



**Universidad Autónoma del Estado de México**

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales

**Centro Universitario Tenancingo**



“EFECTO DE UNA COMPOSTA Y PRODUCTOS COMERCIALES ENRIQUECIDOS  
CON SILICIO EN LA INCIDENCIA DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN CULTIVO DE  
ROSA”

**T E S I S**

que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS  
Y RECURSOS NATURALES**

**PRESENTA:**

I.I.A. David Cruz Chávez

**TUTOR ACADÉMICO:**

Dr. Jaime Mejía Carranza

**TUTORES ADJUNTOS:**

M. en C. Rafael Alvarado Navarro

Dra. Marithza Guadalupe Ramírez Gerardo

Santa Ana Ixtlahuatzingo, Tenancingo, México. Octubre de 2021.

## RESUMEN

El sur del Estado de México cuenta con una amplia producción de ornamentales y flores de corte, de las cuales destacan la gerbera (*Gerbera hybrida*), liliium (*Lilium* sp), clavel (*Dianthus caryophyllus*), gladiola (*Gladilus grandiflorum*), crisantemo (*Dendratherma grandiflora*), entre otras. Dicha producción, y su calidad, dependen de una nutrición acorde a la especie y que complemente las deficiencias minerales del suelo, misma nutrición que al ser suplementada con elementos como el silicio (*Si*) limitan la incidencia de plagas y enfermedades, así como mejoran sus atributos de calidad. Se planteó como objetivo de la investigación el evaluar físicamente una composta enriquecida con *Si*, en cultivo de *Rosa* 'Freedom', así como productos comerciales ricos en este mineral, y su efecto sobre la incidencia de plagas y enfermedades. El experimento, se realizó en un invernadero del Centro Universitario Tenancingo de la Universidad Autónoma del Estado de México. Se elaboró una composta a partir de material vegetal con contenido importante de silicio, 70 % de *Equisetum hyemale* y 30 % de *Cyperus papyrus*, además de estiércol de borrego como fuente de nitrógeno, suelo de montaña, melaza y microorganismos. Se empleó un cultivo de rosa (*Rosa* sp) variedad 'Freedom' con un diseño experimental de bloques completos al azar en seis tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. Además de la composta elaborada, se aplicaron tratamientos con productos ricos en silicio, dos de la marca Nubiotek ®, uno de la marca Silex ®, otro llamado Silifertidol ® y una combinación de los dos últimos. La unidad experimental fue una planta y cada repetición fue el promedio de tres plantas. La nutrición fue de acuerdo con la fórmula de Steiner al 100 %. El contenido de materia orgánica en la composta elaborada fue de 27 %, pH de 8, conductividad eléctrica de 3 dS\*m<sup>-1</sup>, y valores de nutrimentos dentro de los intervalos marcados por la NMX-FF-109-SCFI-2008 y NADF-020-AMBT-2011. La composta, y productos comerciales ricos con silicio (Nubiotek Si ® Ultra, Nubiotek Si ® Hyper, Silex ® y Silifertidol ®) se aplicaron en cultivo. Se evaluaron las variables de longitud y grosor de tallo, largo y ancho del botón floral, con un arreglo estadístico de parcelas divididas, en cultivo se evaluó la incidencia de *Tetranichus urticae*, *Podosphaera pannosa* y *Spodoptera* sp.; y en post corte (vida postcosecha) incidencia de *Botrytis cinerea*. Se observó una disminución significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el promedio de ácaros planta (7 ácaros) en los tratamientos de aplicación foliar (Silex ® y Nubiotek Si ® Hyper), así mismo, la incidencia de *Podosphaera pannosa* se vio disminuida significativamente ( $p \leq 0.05$ ) por el tratamiento

Silex® y Silex®-Silifertidol®. *Spodoptera* sp. disminuyó sus daños en los tratamientos con composta y Nubiotek Si® Ultra. La producción se vio beneficiada con aumento en tamaño de los botones y largo de tallos, pero sin aumentar la calidad en términos estadísticos lo que sugiere la replicación del experimento durante más de cuatro ciclos de cultivo.

## ABSTRACT

The southern part of the State of Mexico has a wide production of ornamentals and cut flowers, of which the gerbera (*Gerbera hybrida*), liliium (*lilium* sp), clavel (*Dianthus caryophyllus*), gladiola (*Gladilus grandiflorum*), chrysanthemo (*Dendrathema grandiflora*), among others. Such production, and its quality, depend on plant-specific nutrition and that complements soil mineral deficiencies, as well as nutrition when supplemented with elements such as silicon (Si), limit the incidence of pests and diseases as well as improve their quality attributes. The aim of the research was to evaluate physically and chemically a compost enriched with Si in Rosa 'Freedom' cultivation as well as its effect on the incidence of pests and diseases and the quality of the floral stem. The experiment was carried out in greenhouses of the Tenancingo University Center of the Autonomous University of the State of Mexico. A compost was made from plant material with significant silicon content, 70 % Equisetum hyemale and 30 % Cyperus papyrus, as well as borrego manure as a source of nitrogen, mountain soil, molasses and microorganisms. A rose culture (*Rosa* sp) variety 'Freedom' with an experimental design of random complete blocks was used in six treatments with four repetitions each. The applied treatments with silicon content, also maked compost, was two Nubiotek® products, a Silex® trade product, a product named Silifertidol® and a combined treatment with last two. The experimental unit was one plant and each repetition was the average of three plants. Nutrition was according to Steiner's 100% formulation. The organic matter content in the processed compost was 27 %, pH 8, electrical conductivity 3 DS\*m-1, and nutrient values within the ranges marked by NMX-FF-109-SCFI-2008 and NADF-020-AMBT-2011. Compost, and commercial silicon-rich products (Nubiotek Si ® Ultra, Nubiotek Si ® Hyper, Silex ® and Silifertidol ®) were applied to culture. The variables of stem length and thickness, length and width of the floral button, with a statistical arrangement of plots, *Tetranychus urticae*, *Podosphaera pannosa* and *Spodoptera* sp. was evaluated on crop, and in post-cut (post-harvest life) incidence of *Botrytis cinerea*. A significant decrease ( $p \leq 0.05$ ) was observed in the average of plant mites (7 mites) in foliar application treatments (Silex ® and Nubiotek Si ® Hyper), and the incidence of *Podosphaera pannosa* was decreased significantly ( $p \leq 0.05$ ) by Silex® and Silex®-Silifertidol® treatment. *Spodoptera* sp. decreased its damage in treatments with compost and Nubiotek Si® Ultra. The

production benefited from an increase in button size and stem length but without increasing the quality in statistical terms.

# AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN



Universidad Autónoma del Estado de México  
Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales  
Instituto de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Formato 1

## FORMATO LIBERACIÓN DE TESIS

Ref: dcch/14 de septiembre del 2021

**DR. SERGIO MOCTEZUMA PEREZ**  
**COORDINADOR GENERAL DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO**  
**EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**  
**PRESENTE**

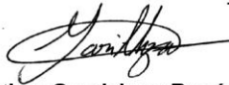
Por este medio hago de su conocimiento que la tesis con título: "**EFECTO DE UNA COMPOSTA Y PRODUCTOS COMERCIALES ENRIQUECIDOS CON SILICIO EN LA INCIDENCIA DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN CULTIVO DE ROSA**" que presenta el C. **DAVID CRUZ CHÁVEZ** egresado de la **Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**, del **Centro Universitario Tenancingo**, con número de matrícula **1930621** ha sido revisada y se ha comprobado que la información y datos contenidos son originales y verdaderos, no copiados de ningún otro trabajo ya existente, con excepción de los aportes que las propias fuentes bibliográficas han arrojado y que se encuentran debidamente registradas en la presente y que a nuestro juicio cumple con todos los requisitos metodológicos y de contenido, para que pueda ser sometida a examen de grado.


Sin otro particular, envío un cordial saludo.

### ATENTAMENTE PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO

"2021, Celebración de los 65 años de la Universidad Autónoma del Estado de México"

  
**Jaime Mejía Carranza**  
Director de tesis

  
**Marithza Guadalupe Ramírez Gerardo**  
Co - director de tesis

  
**Rafael Alvarado Navarro**  
Tutor

c.c.p. Responsable del PCARN en el organismo correspondiente  
c.c.p. Jefe de control escolar del espacio donde se encuentre adscrito el alumno  
c.c.p. Difusión cultural del espacio académico  
c.c.p. Archivo

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca,  
Estado de México C.P. 50090.  
Tel. (722) 2965552/1806124  
1806136 ext. 6500  
[pcarn@uaemex.mx](mailto:pcarn@uaemex.mx)  
[icar.uaemex.mx](http://icar.uaemex.mx)

**PCARN**

## CARTA DE ENVÍO DE ARTÍCULO

24/9/21 14:42

Correo: Jaime Mejia Carranza - Outlook

**Fwd: [BIOTECNIA] Acuse de recibo de envío**

Marithza Ramírez <maritthza@gmail.com>

Mar 14/09/2021 09:34 PM

Para: Jaime Mejia Carranza <jmejiac@uaemex.mx>

Envío el acuse de recibido del documento.

----- Forwarded message -----

De: **Dr. Enrique Márquez Ríos via Revista Biotecnia** <[ojs@biotecnia.unison.mx](mailto:ojs@biotecnia.unison.mx)>

Date: mar, 14 sept 2021 a las 21:31

Subject: [BIOTECNIA] Acuse de recibo de envío

To: Marithza Guadalupe Ramírez Gerardo <[maritthza@gmail.com](mailto:maritthza@gmail.com)>

Marithza Guadalupe Ramírez Gerardo:

Gracias por enviar el manuscrito, "Efecto de la aplicación de una composta con aporte de silicio en cultivo de rosa" a Biotecnia. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito:

<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/authorDashboard/submission/1574>

Nombre de usuario/a: marithza

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Dr. Enrique Márquez Ríos  
Biotecnia Universidad de Sonora

Vo. Bo.  
24/09/2021

  
Jaime Mejia Carranza  
Representante de área

## CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	IV
ÍNDICE DE CUADROS .....	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. La floricultura en México .....	3
2.2. Abonos orgánicos.....	5
2.1. Compostas.....	7
2.2. Nutrientos.....	10
2.3. Silicio (Si).....	14
2.3.1. Estructura química del Silicio.....	14
2.3.2. Ciclo biogeoquímico del Silicio .....	15
2.3.3. Silicio en organismos vivos.....	17
2.3.4. Formas de Silicio vegetal .....	18
2.4. Silicio en la agricultura .....	19
2.6.1. Rendimiento.....	19
3. JUSTIFICACIÓN.....	22
4. HIPÓTESIS .....	23
5. OBJETIVOS.....	24
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
6.1. Lugar de experimentación.....	25
6.2. Elaboración de la composta .....	26
6.3. Variables evaluadas durante el compostaje .....	29
a. Preparación de la muestra.....	29
b. Temperatura.....	30

c.	pH y Conductividad eléctrica .....	31
d.	Porcentaje de humedad.....	32
e.	Materia Orgánica .....	33
f.	Caracterización química de la composta .....	34
6.4.	Establecimiento del cultivo experimental.....	34
6.5.	Manejo agronómico .....	36
6.6.	Nutrición diferencial con silicio.....	37
6.7.	Diseño experimental .....	38
6.8.	Incidencia de plagas.....	39
a.	Araña roja ( <i>Tetranychus urticae</i> ).....	39
b.	Trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> ).....	39
c.	Pulgón verde ( <i>Macrosiphum rosae</i> ) .....	39
d.	Gusano verde del rosal ( <i>Spodoptera</i> sp.).....	39
6.9.	Incidencia de enfermedades.....	40
a.	Botritis ( <i>Botrytis cinerea</i> ).....	40
b.	Cenicilla ( <i>Podosphaera pannosa</i> ) .....	41
6.10.	Mediciones morfológicas (calidad) de la planta .....	42
a.	Grosor del tallo .....	42
b.	Longitud del tallo.....	42
c.	Largo del botón.....	42
d.	Diámetro ecuatorial del botón .....	42
6.11.	Análisis estadístico.....	42
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
7.1.	Análisis de suelo .....	43
7.2.	Análisis de la composta .....	44

a.	Temperaturas.....	44
b.	Humedad .....	46
c.	pH.....	47
d.	Conductividad eléctrica (CE).....	48
e.	Materia orgánica .....	49
f.	Características físicas y químicas de la composta. ....	51
7.3.	Incidencia de plagas.....	53
a.	Araña roja ( <i>Tetranychus urticae</i> ) .....	53
b.	Trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> ) .....	58
c.	Pulgón verde ( <i>Macrosiphum rosae</i> ).....	60
d.	Gusano verde del rosal ( <i>Spodoptera</i> sp.) .....	62
7.4.	Incidencia de enfermedades.....	66
a.	Cenicilla ( <i>Podosphaera pannosa</i> ).....	66
7.5.	Mediciones de calidad.....	70
8.	CONCLUSIONES.....	73
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
10.	ANEXOS .....	86
	Datos climatológicos .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diversas técnicas de compostaje. Fuente: elaboración propia a partir del Manual del Compostaje del Agricultor (Román <i>et al.</i> , 2013). .....	9
Figura 2. Clasificación de los nutrimentos según su fuente, mayor concentración y funciones dentro de la planta. Fuente: elaboración propia a partir de Lewin y Reimann, 1969; Epstein, 1994; Ortiz y Ortiz, 1990; Epstein, 1999.....	12
Figura 3. Ciclo biogeoquímico del silicio. Fuente: Quero (2009).....	16
Figura 4. Lugar de experimentación ubicado en el CU UAEM Tenancingo, Estado de México. Vista frontal del invernadero dónde se establecieron las plantas de rosa y contenedores donde se elaboró la composta.....	25
Figura 5. Sistema recolector de lixiviados colocado debajo de los tambos de composta .....	26
Figura 6. Reducción de tamaño de partícula del material vegetal utilizado para la elaboración de la composta.....	28
Figura 7. Lugar de experimentación para la elaboración de la composta .....	29
Figura 8. Registro de temperatura dentro de cada uno de los tambos de compostaje .....	30
Figura 9. Medición de pH y conductividad eléctrica de los distintos tratamientos de compostas. ....	31
Figura 10. Muestras, dentro de la estufa de secado, para determinar el contenido de humedad de la composta.....	32
Figura 11. Muestras calcinadas, dentro de la mufla, para determinar el porcentaje de materia orgánica. ....	33
Figura 12. Preparación del terreno de cultivo y formación de las camas.....	34
Figura 13. Establecimiento de cultivo provisto con riego rodado (a) y brotes (b) a los diez días de establecidos con aplicación de estimulante radicular. ....	35
Figura 14. Distribución de los tratamientos, dentro del invernadero, con un diseño de bloques completos al azar. ....	38
Figura 15. Parcela útil, con nueve plantas, de cada uno de los tratamientos en los distintos bloques.....	38
Figura 16. Evaluación de incidencia de botritis y vida de florero. ....	41

Figura 17. Promedio de temperaturas registradas durante el compostaje de material vegetal rico en silicio con estiércol de ovino, durante diciembre 2019 y enero 2020.....	45
Figura 18. Promedio del porcentaje de humedad de la composta elaborada con material vegetal rico en silicio con estiércol de ovino, durante diciembre 2019 y enero 2020. ....	46
Figura 19. Registro de pH durante los 62 días de elaboración de la composta durante diciembre 2019 y enero 2020. ....	47
Figura 20. Conductividad eléctrica registrada durante la elaboración de la composta con material vegetal rico en silicio con estiércol de ovino, durante diciembre 2019 y enero 2020.....	49
Figura 21. Registro del porcentaje de materia orgánica de las compostas durante los 62 días de elaboración de la composta elaborada con material vegetal rico en silicio con estiércol de ovino, durante diciembre 2019 y enero 2020. ....	50
Figura 22. Registro de variables climáticas durante 52 semanas, entre septiembre 2019 y septiembre 2020, y valor promedio del número de arañas registradas en cada ciclo de cultivo de <i>Rosa 'Freedom'</i> . ....	56
Figura 23. Gráfico de puntos donde se observa el comportamiento de los tratamientos entre los ciclos evaluados para pulgón ( <i>Macrosiphum rosae</i> ). ....	61
Figura 24. Registro de variables climáticas durante 52 semanas, entre septiembre 2019 y septiembre 2020, y valor promedio del número de plantas con presencia de gusano en cada ciclo de cultivo de <i>Rosa 'Freedom'</i> .....	64
Figura 25. Registro de variables climáticas durante 52 semanas, entre septiembre 2019 y septiembre 2020, y valor promedio del número de hojas con presencia de cenicilla en cada ciclo de cultivo de <i>Rosa 'Freedom'</i> .....	68

