratamiento (Fuente x Dosis) en los estratos superior e inferior.

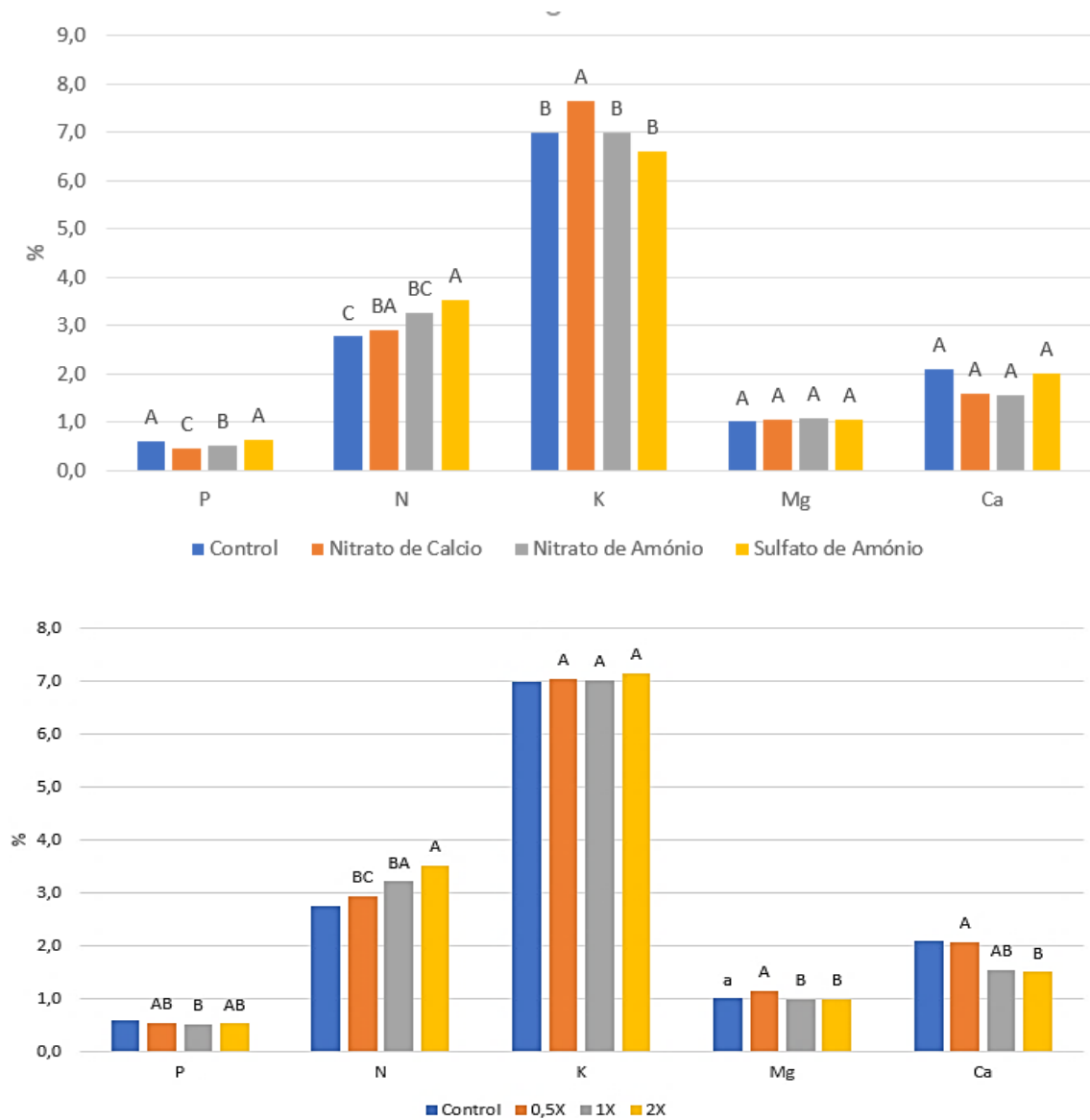


Figura 22. A) Datos del contenido de nutrientes (P, N, K, Mg, Ca) en hojas a los 65 DDS agrupados en Función de la fuente. B) Datos del contenido de nutrientes (P, N, K, Mg, Ca) en hojas a los 65 DDS agrupados en Función de la Dosis.