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Superficie cultivada (ha) de algunas de las especies florícolas, en los municipios del sur del estado de México, durante los últimos cinco años concluidos. ....	11
<b>Cuadro 2.</b> Clasificación de los abonos orgánicos y la materia prima utilizada para su elaboración.....	12
<b>Cuadro 3.</b> Contenido de nutrimentos, sobre base seca, en diversas plantas estudiadas por Epstein (1994).....	19
<b>Cuadro 4.</b> Abundancia (%) de algunos elementos en la corteza terrestre y cultivos en general, de diversas especies vegetales. ....	21
<b>Cuadro 5.</b> Contenido de silicio en algunas especies vegetales.....	23
<b>Cuadro 6.</b> Contenido de nutrimentos en 147 especies de Angiospermas.....	24
<b>Cuadro 7.</b> Cantidades de materia prima empleadas en los tratamientos de compostas (con y sin aporte de silicio). ....	32
<b>Cuadro 8.</b> Ubicación y coordenadas de la recolección del material vegetal empleado en la elaboración de los ensayos de compostas.....	32
<b>Cuadro 9.</b> Dosis y productos empleados en la fórmula de Steiner (1984) en 100 L de solución. ....	41
<b>Cuadro 10.</b> Tratamientos empleados para nutrición diferencial de silicio.....	41
<b>Cuadro 11.</b> Escala para la evaluación de la incidencia del <i>Botrytis cinerea</i> Pers según Abawi y Pastor (1990).....	44
<b>Cuadro 12.</b> Análisis de suelo de sitio experimental para el cultivo de rosa ( <i>Rosa</i> sp.) variedad ‘Freedom’. ....	48
<b>Cuadro 13.</b> Caracterización física y química de las compostas elaboradas durante los meses de diciembre 2019 y enero 2020. ....	55
<b>Cuadro 14.</b> Promedio de arañas durante los tres ciclos de cultivo de <i>Rosa</i> sp. variedad ‘Freedom’ al aplicar silicio en composta y productos comerciales.....	57
<b>Cuadro 15.</b> Promedio de trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> ) durante los tres ciclos de cultivo de <i>Rosa</i> sp. variedad ‘Freedom’ al aplicar silicio en composta y productos comerciales. ....	63

<b>Cuadro 16.</b> Promedio de pulgones ( <i>Macrosiphum rosae</i> ) durante los dos ciclos de cultivo de <i>Rosa</i> sp. variedad 'Freedom' al aplicar silicio en composta y productos comerciales. ....	66
<b>Cuadro 17.</b> Promedio de gusano verde ( <i>Spodoptera</i> sp.) durante los dos ciclos de cultivo de <i>Rosa</i> sp. variedad 'Freedom' al aplicar silicio en composta y productos comerciales. ....	68
<b>Cuadro 18.</b> Promedio de hojas con presencia de cenicilla ( <i>Podosphaera pannosa</i> ) durante los dos ciclos de cultivo de <i>Rosa</i> sp. variedad 'Freedom' al aplicar silicio en composta y productos comerciales. ....	72
<b>Cuadro 19.</b> Promedio de mediciones de calidad (alto y ancho de botón, grosor de tallo y alto de tallo) de los tallos florales de los cuatro ciclos de cultivo evaluados, de <i>Rosa</i> sp. variedad 'Freedom', al aplicar silicio en composta y productos comerciales. ....	77

## 1. INTRODUCCIÓN

La floricultura, en la región sur del Estado de México, es una de las principales actividades económicas. Destaca el cultivo de especies como crisantemo (*Dendrathera grandiflora*), gerbera (*Gerbera hybrida*), rosa (*Rosa* sp.), lili (*Lilium* sp.), clavel (*Dianthus caryophyllus*), entre otras (SIAP, 2019). La rosa (*Rosa* sp.), se cultiva en una superficie de alrededor de 859 ha (SIAP, 2019). Su manejo agronómico requiere una adecuada nutrición, además de un correcto control de plagas y enfermedades que garanticen calidad de la flor y ganancias económicas al productor.

La correcta nutrición de la rosa, suplementada con compostas, bioles, abonos orgánicos, entre otros, recientemente ha tomado importancia como práctica agrícola sustentable tal que disminuye el daño al medioambiente (Guadarrama *et al.*, 2018). Del mismo modo, el control de plagas y enfermedades con alternativas agrícolas sustentables se ha realizado con extractos de plantas y microorganismos benéficos, entre otros. No obstante, las plantas también tienen mecanismos fisiológicos de defensa, dentro de los que destacan la producción de fenoles, engrosamiento de pared celular y microestructuras de la hoja, por mencionar algunas.

Los anteriores mecanismos de defensa están influenciados por una correcta nutrición y por la estimulación mediante elicitores o elementos que promueven dichos mecanismos como lo son el boro, el molibdeno y el silicio. Este último, es uno de los elementos más abundantes en la tierra, constituyente elemental del suelo y de una amplia familia de plantas como lo son las Poaceae, Equisetaceae, Panocoideae y Cyperaceae. En éstas se encuentra como silicofitolitos dentro de la estructura de las plantas de las familias antes mencionadas, por lo que tampoco se rechaza su presencia abundante en otras familias vegetales, como es el caso de la familia *Rosaceae*.

Dentro de las plagas más comunes que afectan a las rosas, se encuentran araña roja (*Tetranychus urticae*), trips (*Frankliniella occidentalis*) y mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), e insectos como gusano verde del rosal (*Spodoptera* sp.) y pulgón verde (*Macrosiphum rosae*). Las enfermedades más comunes son causadas por hongos como botritis (*Botrytis cinerea*), cenicilla (*Podosphaera pannosa*) y peronóspora (*Peronospora sparsa*). Sin embargo, depende de la variedad, la incidencia de cada una de las anteriores, o de otras distintas.

Con lo anterior, en la presente investigación se evalúa la posible disminución de plagas y enfermedades, mediante una nutrición suplementada con silicio a partir de una composta rica en silicio y productos minerales comerciales.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. La floricultura en México

El cultivo de ornamentales forma parte de una importante actividad comercial para el sector agrícola mexicano (Ramírez y Avitia, 2018). De los 32 estados de la república, en cuatro se concentra el 87.2 % de la producción florícola nacional: la Ciudad de México aporta el 3.8 %, Morelos el 7.6 %, Puebla el 14.5 % y el Estado de México el 61.3 % (SIAP, 2018). De este último, el 90 % se concentra en el corredor florícola del Estado de México, conformado por los municipios de Ixtapan de la Sal, Malinalco, Zumpahuacán, Tenancingo, Coatepec Harinas y Villa Guerrero; Siendo este último el generador del 56 % de la producción florícola estatal (Hernández *et al.*, 2017; SIAP, 2019).

Así mismo, los cultivos florícolas de la región sur del Estado de México cuentan con alrededor de 50 distintas especies de flores, entre los cuales destacan: rosa (*Rosa sp*), crisantemo, gladiola (*Gladiolus grandiflorum*), clavel, nube (*Gypsophilia paniculata*), girasol (*Helianthus annuus*), aster (*Aster sp.*), lili, gerbera, entre otros. Siendo la gladiola, el crisantemo y la rosa, los de mayor producción, comercialización y fuente de ingreso (De la Rosa, 2012; SIAP, 2018).

La extensión de terrenos de cultivo de especies florícolas, y otras especies de interés comercial dentro de las que destacan hortalizas y frutales, es bastante amplia en el sur del Estado de México según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2020). De 2015 a 2019, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), reporta una superficie cultivada entre 4800 y 5400 hectáreas de especies florícolas (crisantemo, gladiola, rosa, clavel, lili, gerbera, aster, entre otras) tan solo de los doce municipios que conforman el sur del Estado de México (Almoloya de Alquisiras, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal, Malinalco, Ocuilan, Sultepec, Tenancingo, Texcaltitlán, Tonatico, Villa Guerrero, Zacualpan y Zumpahuacán). Destacan por la cantidad de superficie cultivada: el crisantemo, la gladiola y la rosa; ocupando los tres primeros lugares respectivamente (cuadro 1).

**Cuadro 1.** Superficie cultivada de algunas de las especies florícolas, en los municipios del sur del Estado de México, durante los últimos cinco años concluidos. Fuente: SIAP (2020).

Cultivo/especie	Superficie (ha)				
	2015	2016	2017	2018	2019
Crisantemo	2,197	2,456	2,443	2,355	2,377
Gladiola	1,031	1,026	996	1,137	1,125
Rosa	633	751	770	820	832
Clavel	436	437	438	530	535
Lilium	188	206	235	95	238
Gerbera	90	96	100	108	114
Aster	108	117	120	125	112
Alstroemeria	64	69	70	75	77
Solidago	59	57	68	69	56
<b>Total</b>	<b>4,806</b>	<b>5,214</b>	<b>5,239</b>	<b>5,313</b>	<b>5,465</b>

El cultivo de rosa (*Rosa* sp.), ha mostrado un aumento de 632 a 832 ha cultivadas de 2015 a 2019 (SIAP, 2016; 2018; 2020). Lo que se traduce en poco más de 7 millones de paquetes con valor de producción en promedio de \$1 365 623 210 (SADER, 2020), que hace de esta especie la de mayor importancia y demanda en México y el mundo (Domínguez *et al.*, 2016), pero que también se ve afectada por plagas y enfermedades como cualquier cultivo de interés. La incidencia de plagas como araña roja (*Tetranychus urticae*), trips (*Frankliniella occidentalis*), pulgón (*Macrosiphum rosae*) y gusano verde (*Spodoptera* sp.), así como también enfermedades fungosas como cenicilla (*Podospaera pannossa*), peronóspora (*Peronospora sparsa*) y botritis (*Botrytis cinerea*), afectan la calidad de los tallos florales o e incluso pueden provocar la pérdida total del cultivo (Chacón *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2018; Moreno *et al.*, 2018; Rosales *et al.*, 2018; Sariol *et al.*, 2019).

Lo anterior, implica un amplio uso de producto de síntesis química para el control de plagas y enfermedades en el cultivo (Rosales *et al.*, 2018) y cuyo uso excesivo provoca pérdida de la fertilidad de los suelos, entre otros daños (Moreno *et al.*, 2018). El deterioro ambiental provocado es tal que los productores florícolas han modificado el uso de suelos de las diferentes localidades, en la búsqueda de mejores tierras de cultivo, así como el reducir el uso de

plaguicidas inorgánicos mediante las prácticas agrícolas de tipo orgánico tales como el uso de bioles, abonos orgánicos, plaguicidas botánicos, productos biodegradables, entre otros (Salazar *et al.*, 2017; Carreño *et al.*, 2019).

## **2.2. Abonos orgánicos**

Se entiende como abono orgánico al producto obtenido a partir de la degradación de residuos animales, vegetales, urbanos y restos de cosechas, cuya finalidad es la de mejorar la fertilidad y productividad de los suelos, así como otras características físicas, químicas y biológicas que son deseables para el correcto desarrollo de los cultivos (Román *et al.*, 2013; Reza *et al.*, 2017; Goyes y Gómez, 2018).

Los abonos orgánicos ayudan a aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, y a la mineralización de esta, mejora la estructura del suelo, amortigua el pH, mejora la fertilidad y productividad y, reestablece la actividad y biodiversidad microbiana de los suelos. También, al aumentar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la conductividad eléctrica (CE), favorecen la absorción por parte de las plantas de los diversos nutrientes disponibles, lo que contribuye a disminuir su pérdida por lixiviación hacia aguas subterráneas (Manare *et al.*, 2015; Forján *et al.*, 2017; Llive, 2017; Kamlesh *et al.*, 2019; Farinango, 2020), y al existir la presencia de nutrientes en el suelo, aumenta en las plantas su capacidad de defensa ante ataques de plagas y enfermedades (Ngo y Cavagnaro, 2018).

Los abonos orgánicos se clasifican en: sólidos y líquidos (cuadro 2). Dentro de los primeros, se encuentran los de origen animal (estiércol, gallinaza, harina de pescado, guano, sangre, plumas, entre otros), origen vegetal (abonos verdes, serrín, forraje agrícola, rastrojo, algas, restos de jardinería, entre otros) y mixtos o procesados (lombricomposta, composta, ensilado, bocashi, entre otros); por su parte, dentro de los abonos orgánicos líquidos, destacan los lixiviados de compostas, fermentos de hongos y bacterias, caldos nutritivos, entre otros (Román *et al.*, 2013; Reza *et al.*, 2017; InfoAgro, 2020).

**Cuadro 2.** Clasificación de los abonos orgánicos y la materia prima utilizada para su elaboración.

Clasificación	Origen	Materia prima utilizada	
Sólidos	Vegetal	Leguminosas (abono verde)	
		Ceniza de madera	
		Desechos forrajeros	
		Rastrojo	
		Restos de vegetales	
		Desecho de poda de jardinería	
		Harina de alfalfa	
		Algas	
		Desecho de cafetales	
		Desechos florícolas	
	Animal	Cascarón de huevo	
		Estiércol de ganado	
		Gallinaza	
		Harina de pescado	
		Harina de hueso	
		Harina de sangre	
		Harina de plumas	
		Guano de murciélago	
		Mixto	Composta
			Lombricomposta
Líquido	Lixiviados	Bocashi	
		De composta	
	Fermentos	De lombricomposta	
		Caldo bordeles	
		Caldo sulfocálcico	
	Biológicos	Caldo ceniza	
		Bacilos	

Hongos entomopatógenos

Levaduras

Micorrizas

---

## **2.1.Compostas**

Las compostas se agrupan dentro de los abonos orgánicos sólidos, su incorporación al suelo aporta múltiples beneficios, destaca, por ejemplo, cambios positivos en la retención de agua, capacidad de intercambio catiónico, mineralización de la materia orgánica, aumento de nutrimentos disponibles (N y C, principalmente) y un aumento en la actividad microbiana, enzimática y de organismos en el suelo (Sánchez *et al.*, 2017; Guadarrama *et al.*, 2018; Hernández *et al.*, 2018). Además, al mejorar las características fisicoquímicas del suelo, ayudan a reducir las pérdidas de fertilizantes por efecto de la volatilización y lixiviación de éstos (Farinango, 2020).

Las compostas, pueden ser enriquecidos con otros materiales, así como por microorganismos benéficos, ya sea en su proceso de elaboración y al momento de ser aplicadas al suelo o como sustrato para la producción de flores, hortalizas y cualquier otro cultivo (Kamlesh *et al.*, 2019). En algunos estudios se combinan composta comercial con cenizas vegetales (biochar) para evaluar su capacidad de recuperar nutrientes, neutralizar el pH, incrementar los niveles de N, C y la CIC en suelos cercanos a minas a diferentes profundidades; los resultados indicaron que al aplicar composta con la adición de biochar y material vegetal fresco se logran un mejoramiento en las características físicas y químicas del suelo (Forjan *et al.*, 2017). También se han compostado residuos de la industria de vinos y su efecto en el crecimiento de maíz, rendimiento y contenido de nutrientes; los resultados indicaron un aumento de N, K y Zn, comparados con un tratamiento con fertilización NPK convencional (Manare *et al.*, 2015).

El cultivo de especies florícolas está presente en México desde la época prehispánica, sin embargo, fue hasta las décadas de 1940 – 1950 que se inició el cultivo con fines comerciales (Gayosso *et al.*, 2016). A la par de los cultivos florícolas, también surgen las necesidades nutrimentales de las plantas, mismas que son suplementadas a través de fuentes minerales que provocan la disminución de la fertilidad del suelo, disminución del rendimiento a largo plazo, entre otras afectaciones (Badar y Batool, 2017). Para contrarrestar los anteriores efectos, junto con la pérdida acidez, salinidad, pérdida de productividad y diversidad biológica, los productores han incorporado gradualmente las enmiendas al suelo en forma de compostas (Guadarrama *et al.*, 2018).

Una composta es el producto de un proceso de fermentación sólida con presencia de oxígeno mediante el cual diferentes tipos de microorganismos se encargan de transformar material vegetal en compuestos más estables conocidos como composta (Román *et al.*, 2013; Sánchez *et al.*, 2017). La elaboración de una composta es un proceso similar a la degradación natural de la materia orgánica, pero en condiciones controladas y con ayuda de microorganismos que aceleren dicho proceso (Pergola *et al.*, 2017). Así mismo, de acuerdo con el Manual de Compostaje del Agricultor de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013), existen diversas técnicas de compostaje (figura 1) que dependen del tiempo, el espacio y las condiciones climáticas, principalmente, de dónde se realice el proceso (Román *et al.*, 2013).

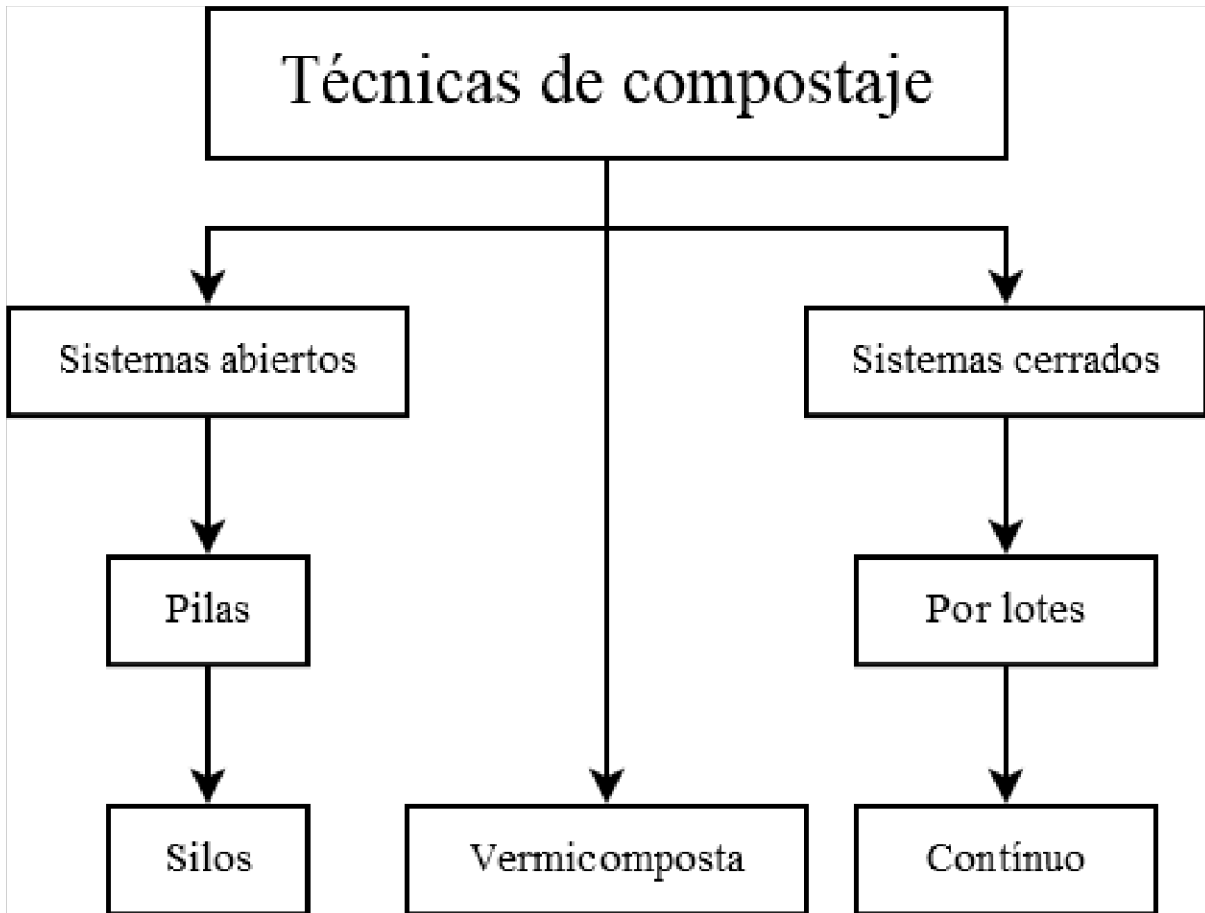


Figura 1. Diversas técnicas de compostaje. Fuente: elaboración propia a partir del Manual del Compostaje del Agricultor (Román *et al.*, 2013).

Las compostas se elaboran en sistemas abiertos o cerrados. Los abiertos, son aquellos que se realizan al aire libre directamente sobre el suelo y utiliza especies de lombrices (usualmente del género *Eisenia*) para la degradación de la materia vegetal (Román *et al.*, 2013; Llive, 2017); pueden formar montículos o pilas y, torres contenidas por estructuras abiertas formando silos. Los sistemas cerrados, por su parte, se realizan en dispositivos aislados del suelo, como barriles o tambos, en el cual no se tiene contacto con los microorganismos que el suelo pudiera aportar y, de acuerdo con la orientación del recipiente será un proceso continuo (vertical) en el cual la materia orgánica estabilizada se obtiene por la parte inferior o por lotes (horizontal) dónde la composta se recoge una vez que la materia orgánica se encuentra completamente degradada.

## 2.2.Nutrientes

Desde la primera década del siglo XX, se realizaron los primeros experimentos donde se encontró que las plantas requerían ciertos elementos: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y hierro (Fe); y su ausencia, o poca disponibilidad, resultaba en un débil crecimiento, síntomas visibles o la muerte de esta, a los cuales denominaron nutrientes. Posteriormente, entre 1922 y 1954, se descubrió que las plantas también requerían de otros elementos como: manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B), zinc (Zn), molibdeno (Mo), cloro (Cl), cobalto (Co), vanadio (Va), sodio (Na) y galio (Ga), los cuales también juegan un papel importante en los procesos fisiológicos de la planta; nombrando a los primeros como macronutrientes debido a que su presencia y requerimientos en la planta son mayores, y los segundos se denominaron micronutrientes por la razón contraria (Ortiz y Ortiz, 1990; Jones, 1997; Silber y Bar-Tal, 2008; Savvas y Ntatsi, 2015).

Del mismo modo, los macronutrientes y micronutrientes, se clasifican por primera vez en 1939 por Arnon y Stout, obedeciendo a los siguientes criterios:

- a. La ausencia de un elemento imposibilitará que la planta complete su ciclo vegetativo y/o reproductivo.
- b. La deficiencia de un elemento puede ser corregida únicamente mediante la suplementación de este.
- c. Deberá estar directamente involucrado en la nutrición de la planta, independiente de sus efectos en el suelo o la microbiología del medio de cultivo.

Los nutrientes como el C, H y O, son absorbidos a través de las hojas mediante la fotosíntesis y la respiración, el resto de los elementos, son absorbidos por las raíces de la planta (Silber y Bar-Tal, 2008) y en menor cantidad por las hojas; la escasez de alguno de estos representaría una disminución en el rendimiento y el posible ataque de plagas y enfermedades en el cultivo (Farinango, 2020). Por lo que la nutrición deberá ser constante para asegurar la preservación de la planta y el rendimiento del cultivo (Senra, 2017).

Epstein (1994, 1999), siguiendo los criterios propuestos por Arnon y Stout (1939) menciona al silicio en la clasificación de los nutrimentos, pero únicamente lo indica como esencial para algas diatomeas y plantas de la familia *Equisetaceae*. Estudios posteriores (Lewin y Reimann, 1969; Epstein, 1994 y 1999; Guntzer *et al.*, 2012) demostrarán que también es esencial para familias como *Curcubitaceae*, *Poaceae*, *Gramineae*, *Cyperaceae*, *Urticaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Ulmaceae* y algunas especies de *Rosaceae* por presentar depósitos de este mineral en su morfofisiología.

Es entonces que, Ortiz y Ortiz (1990), proponen una clasificación de los nutrimentos según la fuente de su origen y su función e importancia en las plantas (figura 2). Carbono, hidrógeno y oxígeno, se obtienen del aire, a través de la fotosíntesis, y del agua de riego. Los macronutrimentos (N, P, K, Ca, Mg, S) pueden ser tomados del suelo a través de la raíz. N, P y K son requeridos en grandes cantidades, mientras que Ca, Mg y S sirven como vehículos para los primeros. Finalmente, los micronutrimentos son aquellos utilizados en menor cantidad por la planta, sin embargo, favorecen la absorción de los nutrimentos mayores (Jones, 1997). Del mismo modo, también se pueden clasificar (Ortiz y Ortiz, 1990) por su función en la planta: estructurales (C, H, O, N, P y S), portadores (N, Ca y Mg) y activadores (Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo).

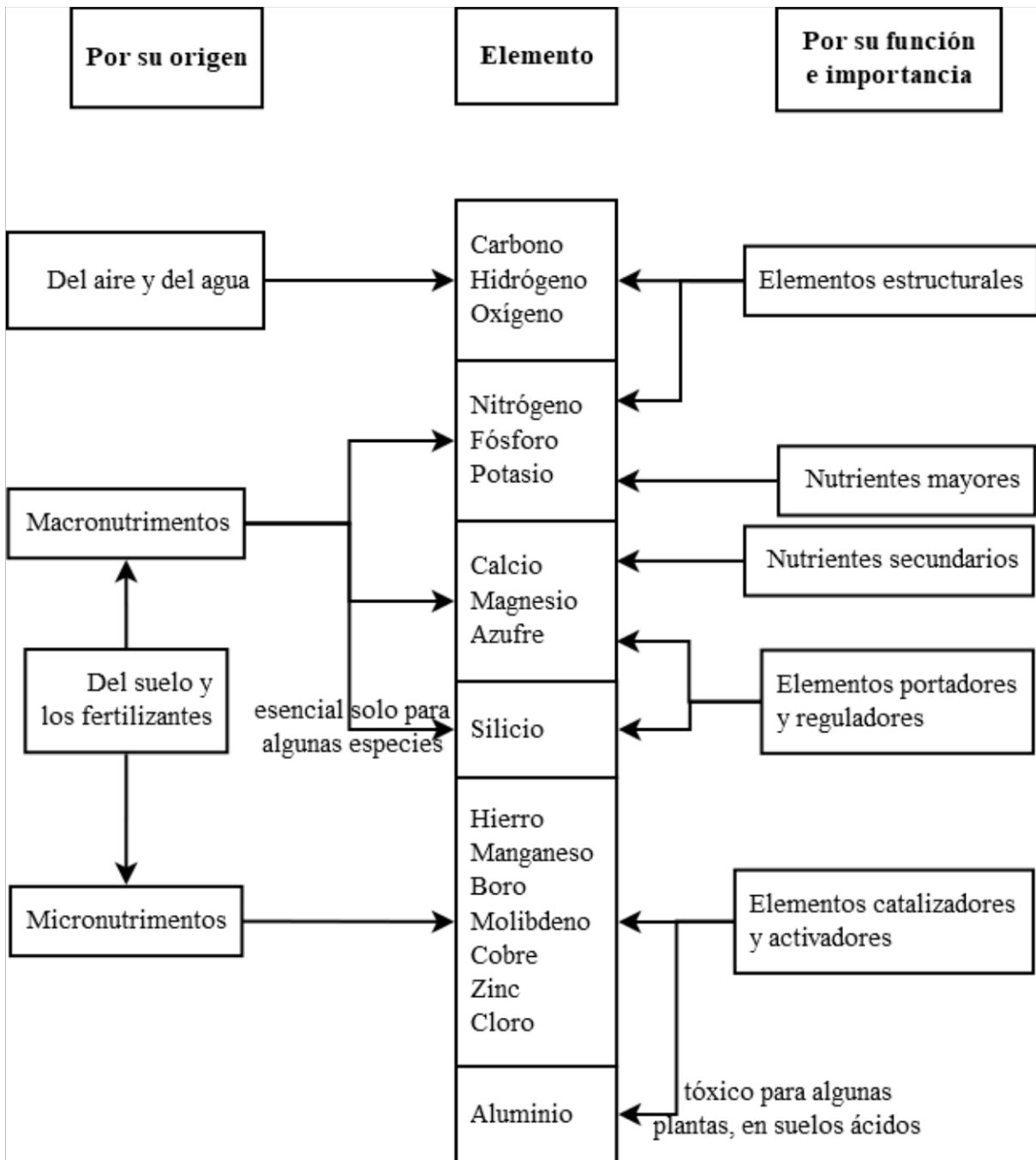


Figura 2. Clasificación de los nutrientes según su fuente, mayor concentración y funciones dentro de la planta. Fuente: elaboración propia a partir de Lewin y Reimann, 1969; Epstein, 1994; Ortiz y Ortiz, 1990; Epstein, 1999.

La anterior clasificación, según los criterios de Arnon y Stout (1939) y realizada por Ortiz y Ortiz (1990), no incluye a silicio y actualmente se está considerando la reclasificación de estos. Sin embargo, Epstein (1994) hace mención que cuando el Si se encuentra disponible en el suelo, éste será absorbido en su forma de  $\text{Si}(\text{OH})_4$  por la planta, llegando a depositarse en ella en cantidades comparables con las de los macronutrientes (cuadro 3), así mismo para otros nutrientes como el sodio y el aluminio, los cuales pueden llegar a ser tóxicos para algunas plantas, pero también benéficos para otras. Para lo cual, y en espera que el silicio también sea incluido en la lista, el autor se sirve de clasificarlo como macronutriente, dejando claro que aún no se ha clasificado oficialmente como tal.

**Cuadro 3.** Contenido de nutrientes, sobre base seca, en diversas plantas estudiadas por Epstein (1994).

<b>Elemento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valores (base seca)</b>
Nitrógeno	%	0.5-6
Fósforo	%	0.15-0.5
Azufre	%	0.1-1.5
Potasio	%	0.8-8
Calcio	%	0.1-6
Magnesio	%	0.05-1
Hierro	ppm	20-600
Manganeso	ppm	10-600
Zinc	ppm	10-250
Cobre	ppm	2-50
Níquel	ppm	0.05-5
Boro	ppm	0.2-800
Cloro	ppm	10-80 000
Molibdeno	ppm	0.1-10
Cobalto	ppm	0.05-10
Sodio	%	0.00- 8
Silicio	%	0.1-1
Aluminio	ppm	0.1-500

### **2.3. Silicio (Si)**

Con el segundo lugar en abundancia en el planeta Tierra, solamente después del oxígeno (49 %), el silicio (31 %) es un mineral inorgánico que se encuentra en vitroclastos, arena, rocas volcánicas, rocas de silicatos, sedimentos de la erosión oceánica y sedimentos y materiales parenterales del suelo). Sus formas amorfas biogénicas son sílice amorfa hidratada, silicofitolitos, diatomeas y poríferos. Además, con un ciclo biogeoquímico aún no descrito por completo, el silicio adquiere importancia por sus beneficios en las plantas superiores, dentro de los que destacan los estreses biótico y abiótico, así como una mejoría en la asimilación de los nutrimentos disponibles en el suelo (Epstein, 1994 y 1999; Quero, 2009; Guntzer *et al.*, 2012; Zhu y Gong, 2014; Ball *et al.*, 2016 y Osterrieth *et al.*, 2019).

#### **2.3.1. Estructura química del Silicio**

Como producto de la solubilización del Silicio inorgánico, presente en las rocas y los sedimentos, lo podemos encontrar en la forma de ácido tetraoxosilícico ( $H_4SiO_4$ ) o también como ácido silícico [ $Si(OH)_4$ ]. Ambos, son ácidos débiles que se forma como producto de la intemperización de las rocas por erosión hídrica y eólica y por acción de distintos organismos, el cual se va depositando en sedimentos acuáticos y terrestres para que, al pasar el tiempo, se encuentre disponible para a absorción por los organismos vegetales. Del mismo modo, cuando éste es absorbido por las plantas, se transforma en sílice biogénica amorfa hidratada, encontrándose en forma de silicofitolitos con estructura química  $SiO_2 \cdot n \cdot H_2O$  en organismos vegetales vivos, y como dióxido de silicio ( $SiO_2$ ) en la materia seca de los mismos (Epstein, 1994 y 1999; Quero, 2009; Guntzer *et al.*, 2012; Savvas y Ntatsi, 2015; Ball *et al.*, 2016 y Osterrieth *et al.*, 2019).

### 2.3.2. Ciclo biogeoquímico del Silicio

El silicio, así como los macronutrientes (cuadro 4), también cumple un ciclo biogeoquímico que involucra seres vivos, medio ambiente y suelo, todavía no ha sido estudiado completamente (Lewin y Reiman, 1969; Epstein, 1994 y 1999). Pero se sabe que existen reservas en suelo, océano y atmósfera, cada uno con contenido variable. Quero (2009) y Osterrieth *et al.* (2019) los describen como sigue, y proponen un esquema del ciclo biogeoquímico del silicio (figura 3).

**Cuadro 4.** Abundancia (%) de algunos elementos en la corteza terrestre y cultivos en general, de diversas especies vegetales. Fuente: modificado de Raya y Aguirre, 2012.

Elemento	Suelo	Cultivos
O	47.4	45-47
Si	27.7	0.1-10
Al	8.2	0.00001-0.05
Ca	4.1	0.1-6
Mg	2.3	0.05-1
K	2.1	0.8-6
H	1.5	
P	1	0.15-0.5
C	0.48	48-50
S	0.26	0.1-1.5
N	0.03	0.5-6

**Suelo (continental).** Comprende unas 380 Tt al año, mismas que se recuperan entre 1.7 a 5.1 Tt al año en forma de sílice biogénica por los vegetales. El Silicio soluble ( $\text{Si(OH)}_4$ ) es intemperizado por las rocas, así como por acción del agua de lluvia y la erosión eólica, arrastrando las partículas de ácido ortosilícico y sedimentándolas en el suelo por capas alrededor de los tres metros. Se estima que la sedimentación se da a pH de 7, logrando también la transformación (solubilización) del  $\text{Si(OH)}_4$  en dióxido de silicio hidratado ( $\text{SiO}_2 \cdot n \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

**Oceánico (submarino).** Comprende aproximadamente 4.4 Tt al año a través de las rocas sedimentarias y unos 157 Gton al año a través de su forma disuelta ( $\text{SiO}_2 \cdot n \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Su contenido, disponibilidad y solubilidad es variable, encontrándose en pH de 3-8 para que ocurra la solubilización. Como es un elemento limitante en los cuerpos de agua (ríos y océanos), limitado por la presencia de diatomeas y poríferos, los cuales pueden llegar a sedimentar hasta 188 Gton al año de sílice biogénica amorfa. Sin embargo, el cuantificar la relación entre los componentes vivos del ecosistema y la disponibilidad de Si representa un gran reto para entender su ciclo biogeoquímico y la relación con los organismos fotosintéticos (vegetales, diatomeas, poríferos y cianófitos).