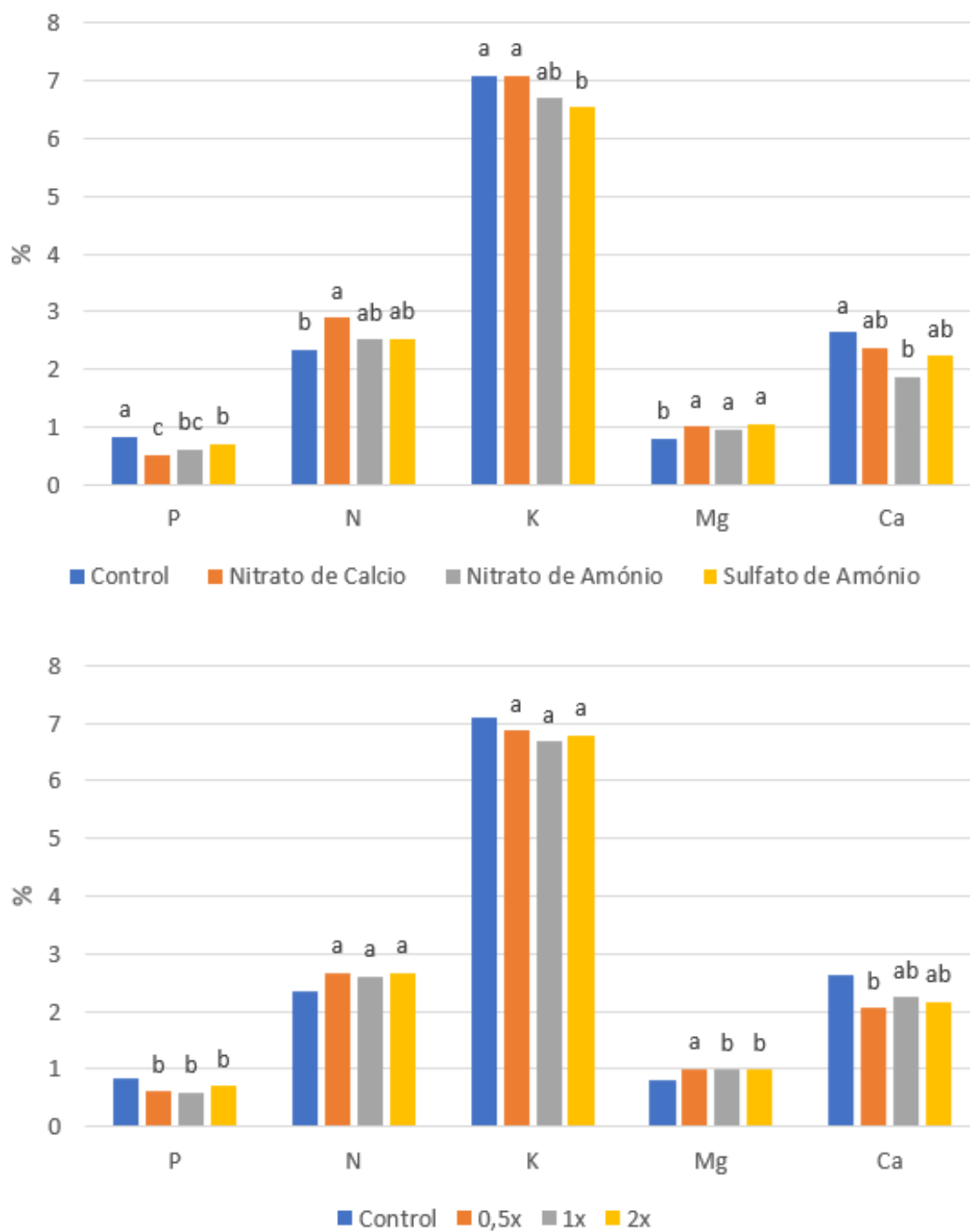


Figura 23. A) Datos del contenido de nutrientes (P, N, K, Mg, Ca) en hojas a los 84 DDS agrupados en Función de la fuente. B) Datos del contenido de nutrientes (P, N, K, Mg, Ca) en hojas a los 84 DDS agrupados en Función de la Dosis.