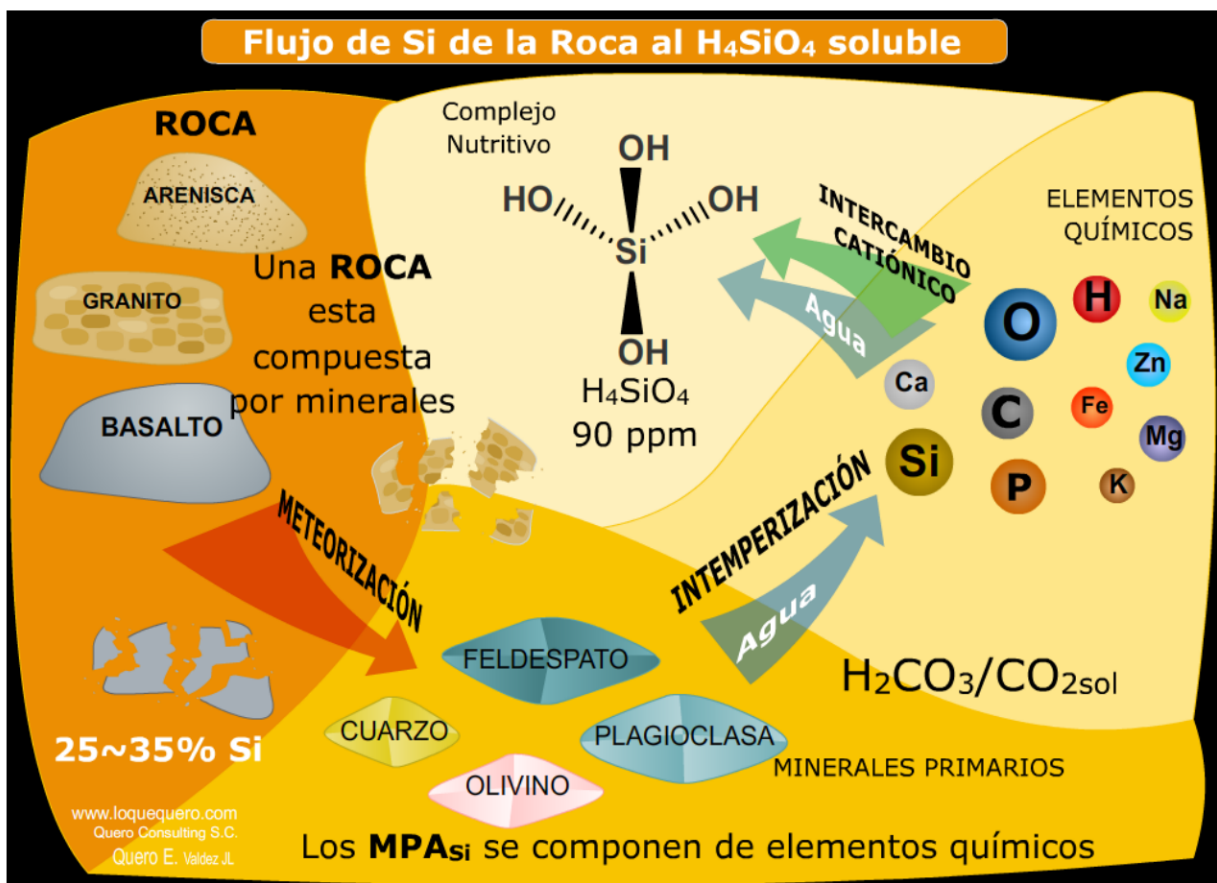


Figura 3. Ciclo biogeoquímico del silicio. Fuente: Quero (2009).

### 2.3.3. Silicio en organismos vivos

El silicio en los seres vivos se acumula de forma variada y tiene funciones específicas en plantas (cuadro 5), en algas y en protozoarios. En el caso de las diatomeas, el Si es un constituyente principal de su pared celular, el cual le otorga esa característica morfológica que las asemeja a arenas finas. (Epstein, 1994 y 1999; Quero, 2009 y Osterrieth *et al.*, 2019).

**Cuadro 5.** Contenido de silicio en algunas especies vegetales. Fuente: modificado de Guntzer *et al.*, 2012 y Savvas y Ntatsi, 2015.

Nombre común	Nombre científico	Contenido en peso seco	
		%	mMol/kg
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	4.167	
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>	1.824	
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>		224
Maíz	<i>Zea mays</i>	0.827	
Soya	<i>Glycine max</i>	1.399	
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	2.455	
Calabacín	<i>Curcubita pepo</i>		220
Mandioca		0.5	
Papa	Solanaceae	0.4	
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>		280-440
Pepinillo	<i>Cucumis anguria</i>		128-370
Remolacha	<i>Beta vulgaris</i>	2.34-7	
Fresa	<i>Fragaria ananassa</i>		130
Jitomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	1.55	13-17
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>		12
Pimiento	<i>Capsicum frutescens</i>		12-22
Áster	<i>Aster ericoides</i>		280
Clavel	<i>Dianthus caryophyllus</i>		17
Gerbera	<i>Gerbera sp.</i>		10
Rosa	<i>Rosa sp.</i>		30-130
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	1.509	

### 2.3.4. Formas de Silicio vegetal

El Si se encuentra en el suelo como  $\text{Si(OH)}_4$ , y al ser absorbido por la planta se transforma en  $\text{SiO}_2$ , debido al proceso de biomineralización, dando paso al silicio biogénico amorfo, mejor conocido como silicofitolitos o fitolitos de silicio. Los fitolitos de silicio son estructuras microscópicas de silicio, que se producen en las células de las plantas, pudiendo encontrarse tanto en cualquier parte de ésta, desde la raíz hasta la inflorescencia, flor o fruto (Fernández *et al.*, 2009; Ball *et al.*, 2016; Rashid *et al.*, 2019).

Los fitolitos forman depósitos de concentración variable tanto dentro como fuera de la célula en diferentes especies de plantas mono y dicotiledóneas (cuadro 6), donde destacan las familias Curcubitaceae, Poaceae, Gramineae, Cyperaceae, Urticaceae, Fabaceae, Asteraceae, Ulmaceae y algunas especies de la familia de Rosaceae (Lewin y Reimann, 1969, Epstein, 1994 y 1999; Eksambekar, 2009; Guntzer *et al.*, 2012; Ball *et al.*, 2016)

**Cuadro 6.** Contenido de nutrimentos en 147 especies de Angiospermas. Fuente: Epstein, 1999.

Nutrimento	Intervalo de valores (ppm)	
	Dicotiledóneas	Monocotiledóneas
Silicio	2.3-4.1	2.0-4.9
Calcio	3.7-4.8	3.6-5.0
Magnesio	2.6-4.0	2.5-4.1
Potasio	3.9-5.0	3.8-5.1
Fósforo	3.0-4.0	2.4-3.9
Hierro	1.8-3.4	1.0-3.0
Manganeso	1.0-3.1	1.0-3.5
Boro	0.5-1.8	0.0-1.8
Aluminio	2.1-4.1	1.8-3.4
Cobre	0.3-1.7	0.0-1.3
Zinc	1.3-2.1	1.1-2.5
Cromo	0.0-1.0	0.0-0.3
Níquel	0.0-1.0	0.0-1.0

## **2.4. Silicio en la agricultura**

El Si al ser un elemento abundante en la superficie terrestre, es de esperarse que tenga un efecto en la agricultura, así como en las especies vegetales cultivadas sobre suelo y en sustratos enriquecidos con este elemento. Beneficios dentro de los cuales podemos destacar el aumento en el rendimiento de los cultivos, remediación ante diferentes formas de estrés (salino, metales, sequía) y reducción en la incidencia de ciertas plagas y enfermedades (Epstein, 1994 y 1999; Kaya *et al.*, 2006; Quero, 2009; Guntzer *et al.*, 2012; Raya y Aguirre, 2012; Zhu y Gong, 2014; Savvas y Ntatsi, 2015; Sondararajan *et al.*, 2015; Ball *et al.*, 2016; Honaine *et al.*, 2019; Osterrieth *et al.*, 2019). Asimismo, dada la cantidad de silicio que absorben las plantas, se pueden clasificar como acumuladoras (10-15 %), intermedias (1-5 %) y no acumuladoras (inferior al 1 %), lo cual incide directamente en los efectos que tenga el silicio en los distintos cultivos; de tal modo que las plantas acumuladoras son aquellas como las gramíneas que lo requieren en grandes cantidades, las plantas con absorción intermedia de silicio son quienes no presentan cambios ante la ausencia o presencia del mineral y, las no acumuladoras son quienes tienen una concentración mínima del elemento y no lo requieren como parte de su nutrición (Arcos *et al.*, 2007; Guntzer *et al.*, 2012).

### **2.6.1. Rendimiento**

Al ser un elemento abundante en los diferentes tejidos de la planta, principalmente en tallos, hojas y espinas (aunque también se encuentra presente en el grano y la raíz), Zambrano (2017) y Naranjo y Solórzano (2018) reportan que la aplicación de silicio en cultivos como el arroz tiene efecto positivo en el rendimiento (kg/ha) y la biomasa fresca (kg/m<sup>2</sup>), la cual depende del contenido de silicio que se le aplique al suelo o por vía foliar.

Naranjo y Solórzano (2018) reportan que al aplicar una dosis al suelo de 1.35 kg/ha se obtienen 1.3 kg de biomasa fresca en un metro cuadrado de arroz variedad DICTA Playitas. Así mismo, dosis de silicio de 0.54-0.81-1.08 kg/ha mostraron contenido de biomasa sin diferencias estadísticas (1.1-1.0-1.1 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente) respecto del tratamiento que obtuvo mayor biomasa fresca. Además, notaron que el tratamiento con mayor contenido de silicio (1.62 kg/ha) disminuyó el volumen de biomasa fresca obtenido, debido probablemente a una saturación del elemento en cuestión, imposibilitando su traslocación y aprovechamiento por la planta.

Del mismo modo, Zambrano (2017) aplicó silicio comercial Fossil Shell Agro® de la marca GVM Corp S. A. a cultivo de arroz, cuyo contenido es de 92 % de SiO<sub>2</sub>, las aplicaciones se realizaron en dosis de 1.5, 2.0 y 2.5 kg/ha y un testigo sin aplicación de silicio. El tratamiento con 2.5 kg/ha obtuvo un rendimiento de 8120 kg/ha, sin embargo, el tratamiento testigo obtuvo un rendimiento mayor (8200 kg/ha) que los otros tratamientos con silicio (1.5 kg/ha = 7666 kg/ha y 2.0 kg/ha = 7756 kg/ha), los resultados se atribuyeron probablemente, a la fertilización de fondo la cual fue igual en los cuatro tratamientos; además, sostiene lo reportado por Naranjo y Solórzano al año siguiente, que no obligatoriamente la dosis mayor será la que tenga mayor efecto positivo, puede suceder lo contrario.

El uso de abonos orgánicos, en la nutrición de las plantas, también impacta en el rendimiento de los cultivos y ayuda en mayor medida en suelos de textura arenosa y poca capacidad de retención de agua y nutrimentos. Peña y Galecio (2018) realizaron el análisis del rendimiento de diferentes calidades (primera, segunda y tercera) del fruto de limonero (*Citrus aurantifolia*) durante 22 meses con fertilización combinada N-P-K-Ca-cascarilla de arroz-materia orgánica a diferentes concentraciones. Los análisis obtenidos demostraron que las combinaciones con 110N-50P-120K-25Ca-75 % cascarilla de arroz-25 % materia orgánica y 210N-100P-150K-80Ca-75 % cascarilla de arroz-25 % materia orgánica resultaron en un mayor rendimiento del fruto en primera calidad y en total (3187 y 3110 kg/ha, respectivamente), sin embargo, no presentaron diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

El silicio no solamente puede ser suministrado por vía radicular o a través de abonos orgánicos como la cascarilla de arroz, sino también por vía foliar, teniendo la capacidad de ser asimilado por la planta a través de los estomas (Epstein, 1994). Para lo cual, Vargas (2019) aplicó un tratamiento con promotores de crecimiento a través del producto VIUSID ® agro, otro tratamiento con silicio Manvert® ortosil con 36 % de SiO<sub>2</sub> y un tratamiento testigo, evaluó diversas variables entre ellas el rendimiento del cultivo, con una fertilización de fondo igual para los tres tratamientos. Los resultados señalan que la no aplicación de estimulantes o silicio impacta en un rendimiento estándar del cultivo (8,573 kg /ha), sin embargo, ante la aplicación de combinada de silicio y promotores de crecimiento se obtienen rendimientos estadísticamente similares para ambos casos (9,725 y 10,022 kg/ha, respectivamente) y mayores al tratamiento testigo.

### 3. JUSTIFICACIÓN

El Estado de México es el principal productor de *Rosa* sp., a nivel nacional, con el 80 % de la producción en los municipios de Villa Guerrero, Tenancingo y Coatepec Harinas que aportan el 56 % de dicha producción total (SIAP, 2018). El cultivo de rosas (*Rosa* sp.), en conjunto con otras especies florales, destaca por su importancia comercial y de generación de empleos. Según el reporte del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de diciembre de 2019 (SIAP, 2019), la rosa ocupa el primer lugar en producción nacional con alrededor de nueve millones de gruesas comercializadas. Sin embargo, el reporte del año agrícola 2018 (SIAP, 2018), el cultivo de rosa experimentó una merma aproximada del 7 % de su producción floral ocasionada por diversos factores, principalmente por las diferentes plagas que se presentan a lo largo del desarrollo del cultivo, dentro de las que destacan insectos, ácaros y hongos (Herrera, 2013; Sariol *et al.*, 2019).

El floricultor convencional emplea plaguicidas de síntesis química para disminuir el daño provocado por plagas y enfermedades, sin embargo, provoca daños a su salud y promueve la resistencia a los mismos (Chacón *et al.*, 2017). Sin embargo, el uso de controles biológicos (secreciones, terpenos, fenoles, vellosidades, entre otros) y elicitores (ácido salicílico, aluminosilicatos, silicio, entre otros) para activar los mecanismos de defensa de las plantas es una alternativa a la agricultura para el control de plagas y enfermedades (Chen *et al.*, 2018). Dichos mecanismos de defensa son estimulados tanto por factores bióticos como abióticos, así mismo la nutrición tiene un papel importante, ya que una planta bien nutrida puede promover dichos mecanismos (Chacón *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2018), o bien actuar en el fortalecimiento de tejidos que pueden actuar como barreras mecánicas.

Por lo tanto, una buena nutrición en los cultivos contribuye a limitar la incidencia de plagas y enfermedades (Chacón *et al.*, 2017). Por lo que es necesario brindar alternativas de nutrición al floricultor, por ejemplo, mediante la incorporación abonos orgánicos como compostas cuya aportación nutrimental es gradual y puede ser complementada con la adición de elementos minerales que fortalezcan las estructuras de la planta para disminuir la incidencia de plagas y enfermedades como araña roja (*Tetranychus urticae*), gusano verde (*Spodoptera* sp.), pulgón verde (*Macrosiphum rosae*), cenicilla (*Podosphaera pannosa*) y botritis (*Botrytis cinerea*) que generan gran impacto en el cultivo de rosa (*Rosa* sp.) (Chacón *et al.*, 2017).

#### **4. HIPÓTESIS**

La aplicación de silicio en composta y suplementos nutricionales disminuyen el daño por plagas y enfermedades en cultivo y mejora la calidad postcosecha de *Rosa* 'Freedom'.

## 5. OBJETIVOS

### GENERAL

Evaluar el efecto de una composta y suplementos nutricionales, enriquecidos con silicio, en la calidad de tallos florales e incidencia de plagas y enfermedades durante el desarrollo del cultivo y vida postcosecha.

### ESPECÍFICOS

- Elaborar y caracterizar física y químicamente una composta rica en silicio.
- Evaluar la incidencia de las plagas *Tetranychus urticae*, *Frankliniella occidentalis*, *Spodoptera* sp, *Macrosiphum rosae* y la enfermedad *Podosphaera pannosa* en cultivo de rosa con nutrición diferencial de silicio.
- Evaluar la incidencia de la enfermedad *Botrytis cinerea* en vida postcosecha de rosa con nutrición diferencial de silicio.
- Evaluar las variables de calidad (grosor de tallo, largo de tallo, alto de botón y diámetro ecuatorial del botón) de tallos florales de rosa cultivada con nutrición diferencial de silicio.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Lugar de experimentación

El experimento se realizó en invernaderos del Centro Universitario UAEM Tenancingo, de la Universidad Autónoma del Estado de México, localizados a 18° 58' 00" N, 99° 36' 44" O y altitud de 2060 metros sobre el nivel del mar. El invernadero es de tipo cenital de 10 metros de ancho, cubierto con plástico blanco lechoso de 30 % de sombra (figura 4).



Figura 4. Lugar de experimentación ubicado en el CU UAEM Tenancingo, Estado de México. Vista frontal del invernadero dónde se establecieron las plantas de rosa y contenedores donde se elaboró la composta.

## 6.2. Elaboración de la composta

La composta se elaboró de agosto a octubre de 2019 bajo un sistema cerrado o de contenedor (Román *et al.*, 2013), para el cual se utilizaron tambos de plástico de 200 L de capacidad con llave en su parte inferior para drenar lixiviados (figura 5). Los componentes y proporciones de la composta (cuadro 7) fueron de acuerdo con González (2018) y Pichardo (2018), donde el suplemento con silicio se obtuvo de plantas ricas en silicio (Fernández *et al.*, 2009) recolectadas en la región (cuadro 8).



Figura 5. Sistema recolector de lixiviados colocado debajo de los tambos de composta

**Cuadro 7.** Cantidades de materia prima empleadas en los tratamientos de compostas (con y sin aporte de silicio). Fuente: González (2018) y Pichardo (2018).

<b>Materias primas</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Composta sin aporte de silicio (testigo)</b>	<b>Composta con aporte de material vegetal rico en silicio</b>
Paja de avena ( <i>Avena sativa</i> L.)	kg	8	3
Papiro ( <i>Cyperus papyrus</i> L.)	kg	0	1.5
Cola de caballo ( <i>Equisetum hyemale</i> L.)	kg	0	3.5
Suelo de montaña	kg	2.5	2.5
Estiércol de borrego	kg	5	5
Microorganismos aceleradores	L	0.125	0.125
Melaza	L	2	2
Agua	L	20	20

**Cuadro 8.** Ubicación y coordenadas de la recolección del material vegetal empleado en la elaboración de los ensayos de compostas.

<b>Materia vegetal</b>	<b>Localidad</b>	<b>Coordenadas</b>
<i>Equisetum hyemale</i> L.	Santa Ana	99° 37' 47" O, 18° 58' 33" N y 2095 msnm.
	Ixtlahuatzingo,	99° 37' 24" O, 18° 58' 00" N y 2079 msnm.
	Tenancingo, Estado	99° 37' 47" O, 18° 58' 33" N y 2095 msnm.
	de México.	99° 37' 22" O, 18° 58' 42" N y 2104 msnm.
<i>Cyperus papyrus</i> L.	Zinacantepec,	99° 43' 19" O, 19° 17' 59" N y 2738 msnm.
	Estado de México.	
	Villa Guerrero,	99° 38' 53" O, 18° 57' 32" N y 2126 msnm.
	Estado de México.	

El material vegetal de *E. hyemale* y *C. papyrus*, se secaron al aire libre hasta un contenido de humedad final de 20 %. Posteriormente se trituró con una picadora (Modelo IMPD6RMMGI, INGAR® México), a un tamaño de partícula aproximado de 5 mm para facilitar el proceso de compostaje (figura 6).



Figura 6. Reducción de tamaño de partícula del material vegetal utilizado para la elaboración de la composta

El material triturado se mezcló con avena comercial forrajera (*Avena sativa*) cuya función fue contribuir a mejorar la estructura y aireación al sistema. Al ser un proceso de compostaje cerrado (Román *et al.*, 2013), se emplearon microorganismos (no descritos por el obtentor) provistos por la empresa Proyectos Agroecológicos Organicorp, México, suelo andosol de la región y melaza disuelta en agua como fuente de azúcares para la supervivencia de los microorganismos. Como fuente de nitrógeno se incorporó estiércol de borrego, proveniente de una granja doméstica de la comunidad de Santa Ana Ixtlahuatzingo, al cual se le realizaron análisis previos del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio para comparar su composición al finalizar el compostaje.



Figura 7. Lugar de experimentación para la elaboración de la composta

### **6.3. Variables evaluadas durante el compostaje**

#### **a. Preparación de la muestra**

Se tomó una muestra compuesta de la parte media, en cada tambo, a los 14, 28 y 42 días, las cuales se tamizaron con una malla No. 200 de 0.75 mm para su posterior análisis de pH, conductividad eléctrica, porcentaje de humedad y contenido de materia orgánica.

Se emplearon como referencia la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 (lombricomposta) y la Norma NADF-020-AMBT-2011 que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal.

## b. Temperatura

La medición de la temperatura se realizó en cada tambo, con termómetro marca TFA, modelo 19.2008 (Alemania), diariamente durante la primera semana, posteriormente a los 28 y 42 días. El termómetro se colocó en cinco puntos aleatorios, registrando el promedio de los cinco valores para cada día (figura 8).



Figura 8. Registro de temperatura dentro de cada uno de los tambos de compostaje

### c. pH y Conductividad eléctrica

Se pesaron 5 g de muestra de cada tambo y se colocaron por triplicado en un vaso de precipitado, se agregaron 50 mL de agua destilada y se mantuvo en agitación (placa termomagnética, Binder®) constante durante 20 min. La medición de pH y conductividad eléctrica se realizó con potenciómetro (Hanna® Instruments modelo HI98130, México) (figura 9).



Figura 9. Medición de pH y conductividad eléctrica de los distintos tratamientos de compostas.

#### d. Porcentaje de humedad

Tres muestras de composta por tambo (o repetición), se pesaron en vasos de precipitados previamente llevados a peso constante. Los vasos con 20 g de muestra cada uno, se introdujeron a una estufa de secado con convección forzada marca Binder® (modelo FD – 23, Alemania) durante 24 horas, a una temperatura de 70±5 °C (figura 10), hasta registrar el peso constante. El cálculo del contenido de humedad se obtuvo sobre base húmeda, con la siguiente fórmula especificada en la Norma NMX-FF-109-SCFI-2008:

$$\% \text{ de humedad (base húmeda)} = \frac{(\text{peso del vaso seco} + \text{peso de la muestra húmeda}) - (\text{peso del vaso con la muestra seca})}{\text{peso de la muestra húmeda}}$$



Figura 10. Muestras, dentro de la estufa de secado, para determinar el contenido de humedad de la composta

### e. Materia Orgánica

En crisoles de porcelana, previamente llevados a peso constante, se pesaron 2 g de muestra de cada uno de los tratamientos. Posteriormente se calcinaron en mufla (marca TermoFisher® modelo Lindberg/Blue M, Estados Unidos), elevando la temperatura en 100 °C cada veinte minutos, hasta alcanzar 550±5 °C durante dos horas (figura 11). Transcurrido el tiempo se enfriaron los crisoles, con las muestras calcinadas, en el desecador, procediendo a registrar el peso y se realizó el cálculo del porcentaje de materia orgánica con la siguiente fórmula indicada en la Norma NMX-FF-109-SCFI-2008:

$$\begin{array}{l} \text{\% de materia} \\ \text{orgánica} \\ \text{(cenizas por} \\ \text{calcinación)} \end{array} = \frac{\text{peso del crisol con la muestra} - \text{peso del crisol a peso}}{\text{peso de la muestra}} \frac{\text{calcinada}}{\text{constante}}$$

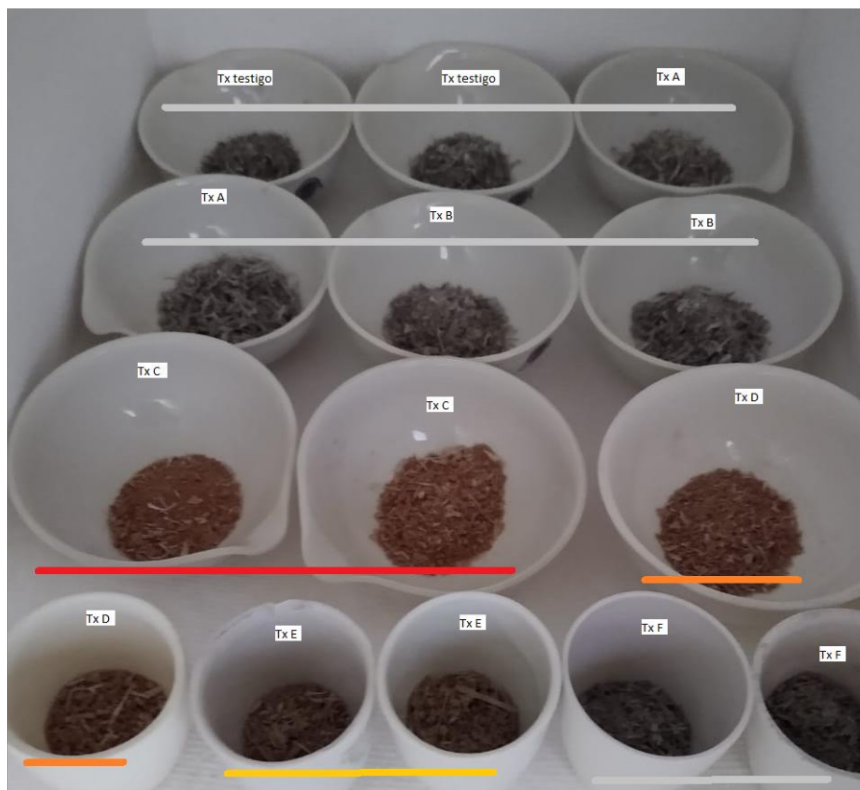


Figura 11. Muestras calcinadas, dentro de la mufla, para determinar el porcentaje de materia orgánica.

#### **f. Caracterización química de la composta**

Al finalizar los 55 días del proceso de compostaje, se realizó la evaluación de las características químicas de la composta (nitrógeno, fósforo, potasio, carbono orgánico, calcio, magnesio, hierro, boro, manganeso, cobre, zinc y silicio), siguiendo las normas NXM-FF-109-SCFI-2008, NADF-020-AMBT-2011 y NOM-021-RECNAT-2000 en las instalaciones del Laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEM, campus El Cerrito, Estado de México.

#### **6.4. Establecimiento del cultivo experimental**

Previo al establecimiento del cultivo, se realizó una caracterización física y química del suelo, en el Laboratorio de Aguas y Suelos del ICAMEX, en el conjunto SEDAGRO, Metepec, Estado de México, siguiendo la norma NOM-021-RECNAT-2000.

Del 16 al 18 de julio de 2019, se realizó la limpieza del terreno y roturación del suelo con ayuda de un motocultor (Motocultor Toro900 marca Hyundai®) y posteriormente se formaron camas a nivel del suelo, con un ancho de 90 cm (figura 12).



Figura 12. Preparación del terreno de cultivo y formación de las camas.

Se aplicó riego rodado para humedecer el suelo de las camas y se establecieron plantas del patrón de *Rosa* 'Natal briar' injertado al año anterior con *Rosa* 'Freedom'. La distancia entre plantas fue de diez centímetros, para un total de 580 plantas en dos camas separadas 1 m al centro de ellas. El porcentaje de prendimiento fue del 93 % (figura 13 a y b). Se aplicaron por drench 0.15 g/L de estimulante radicular (Raizal 4000 ®). La aplicación se repitió a los cuatro y 10 días posteriores al establecimiento del cultivo. Así mismo, se aplicó por drench nutrición con fertilizante 8-24-10 (NPK) durante los dos primeros meses después del establecimiento (1 ml/planta). Las necesidades hídricas de la planta se cubrieron con riego rodado, durante las primeras cuatro semanas, después del establecimiento del cultivo y posteriormente, se instaló la cinta de goteo calibre 1800, para continuar cubriendo las necesidades de agua del cultivo.



Figura 13. Establecimiento de cultivo provisto con riego rodado (a) y brotes (b) a los diez días de establecidos con aplicación de estimulante radicular.

## 6.5. Manejo agronómico

Se mantuvo una nutrición básica quincenal a partir de la fórmula de Steiner (1984) al 100 % (cuadro 9). El control preventivo de enfermedades (peronospora y cenicienta) se realizó empleando fungicidas comerciales como Clorotalonil 720 F ® (clorotalonil), Nubiotek S ® (azufre), Metalaxyl ® (metalaxil) y fungicidas alternativos (extractos de plantas, detergente, bicarbonato de sodio, ácido fosfórico, entre otros). Asimismo, el control preventivo de plagas (araña roja, trips, gusano verde y pulgón) se realizó empleando productos comerciales como Agrimec ® (abamectina) Acaristop 50 SC ® (clofentezine), Danisaraba ® (ciflumetofen), Oberon ® (spiromecifen), Beleaf ® (flonicamid) y una combinación de métodos y productos alternativos (aceite de soya, detergente, bicarbonato de sodio y lavado de planta). Lo anterior se realizó únicamente al inicio de la etapa vegetativa, cuando se encontraban en brotación, permitiendo siempre que las plagas y enfermedades se expresaran debidamente para realizar las mediciones indicadas en los objetivos.

**Cuadro 9.** Dosis y productos empleados en la fórmula de Steiner (1984) en 100 L de solución

<b>Nutrimiento</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>Dosis (meq/L)</b>	<b>Cantidad en 100 L</b>
Nitrato de calcio	Nitrato de Calcio Granular Soluble ®, ISAOSA.	10.8	960 g
Fosfato monopotásico	Ultrasol MPK ®, SQM.	1.2	240 g
Sulfato de magnesio	Sulfato de Magnesio Heptahidratado ®, ISAOSA.	4.8	840 g
Sulfato de potasio	Sulfato de Potasio Ultrasoluble ®, ISAOSA.	8.4	960 g
Hierro	Poliquel Fierro ®, Arysta al 9 %.	0.09	100 mL

## 6.6. Nutrición diferencial con silicio

Como complemento a la nutrición base, se aplicó la composta elaborada y productos con contenido de silicio en seis tratamientos diferentes (cuadro 10). Las dosis seleccionadas para cada uno de los productos fueron en función de las recomendaciones del fabricante para cada cultivo, como lo indicaba la ficha técnica de cada producto. La aplicación de los tratamientos se realizó de manera quincenal a partir del inicio de la etapa de formación del botón y finalizando en el corte de producción, durante al menos dos ciclos de cultivo.

**Cuadro 10.** Tratamientos empleados para nutrición diferencial de silicio.

<b>Código</b>	<b>Producto</b>	<b>Forma química</b>	<b>Vía de aplicación</b>	<b>Aporte de silicio en 100 mL de producto</b>	<b>Dosis aplicada</b>	<b>Contenido de silicio por dosis (moles)</b>
TN	Testigo negativo	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
TCF	Nubiotek Si ® Hyper	Dióxido de silicio	Foliar	9 %	8.75 mL	13.125
TFR	Nubiotek Si ® Ultra	Dióxido de silicio	Fertirriego	16 %	37.5 mL	99.375
LF	Silex ®	Dióxido de silicio	Foliar	33 %	2.5 mL	13.75
CS	Composta elaborada	Silicio	Suelo	2 %	2 kg	6.8
	Silex ®	Dióxido de silicio	Foliar	33 %	2.5 mL	13.75
CF	Silifertidol ®	Silicio elemental	Suelo	20 %	1 kg	3.33

## 6.7. Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar ( $Y_{ij} = \mu + Tx_i + B_j + \varepsilon_{ij}$ ), con cuatro repeticiones por tratamiento (figura 14) y arreglo de parcelas divididas ( $Y_{ijk} = \mu + \gamma_k + Tx_i + (\gamma T)_{ki} + B_j + (TB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$ ) para el análisis estadístico, donde una parcela corresponde a un ciclo de producción. La unidad experimental fue una planta (figura 15) y la parcela útil para disminuir los efectos bordes fue de nueve plantas.

	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
<b>Cama 1</b> (280 plantas)	T2 T1 T6 ☉ ☉ ☉	T2 T3 T4 ☉ ☉ ☉	T5 T6 T1 ☉ ☉ ☉	T3 T1 T2 ☉ ☉ ☉
<b>Cama 2</b> (280 plantas)	T5 T3 T4 ☉ ☉ ☉	T6 T5 T1 ☉ ☉ ☉	T3 T4 T2 ☉ ☉ ☉	T4 T6 T5 ☉ ☉ ☉

Figura 14. Distribución de los tratamientos, dentro del invernadero, con un diseño de bloques completos al azar.

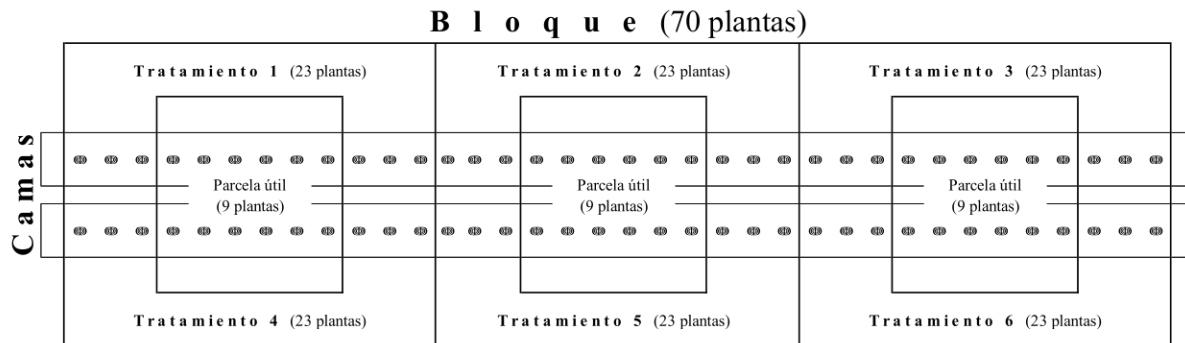


Figura 15. Parcela útil, con nueve plantas, de cada uno de los tratamientos en los distintos bloques

## **6.8. Incidencia de plagas**

### **a. Araña roja (*Tetranychus urticae*)**

A partir de la incidencia natural del ácaro y con la ayuda de una lupa cuenta hilos (Metal Linen Test ®) con aumento 5x, se realizó el conteo al inicio de la formación del botón y antes del corte de producción, contando los ácaros móviles sin sexar (modificado de Vázquez *et al*, 2016) en el envés de tres hojas (con cinco folíolos) completamente expandidas, de edad media y sin daño mecánico visible, situadas en la parte media de tres plantas de la parcela útil y se registró el número de ácaros (Vázquez *et al*, 2016).

### **b. Trips (*Frankliniella occidentalis*)**

Se permitió la incidencia natural del insecto y se realizó el conteo del número de trips móviles en tres botones florales aleatorios dentro de la parcela útil, golpeando el botón repetidas ocasiones contra una libreta de hojas blancas según la metodología modificada de Aguilar y Almedarez (2018).

### **c. Pulgón verde (*Macrosiphum rosae*)**

Por infestación natural del insecto se realizó el conteo de los tallos florales de la parcela útil y se dividió entre el número de tallos que presentaron incidencia de la plaga, a partir del inicio de la formación del botón y hasta el corte de producción, para obtener la relación de tallos dañados por tratamiento.

### **d. Gusano verde del rosal (*Spodoptera* sp.)**

Se realizó el conteo total de tallos florales, a partir de la emisión del botón floral y, se registró la presencia y daño provocado en los tallos y hojas. En caso de observarse gusanos, se registró

el tamaño y posterior crecimiento de ellos a través de las distintas mediciones de cada ciclo, sin embargo, no se incluyeron las medidas dado que el número de gusanos observados fue mínimo.

## 6.9. Incidencia de enfermedades

### a. Botritis (*Botrytis cinerea*)

Se evaluó el porcentaje de la incidencia del hongo, según la escala propuesta por Abawi y Pastor (1990), en la cual uno representa la nula presencia del hongo y nueve representa el 75 % o más de hojas con presencia de este (cuadro 11).

**Cuadro 11.** Escala para la evaluación de la incidencia del *Botrytis cinerea* Pers según Abawi y Pastor (1990).

Escala	Porcentaje de incidencia
1	0
2	5-15
3	15-25
4	25-35
5	35-45
6	45-55
7	55-65
8	65-75
9	75-100

Dicha evaluación se realizó en postcosecha (floreros a la sombra, durante 21 días), empleando cinco tallos de cada tratamiento con cuatro repeticiones cada uno (figura 16). Previamente fueron sometidos a red de frío (Sánchez, 2013) en cámara a temperatura entre 2 y 5 °C con hidratación, durante 48 horas. Así mismo, se registró la vida de florero simultáneamente. Sin embargo, las condiciones ambientales y biológicas durante los tres ciclos de cultivo no favorecieron la presencia de la enfermedad en cuestión, por lo tanto, no se reportan resultados.



Figura 16. Evaluación de incidencia de botritis y vida de florero.

**b. Cenicilla (*Podosphaera pannosa*)**

Se contabilizó la incidencia del hongo en hojas completamente expandidas de todo el tallo floral. Se seleccionaron cinco tallos de cada tratamiento, en la misma etapa fenológica, a los cuales se les contaron el total de hojas y el número de hojas completas con presencia del hongo (Domínguez, 2016). Se reportó el promedio de hojas por tallo con presencia de la enfermedad.

## **6.10. Mediciones morfológicas (calidad) de la planta**

De la evaluación de vida de florero, se tomaron tres tallos de cada tratamiento y se realizaron las mediciones siguientes por cuádruple según las metodologías sugerida por Domínguez (2016) y Vázquez *et al.* (2016) para evaluar los atributos de calidad de los tallos florales.

### **a. Grosor del tallo**

Se midió el grosor, empleando un Vernier, en la zona baja, media y alta del tallo floral y se registró el promedio de las mediciones.

### **b. Longitud del tallo**

Con una cinta métrica, se registró la longitud comprendida de la base del tallo al receptáculo del botón floral.

### **c. Largo del botón**

Empleando un Vernier, se registró el largo del botón desde los sépalos hasta el ápice floral.

### **d. Diámetro ecuatorial del botón**

Se midió en la parte más ancha del botón floral, con ayuda de un Vernier.

## **6.11. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y en las variables donde se encontraron diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ). Se hizo un análisis de correlación de las variables evaluadas. Todos los análisis estadísticos se efectuaron con el paquete INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2017).

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Análisis de suelo

De acuerdo con análisis de suelo, éste es de textura franco-arenosa, tipo andosol (Cotler *et al.*, 2016) y pH entre 5.5-6.5 (cuadro 12), características que como lo reportan Arévalo *et al.* (2013) son adecuados para el cultivo de rosas. Este tipo de suelo permite la absorción adecuada de nutrimentos por el cultivo y al tomar en cuenta la capacidad de intercambio catiónico (superior a los 4.0 meq/ 100 g), se favorece el transporte de nutrimentos (N, K, P, Ca, Mg, Fe) a la parte aérea de la planta (Arévalo *et al.*, 2013; González *et al.*, 2017).

Idrovo *et al.* (2019) mencionan que para el cultivo de rosa se requieren suelos con alto contenido de materia orgánica, superior al 4 %, los cuales favorecen la aireación y el drenado suficiente para no saturar las raíces de la planta, lo que resulta en un suelo favorable para el establecimiento del cultivo de *Rosa* sp. 'Freedom'. Por lo que, el contenido de materia orgánica en el suelo analizado fue de 2.54 % (cuadro 12), menor al reportado por la NOM-021 ya que los valores recomendados oscilan entre el 4-16 %.

Young, (2004) y González *et al.*, (2017) citan que valores de macronutrimentos superiores a 100 ppm y micronutrimentos inferiores a 100 ppm, como los obtenidos, son adecuados para el desarrollo del cultivo. Nutrimentos como el calcio, potasio y fósforo se registraron en valores acordes con la NOM-021), donde se cita que un suelo fértil tiene cantidades de nitratos y calcio similares a las observadas en esta investigación. Similarmente, los contenidos de 148.00 ppm de Na y 22.66 ppm de Fe se encuentra en los valores óptimos para la producción floral de acuerdo con (Sánchez, 2013; Franco *et al.*, 2017) al promover formación de tallos vigorosos y turgentes.

**Cuadro 12.** Análisis de suelo de sitio experimental para el cultivo de rosa (*Rosa* sp.) variedad ‘Freedom’.

VARIABLE	CANTIDAD	UNIDAD
Textura	Franco – arenoso	
pH	6.74	
Capacidad de intercambio catiónico	8.80	meq/100 g
Capacidad de campo	16	%
Materia orgánica	2.54	%
Nitrógeno total	1.20	%
Sodio	148.60	p.p.m.
Potasio	33.77	p.p.m.
Fósforo	143.00	p.p.m.
Calcio	93.40	p.p.m.
Magnesio	118.80	p.p.m.
Hierro	22.66	p.p.m.
Nitratos	0.60	p.p.m.

## 7.2. Análisis de la composta

### a. Temperaturas

En el registro de temperatura, se observó que la etapa mesófila (menor a los 45 °C) que comprendió seis días (figura 18), indicó condiciones adecuadas para el inicio de la reproducción de los microorganismos degradadores (Román *et. al.*,2013). La etapa termófila del día siete al 31, con valor máximo de 62 °C, confirma la presencia, alimentación y reproducción de los microorganismos aerobios encargados de la transformación de la materia orgánica y aumento de temperatura dentro de la pila de compostaje (Wei *et al.*, 2018).

Posteriormente, hubo un descenso de la temperatura del día 32 al 61, lo que indicó que los microorganismos concluyeron su fase reproductiva y continuaron con la degradación del material orgánico disponible, con el objetivo de lograr la maduración, la cual concluye hasta

que la pila de compostaje se iguala con la temperatura ambiente ( $25 \pm 3$  °C). Situación que no se obtuvo debido a que el compostaje se dio por terminado a los 61 días.

Malinowski *et al.* (2019) reportan que, para una adecuada maduración de la composta, es necesaria la participación de microorganismos diversos como bacterias mesófilas y termófilas, endosporas bacterianas y mohos mesófilos y termófilos, principalmente; los cuales ayudan a una adecuada mineralización de los elementos, aumento en el contenido de materia orgánica, aumento en la relación C/N. Estos factores favorecen el adecuado aprovechamiento de nutrimentos y reducen la competencia entre las bacterias fijadoras de nitrógeno, y disminución de microorganismos patógenos como estafilococos, coliformes fecales, *E. coli* y salmonela. Así mismo, otros estudios realizan una comparación entre el compostaje por lotes o tradicional donde se observó que la composta tradicional a los 27-28 días logra su punto de mayor temperatura ( $60-65$  °C), lo que concuerda con lo observado en el presente estudio. Se menciona, también, que la maduración de la composta tradicional concluye a partir del día 70, manteniéndose por debajo de los  $20$  °C (Barceló *et al.*, 2015), situación que no se registró en la composta elaborada debido que la maduración se detuvo al día 61.

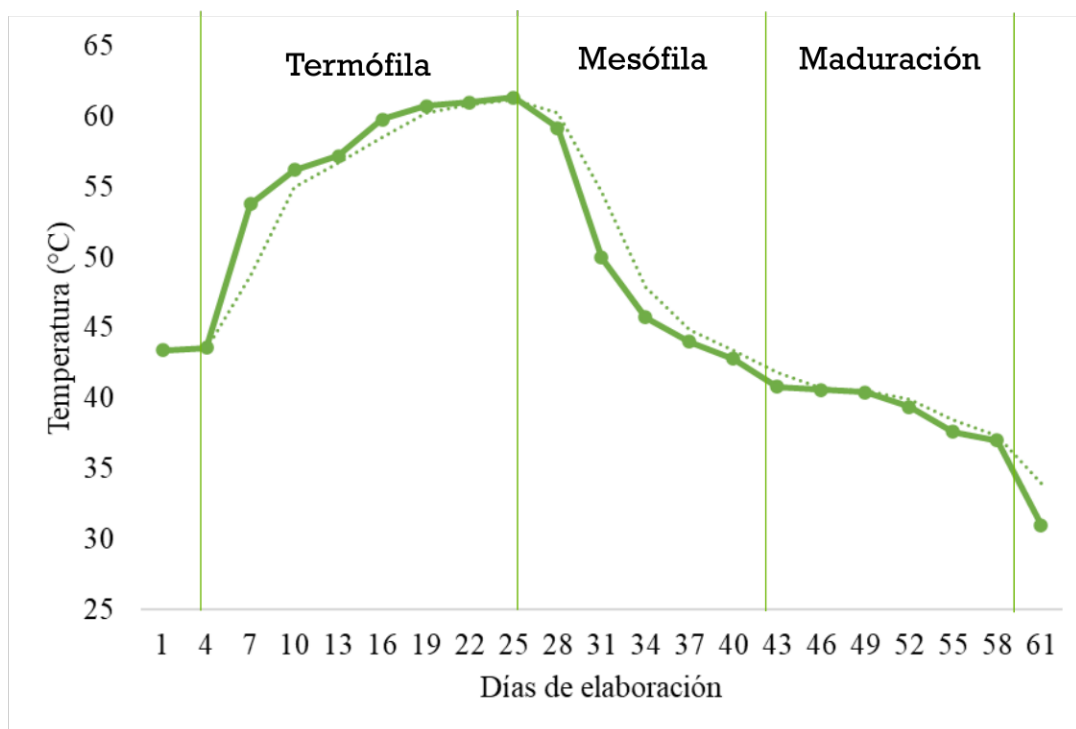


Figura 17. Promedio de temperaturas registradas durante el compostaje de material vegetal rico en silicio con estiércol de ovino, durante diciembre 2019 y enero 2020.

## b. Humedad

Román *et al.* (2013) mencionan que una composta terminada deberá contener una humedad final entre 25-40 % sobre base húmeda, la cual se promueve en toda la pila mediante un volteo uniforme y frecuente (Hernández *et al.*, 2015). El porcentaje de humedad a los 42 días de elaboración de la composta fue de 54 % (figura 19), lo que favoreció espacios de aire en el sistema que a su vez facilitaron la presencia de microorganismo aerobios para llevar a cabo la correcta degradación del material vegetal para el producto final (NMX-FF-109-SCFI-2008). Al finalizar el proceso, se registró la última medición de humedad en la pila de compostaje, de la cual se obtuvo como resultado un valor de 28 % de humedad a los 61 días de elaboración. Del mismo modo, Barceló *et al.* (2015) obtuvieron valores de humedad entre 70-75 % durante los 15 y los 50 días después de iniciada una vermicomposta y entre 67-72 % para el compostaje en pila de material vegetal o de residuos de poda, durante el mismo intervalo de días; transcurridos los 70 días de compostaje ambas compostas obtuvieron un contenido de humedad promedio de 40 %, el cual se encontraba en descenso.

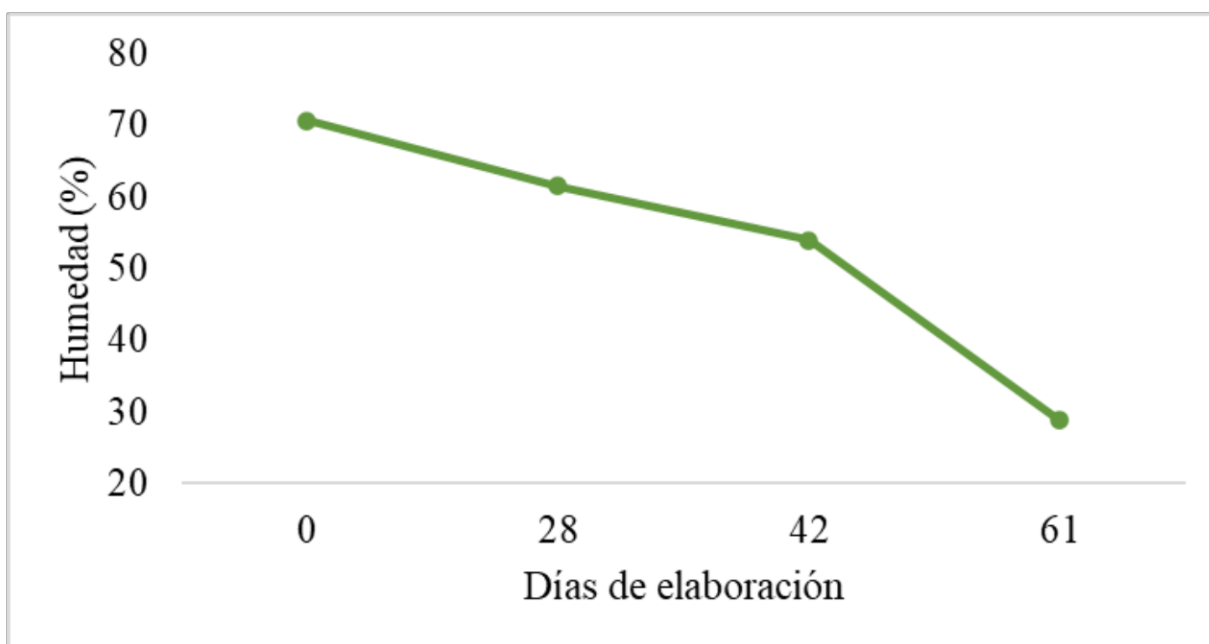


Figura 18. Promedio del porcentaje de humedad de la composta elaborada con material vegetal rico en silicio con estiércol de ovino, durante diciembre 2019 y enero 2020.

### c. pH

El pH registrado al finalizar el proceso de compostaje fue de entre 9.5 y 10 (figura 20), valores por encima de lo reportado por la literatura (Román *et al.*, 2013; Carrillo *et al.*, 2017; Sánchez *et al.*, 2017; Kamlesh *et al.*, 2019), debido probablemente al origen de la materia prima ya que Margaritis *et al.* (2018) reportan que las especies vegetales ricas en celulosa como *Cyperus papyrus*, *Equisetum hyemale* y *Avena sativa* suelen tener un pH más alcalino que los residuos sólidos urbanos debido a que se encuentran combinados con la lignina y forman polímeros altamente resistentes por su nivel de alcalinidad.

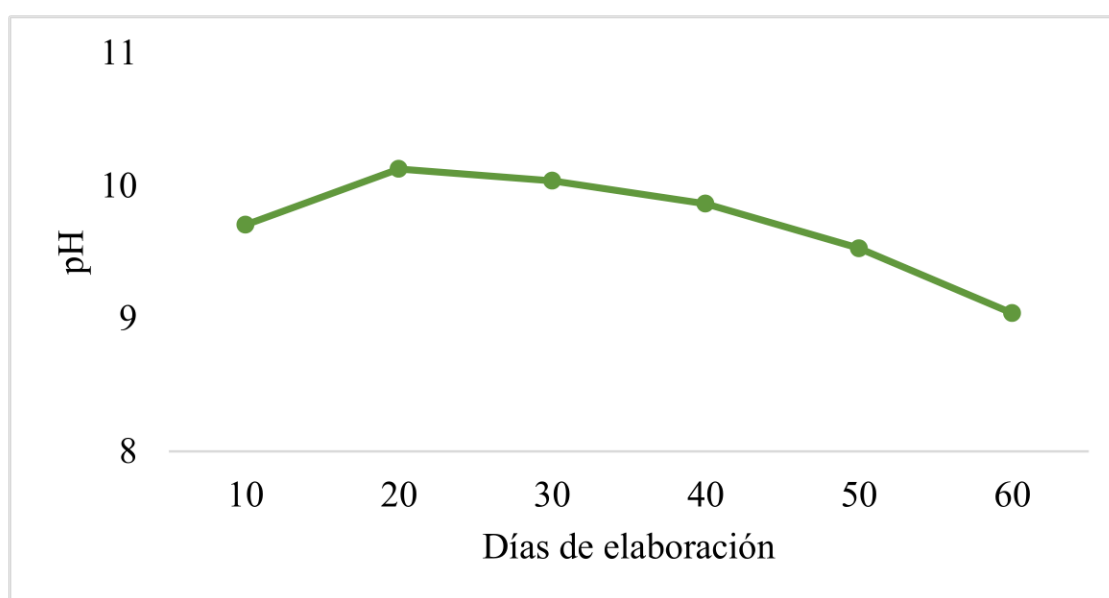


Figura 19. Registro de pH durante los 62 días de elaboración de la composta durante diciembre 2019 y enero 2020.

Resultados similares reportan Hernández *et al.* (2015) quienes elaboraron siete diferentes compostas con distintos componentes como plátano y pinzote (pinzote o raquis, según Turrado *et al.*, 2009, es la fracción de la planta adyacente al pseudotallo con la función de soportar el racimo de plátanos de las especies *Musa spp.*) resultan en pH alcalinos (9.02, 8.72 y 8.68 respectivamente) atribuyendo el resultado a los residuos lignocelulósicos los cuales tienen pH cercanos a la neutralidad (5.0-6.5) y una dificultad alta para descomponerse en fracciones menos complejas.

También se observa que a mayor tiempo de maduración de la composta el pH desciende (Román *et al.*, 2013). En la composta elaborada, se observó que 60 días después de finalizada su elaboración, el valor de pH disminuye hasta siete, confirmando lo dicho por Kamlesh *et al.*, (2019) quienes proponen un tiempo de maduración superior a los 120 días de iniciado el compostaje para estabilizar valores de pH y CE atribuido a un cese de la actividad microbiana que aún se encuentra latente en la composta (Aladjadjiyan *et al.*, 2016). Resultados similares aportan Barceló *et al.* (2015) quienes reportan pH entre 5.5-7.0 para vermicomposta y 7.0-8.5 para el compostaje tradicional, enfatiza que las vermicompostas tienen una mayor estabilidad al permanecer dentro de los límites establecidos por la NMX-109, norma en la que se basan los autores y el presente estudio.

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

Como resultado del proceso de mineralización de la materia orgánica por los microorganismos, la conductividad eléctrica aumentó de 2.9 a 4.8  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-2}$  a través de los días de compostaje (figura 21), dinámica es ligeramente elevada respecto al valor máximo recomendado por la NXM-109, que establece debe ser menor o igual a 4  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Sin embargo, Kamlesh *et al.* (2019), sugieren un aumento en el tiempo de maduración para poder disminuir los valores de conductividad eléctrica. Hernández *et al.* (2015) indican que los residuos lignocelulósicos (composta de cascarilla de palma con y sin harina de roca) con valores de 5.13 y 7.41  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , respectivamente, aumentan la salinidad de esta debido a su alto contenido de lignina y celulosa, materiales altamente difíciles de degradar mediante el uso de microorganismos. Así mismo, Carrillo *et al.* (2017) enfatizan la influencia que tiene la CE del estiércol empleado, reportan conductividad eléctrica entre 5-12  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  para el caso del estiércol de ovinos. Por lo anterior, se deduce que los factores por los que la composta elaborada obtuvo una CE superior al límite máximo permitido por la norma son el estiércol, el contenido de celulosa del material vegetal y el tiempo de compostaje. De éstos, al último, se le atribuye mayormente el hecho de una elevada CE, ya que, al no permitir la maduración de la composta durante más tiempo, la materia prima y los microorganismos no lograron disminuir dicho valor.

Resultados similares son reportados por Barceló *et al.* (2015), quienes emplearon residuos de mercado y jacinto o lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) en combinación con estiércol de borrego, al obtener CE de 3.5-4.5 dS·m<sup>-1</sup> y atribuyen valores altos (pero dentro de la NMX-109) a un alto contenido de celulosa de los residuos empleados como materia prima.

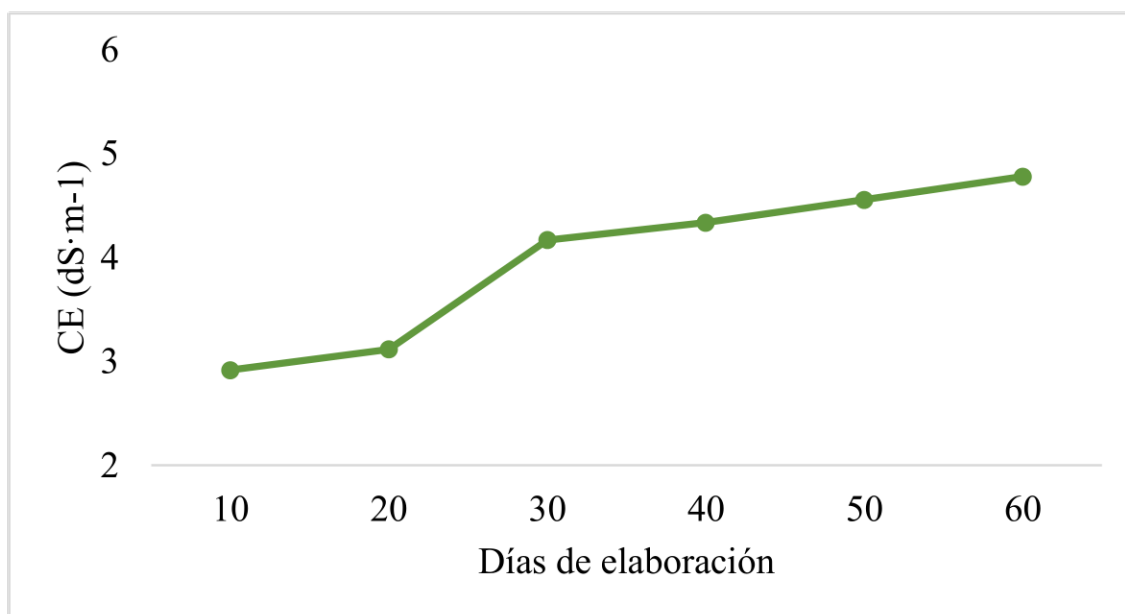


Figura 20. Conductividad eléctrica registrada durante la elaboración de la composta con material vegetal rico en silicio con estiércol de ovino, durante diciembre 2019 y enero 2020.

#### e. Materia orgánica

La evolución de la materia orgánica indicó un menor porcentaje al principio del proceso para luego incrementar hasta 50 % (figura 22) resultado que es acorde a lo que reporta la NXM-109 (2008). Hernández *et al.* (2015) indican que este aumento en el contenido de materia orgánica sucede del 10 al 40 % según las semanas de compostaje a las que sea sometido (de 8 a 10 semanas), a mayor tiempo de compostaje será mayor el contenido de materia orgánica debido al mayor tiempo al que está expuesto el material vegetal a la digestión por parte de los microorganismos.

A su vez, los microorganismos degradadores, continúan con su reproducción y digestión, lo que logra un aumento consecuente de materia orgánica (Aladjadjiyan *et al.*, 2016) y juega un papel importante en la mineralización de la materia orgánica (Hernández *et al.*, 2015). Sin embargo, Barceló *et al.* (2015) al comparar dos procesos de compostaje (tradicional y vermicomposta), reportan un contenido de materia orgánica dentro de los niveles establecidos por la NMX-109 de 35 % a los 35 días del vermicompostaje y se elevó hasta llegar al 42 % transcurridos los 70 días de, contrario al composteo tradicional que alcanzó valor de 32 % una vez finalizados los 70 días, esto debido a la acción de los anélidos quienes aceleraron el proceso de digestión de la materia orgánica.

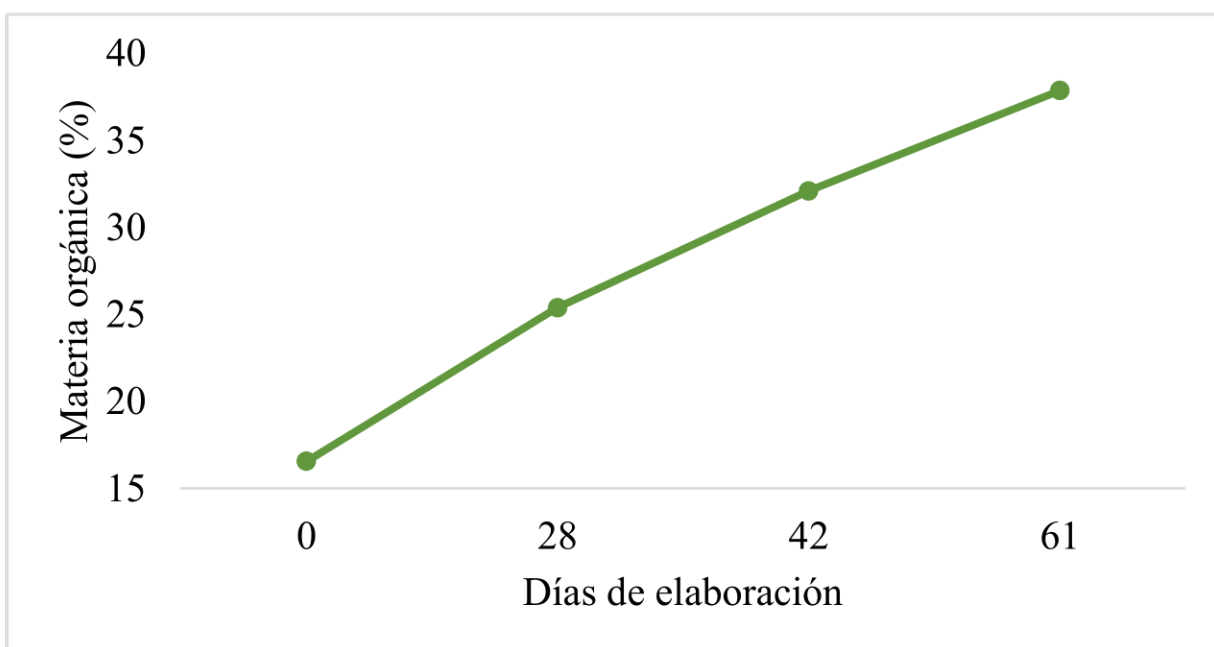


Figura 21. Registro del porcentaje de materia orgánica de las compostas durante los 62 días de elaboración de la composta elaborada con material vegetal rico en silicio con estiércol de ovino, durante diciembre 2019 y enero 2020.

#### **f. Características físicas y químicas de la composta.**

El contenido de humedad del producto final obtenido (cuadro 13), resultó de 28 % sobre base húmeda, según los análisis realizados. Dicho valor se encuentra dentro de los límites establecidos por la NMX-FF-109-SCFI-2008, con lo que se aseguró una adecuada aireación dentro de la pila de compostaje, lo que permitió disminuir la saturación del agua dentro de esta, y con ello obtener los valores adecuados para su aplicación (Bueno *et al.*, 2008).

La conductividad eléctrica determina la presencia de iones contenidos en una composta, los cuales apoyan al proceso de incorporación al suelo y absorción por las raíces de la planta (Masowa *et al.*, 2016). Se obtuvo una CE de  $4.78 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , encontrándose dentro de los límites de la NADF-020-AMBT-2011 que indica deberá contener entre 4 y  $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  pero para la NMX-FF-109-SCFI-2008 se encontraba dentro de los parámetros permitidos, por lo cual ayudó a clasificarla dentro de las compostas de calidad A y de este modo ser aplicada en el cultivo.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) según la NMX-FF-109-SCFI-2008, muestra valores dentro del rango establecido, alcanzando  $59.3 \text{ cmol/kg}$ , lo que indica un valor alto y deseable para lograr el intercambio de cationes y aniones entre el suelo y la planta y con ello mejorar la absorción de nutrientes a través de la raíz (Ortiz y Ortiz, 1990).

Román *et al.* (2013), definen la materia orgánica como el material vegetal que ha sido sintetizado y degradado por los organismos presentes en la composta, se entiende entonces que, a medida que aumenta el tiempo de compostaje, disminuye el material vegetal disponible y aumenta la materia orgánica. Por lo anterior, se obtuvieron valores de materia orgánica dentro de los límites indicados por las normas NMX-109 y NADF- 020, lo cual indica que al menos entre el 50-80 % del material vegetal ha sido degradado por los microorganismos y se encuentra disponible para su aprovechamiento y utilización.

Por otro lado, la adición de estiércol a una composta resulta en un mayor porcentaje de nitrógeno (entre 0.51 y 1.02 %) comparado con compostas sin estiércol y con adición de microorganismos aceleradores de la degradación vegetal (entre 0.21 y 0.46 %), lo cual resulta en compostas aptas para la remediación de suelos y el crecimiento y germinación de ciertas plantas (Hernández *et al.*, 2015).

**Cuadro 13.** Caracterización física y química de la composta elaborada durante los meses de diciembre 2019 y enero 2020.

<b>Parámetro</b>	<b>Valores</b>
pH	9.22
CE	4.17
CIC	59.38
% humedad	28.00
Materia Orgánica (%)	32.10
P (ppm)	1534.50
Ca (ppm)	2638.00
Mg (ppm)	339.50
% N	0.83
K (ppm)	317.00
Mn (ppm)	24.49
Si (%)	2.00

### 7.3. Incidencia de plagas

#### a. Araña roja (*Tetranychus urticae*)

Existen diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos en los tres ciclos de cultivo evaluados (cuadro 14) y la comparación de medias (Tukey = 0.05) agrupó a los tratamientos en cuatro categorías. Los tratamientos TCF y CS presentaron el mayor número de arañas respecto al resto de los tratamientos, entre siete y ocho arañas por hoja, e incluso superiores al tratamiento testigo. Para el ciclo dos, los tratamientos LF y CS presentaron menos de 0.5 arañas por hoja en comparación con el tratamiento TCF quién obtuvo el mayor número de arañas estadísticamente durante este ciclo. Para el tercer ciclo, el tratamiento TCF presentó el menor número de arañas por hoja (3.29) y el tratamiento TFR nuevamente fue uno de los que presentó mayor número de arañas (12) para este ciclo y los dos anteriores, superando nuevamente al tratamiento testigo, lo que sugiere que el silicio pudiera no ser el único factor determinante en la incidencia de la plaga.

**Cuadro 14.** Promedio de arañas durante los tres ciclos de cultivo de *Rosa* sp. variedad ‘Freedom’ al aplicar silicio en composta y productos comerciales.

Tratamiento	Arañas/cm <sup>2</sup>		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
TN: testigo negativo	3.25 ± 0.29b	0.53 ± 0.06a	7.29 ± 0.13c
TCF: testigo comercial foliar	7.78 ± 0.28c	0.93 ± 0.06b	3.29 ± 0.10b
TFR: testigo comercial fertirriego	2.01 ± 0.14b	0.46 ± 0.06a	12.65 ± 0.20d
LF: Silex® foliar	1.71 ± 0.12b	0.13 ± 0.05a	7.89 ± 0.13c
CS: composta	8.87 ± 0.20c	0.35 ± 0.05a	6.05 ± 0.10c
CF: combinación Silex® (foliar) con Silifertidol® (suelo)	1.35 ± 0.16b	0.60 ± 0.06a	9.11 ± 0.12c

Promedios y error estándar. Valores con misma letra, son iguales estadísticamente (Tukey = 0.05).

El tratamiento LF del ciclo uno disminuyó su número para el ciclo dos, y elevó su número nuevamente para el ciclo tres, lo que sugiere que la estacionalidad tiene cierta influencia al momento de promover o limitar la absorción del silicio. Comportamiento similar con el tratamiento CF quien presentó el mismo comportamiento. Sin embargo, el tratamiento TCF, con un aporte inferior de silicio que los dos tratamientos anteriores, a pesar de presentar la misma tendencia, el valor del ciclo tres resultó ser el que presentó menor incidencia de los tratamientos aplicados. Los comportamientos anteriores sugieren una influencia del clima con respecto a los tratamientos, ya que la estación en la que se desarrollaron el ciclo uno y tres fueron estaciones frías (invierno y otoño, respectivamente) y el ciclo dos fue durante la primavera, así mismo, también influye el grado de infestación de la plaga en el cultivo.

Por lo anterior, en el ciclo uno comprendido entre los meses de noviembre de 2019 y febrero de 2020, se observó que la aplicación de silicio por vía foliar en concentraciones superiores al 33 % (33 mg/kg), como el caso de los tratamientos LF y CF, refleja una menor incidencia de araña roja (figura 22) contrario a la aplicación de concentraciones del 9 % (tratamiento TCF).

Para los meses de febrero a abril de 2020, que comprenden el segundo ciclo de cultivo, el número total de arañas fue menor a una araña/cm<sup>2</sup> (figura 22) y se obtuvo que la aplicación del 33 % de silicio por vía foliar (tratamiento LF) registra un menor número de arañas. Por el contrario, el tratamiento TCF, con un porcentaje de 9 % de silicio, presentó un mayor contenido de arañas y, en consecuencia, un menor control de la plaga.

En los meses de junio a agosto, que comprenden el tercer ciclo de cultivo, la aplicación del 9 % de silicio por vía foliar (tratamiento TCF) reflejó un mejor control de la araña y un porcentaje mayor de silicio (tratamientos LF y CF) no repercutió en la disminución de la plaga. Del mismo modo, el tratamiento TFR con un 13 % de silicio por vía radicular (drench) mostró el número más elevado de arañas (32 arañas/cm<sup>2</sup>) durante los tres ciclos de cultivo evaluados, lo que sugiere que la aplicación de silicio por vía radicular no tiene efecto en la disminución de esta plaga o tal vez no existan los factores que promuevan una correcta absorción del mineral en cuestión como lo son pH ácidos (4.5-5.5).

Asimismo, la figura 22 describe las condiciones climáticas presentes durante los distintos ciclos de cultivo. Se observa que, durante el ciclo uno y dos, la temperatura mínima registró un promedio de 10 °C lo que disminuye la supervivencia de los huevecillos de la plaga (Kaur y Zalom, 2017). A la vez que el promedio de temperatura máxima osciló entre los 25-30 °C lo cual es favorable para la movilidad y reproducción de la plaga, pero al no existir supervivencia de huevecillo se explica el número tan bajo de ácaros registrado durante las mediciones. Por otro lado, durante el tercer ciclo se observa un número elevado de arañas debido a que el promedio de la temperatura mínima se encontró por encima de los 10 °C lo que facilitó la supervivencia de huevecillos y reproducción de adultos, así mismo, el promedio de temperatura máxima no superó los 32 °C lo que también favoreció para registrar conteos numerosos de la plaga y así observar un efecto por parte de los tratamientos.

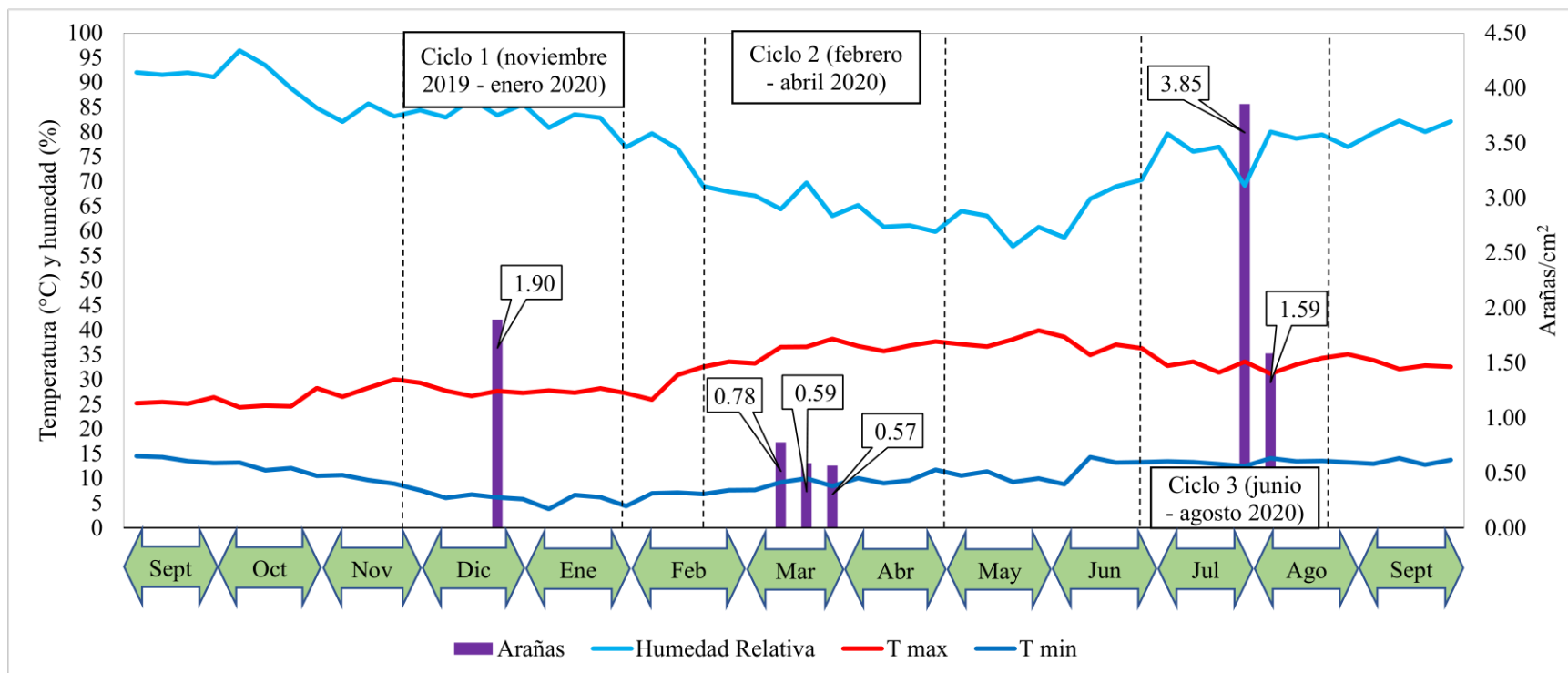


Figura 22. Registro de variables climáticas durante 52 semanas, entre septiembre 2019 y septiembre 2020, y valor promedio del número de arañas registradas en cada ciclo de cultivo de *Rosa* 'Freedom'.

Chacón *et al.* (2017) mencionan que la aplicación de ciertos compuestos (como el ácido salicílico, quitosano, jasmonato, benzotiazol, dióxido de silicio y ácido ortosilícico) promueven la formación de mecanismos de defensa, así como ciertas reacciones bioquímicas en la planta que ayudan a reducir diversas formas de estrés, así como daños mecánicos ocasionados por algunas plagas. Lo anterior debido al engrosamiento de la cutícula y epidermis de las hojas, promovido por el silicio y el quitosano, lo que reduce la acción mecánica de la araña roja al disminuir la actividad de su aparato bucal. Del mismo modo, Savvas *et al.* (2009), mencionan que la aplicación de silicio por vía foliar muestra una mayor absorción en especies como la calabaza y el tomate, pero con su aplicación en cantidades elevadas, como en el tratamiento LF en el tercer ciclo de cultivo, reduce su efecto contra factores de estrés biótico y abiótico.

El comportamiento del tratamiento LF es explicado por lo que reportan Savvas *et al.* (2009) y Toresano *et al.* (2012), mencionan que el efecto en la aplicación de silicio por vía foliar y al suelo, se ve influenciado por su concentración, reportan que la adición de ácido monosilícico ( $H_4SiO_4$ ) al suelo en cantidad superior a los 3 ppm y por vía foliar como dióxido de silicio ( $SiO_2$ ) en cantidad de 1.0 mM provocan una saturación del elemento dentro de la planta lo que imposibilita la absorción del mismo.

Además de la aplicación de silicio por vía foliar, también puede ser por vía radicular, la cual deberá suministrarse en cantidades superiores a los dos kilogramos por metro lineal de modo que aseguren la absorción lenta y constante por las raíces de la planta. Para el caso de la composta elaborada, la cual obtuvo un contenido de 2 mg/kg de silicio, la cantidad de este no fue suficiente para satisfacer las necesidades radiculares de la planta y así lograr que se transporte de la raíz a las hojas y la cutícula, además de otros factores como el tiempo de mineralización, el cual no fue suficiente, así como también el pH de la composta aplicada el cual superó el valor de 8.0 cuando el silicio es mejor absorbido en presencia de pH entre 4.5-5.5 (Zucol, 2001; Arcos *et al.*, 2007; Fernández *et al.*, 2009).

### b. Trips (*Frankliniella occidentalis*)

Del análisis de la varianza durante los dos ciclos de cultivo evaluados indica que existen diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos, situación que se confirma en el análisis de diferencia de medias (Tukey = 0.05) que agrupa a los tratamientos a través de los ciclos en dos grupos de homogeneidad. Durante el primer ciclo de cultivo el tratamiento LF fue presentó el mayor número de trips por botón (9.5), con un comportamiento similar en el segundo ciclo, dónde fue el segundo con mayor número de trips (2.8), antecedido por el tratamiento CS con 2.9 trips por botón. De este ciclo también se destaca al tratamiento CS, con 1.5 trips por botón, dado que fue el tratamiento con el menor número de insectos, sin embargo, no presenta diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) al resto de los tratamientos dentro de ese ciclo. Por su parte durante el ciclo dos, el menor número de trips (1.97) lo registró el tratamiento sin aplicación de silicio y el tratamiento CS registró el mayor número de trips (2.94) del ciclo, sin embargo, dichas diferencias en ambos ciclos de cultivo no fueron estadísticamente diferentes (Tukey = 0.05) con excepción del tratamiento LF del ciclo uno. Se observó que la aplicación de silicio (por vía foliar y radicular) no ejerce ningún efecto sobre la disminución de esta plaga, sin embargo, es recomendable repetir el estudio y poner especial énfasis en el insecto.

**Cuadro 15.** Promedio de trips (*Frankliniella occidentalis*) durante los tres ciclos de cultivo de *Rosa* sp. variedad 'Freedom' al aplicar silicio en composta y productos comerciales.

Tratamiento	Trips/botón	
	Ciclo 1	Ciclo 2
TN: testigo negativo	2.29 ± 0.69 a	1.97 ± 0.12 a
TCF: testigo comercial foliar	2.57 ± 0.48 a	2.32 ± 0.08 a
TFR: testigo comercial fertirriego	4.66 ± 0.73 a	2.29 ± 0.10 a
LF: Silex® foliar	9.56 ± 0.38 b	2.87 ± 0.09 a
CS: composta	1.59 ± 0.62 a	2.94 ± 0.11 a
CF: combinación Silex® (foliar) con Silifertidol® (suelo)	3.95 ± 0.10 a	2.02 ± 0.20 a

Promedios y error estándar. Valores con misma letra, son iguales estadísticamente (Tukey = 0.05).

Al respecto Rashid *et al.* (2019) mencionan que la absorción de silicio sucede desde la raíz y llega a las partes aéreas de la planta, depositándose en las hojas y las paredes celulares y, en el caso de las gramíneas, también se deposita en la corteza del grano. Lo anterior explica los resultados obtenidos, ya que Loera *et al.* (2018) mencionan que las especies de trips tienen preferencia para depositarse en los capítulos florales, desde la formación del botón hasta el final de la floración y provoca daño mecánico en los pétalos.

Además de lo mencionado por Loera *et al.* (2018) quienes reportan que el complejo de especies de trips (*Frankliniella occidentalis*, *Taeniothrips simplex* y *Haplothrips* sp.) encontradas en los estados de México y Morelos presentan alta resistencia a los acaricidas de síntesis química como los organofosforados, piretroides, fiproles, entre otros, así como acaricidas de origen botánico. Siendo la especie *Frankliniella occidentalis* y otras más (cómo *F. brunnescens*, *F. aurea*, *F. chamulae*, *F. dubia*, *F. lichenicola*, *F. minuta*, *F. simplex*, *F. syringae*, y *F. toluensis*), la más presente en variedades de la especie *Rosa* cultivada en el Estado de México (Juárez, 2014) por lo cual se entiende la inefectividad de los tratamientos ante esta plaga y sus distintas variedades. Por lo anterior, Fernández (2019) realizó la evaluación de diferentes repelentes botánicos sobre *F. occidentalis* en rosa de corte de distintas variedades y reportó que el control de trips no debe realizarse solamente con productos botánicos, acaricidas químicos o fitófagos, sino que debe ser complementada con un manejo integrado que contemple también el control físico y control cultural, aparte del control químico de la plaga. Se concluye, entonces, que la aplicación de silicio no tiene influencia sobre trips debido a que la acumulación de este mineral se da mayormente en las hojas, por lo que se recomienda realizar un manejo integral de la plaga para disminuir los daños provocados por el insecto.

**c. Pulgón verde (*Macrosiphum rosae*)**

Se destaca que el tratamiento con la composta elaborada enriquecida con silicio (CS) presentó en promedio 22 tallos con presencia de pulgones en el primer ciclo y un promedio de 15 tallos para el segundo ciclo (cuadro 16), atribuido probablemente a la disminución de la temperatura durante el ciclo dos ya que fue un ciclo invernal. sin embargo, esto no representó una disminución significativa por el efecto del resto de los tratamientos quienes también presentaron un contenido alto de tallos dañados. Por lo anterior, únicamente se coloca la tabla con los promedios de las mediciones, y su error estándar, pero no se incluye el análisis de medias de Tukey ya que no tenía razón su elaboración al no presentar diferencias estadísticas en el análisis de varianza.

**Cuadro 16.** Promedio de pulgones (*Macrosiphum rosae*) durante los dos ciclos de cultivo de *Rosa* sp. variedad 'Freedom' al aplicar silicio en composta y productos comerciales.

Tratamiento	Tallos con presencia	
	Ciclo 1	Ciclo 2
TN: testigo negativo	18.35 ± 0.55	14.31 ± 1.13
TCF: testigo comercial foliar	19.84 ± 0.54	13.86 ± 1.20
TFR: testigo comercial fertirriego	15.39 ± 0.54	12.55 ± 1.04
LF: Silex® foliar	14.93 ± 0.52	13.05 ± 1.02
CS: composta	21.67 ± 0.57	15.00 ± 1.03
CF: combinación Silex® (foliar) con Silifertidol® (suelo)	22.13 ± 0.56	13.05 ± 1.15

Promedios y error estándar.

No existe un efecto diferenciado de cada uno de los tratamientos entre ciclos (figura 23). No obstante, el tratamiento TFR, que suministró 9 % de silicio por vía radicular, al igual que el

tratamiento LF, con 33 % por vía foliar, registraron el menor número de tallos con presencia de la plaga. Llama la atención que el tratamiento LF, el cual ha sido quien ha demostrado mejor control en el resto de las plagas, ahora se iguale con el tratamiento TFR quien ha sido el que ha presentado menor control en cada una de las plagas y enfermedades evaluadas.

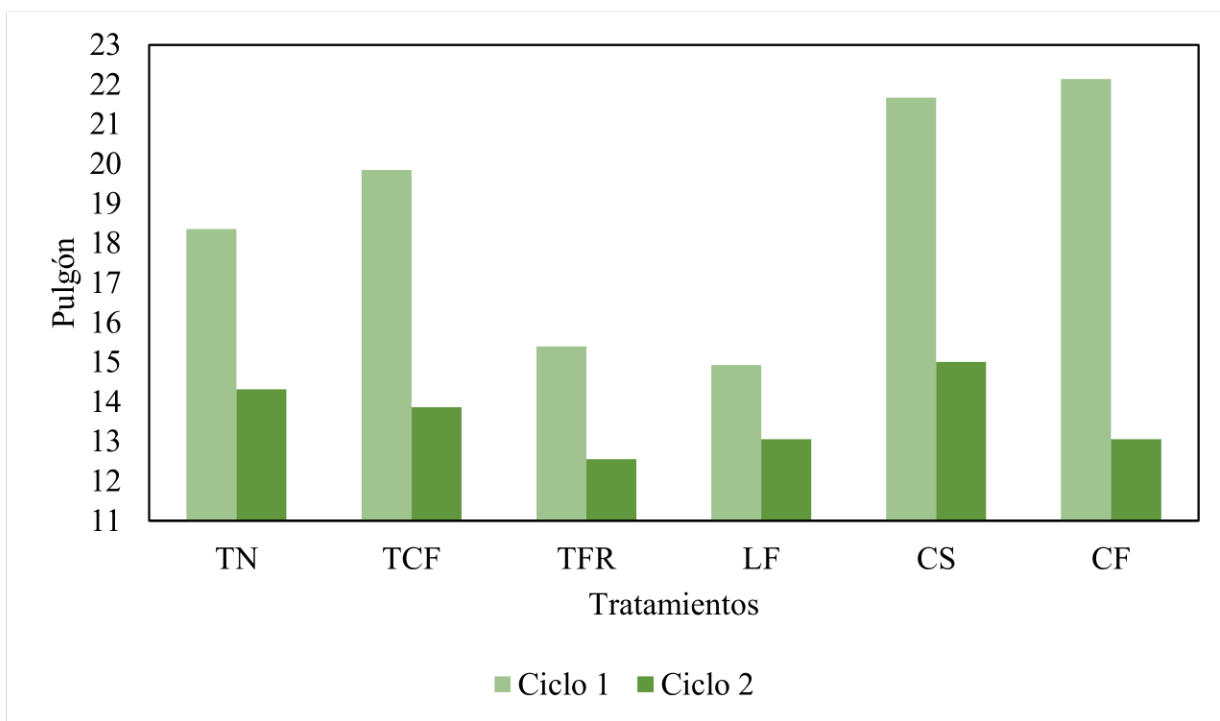


Figura 23. Gráfica de barras del comportamiento de los tratamientos entre los ciclos evaluados para pulgón (*Macrosiphum rosae*).

Rashid *et al.* (2019) citan que la absorción de silicio por parte de la raíz de las plantas y su posterior disposición en las hojas y los tallos es mediante depósitos fitolíticos en las hojas a fin de lograr una acumulación de abajo hacia arriba, es decir, de las partes más viejas de la planta a las más jóvenes, sin embargo, esto no se pudo cuantificar debido a las limitantes de tiempo del presente trabajo. Esto es importante ya que Aguilar y Almendarez (2018) refieren que los insectos de la especie en cuestión tienen preferencia a depositarse en los ápices meristemáticos o brotes tiernos de la planta, los cuales aún no cuentan con la suficiente acumulación de silicio en sus estructuras que los provea de protección contra el daño mecánico ocasionado por la plaga. Modarres *et al.* (2018) sugieren que la mejor alternativa para controlar y eliminar la presencia de *Macrosiphum rosae* en *Rosa* cv. ‘Vendeta’ es el uso de aceites esenciales y extractos de

plantas como el orégano, romero y tomillo con un porcentaje del 90 % de la letalidad de la plaga. Sin embargo; éste último extracto demostró mejor control de la plaga en condiciones de laboratorio, logrando una letalidad de la plaga del 90 %, letalidad superior al 86 % que presentó el extracto de tomillo. Sin embargo, Golizadeh *et al.*, 2017 y Gullino *et al.* (2020) mencionan que, además del manejo químico de las plagas, es necesario combinar las prácticas agrícolas convencionales con las alternativas del manejo cultural, dentro de la que se incluye la incorporación del silicio en la nutrición a fin de ayudar a la planta a fortalecer sus estructuras para defenderse del ataque de plagas y enfermedades.

#### **d. Gusano verde del rosal (*Spodoptera* sp.)**

El análisis de la varianza indica que existen diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ), por lo que se procedió a realizar el análisis de diferencia de medias (Tukey = 0.05) del cual se obtuvo que las diferencias existentes son respuesta a los ciclos de cultivo y no a los tratamientos aplicados, donde; en el ciclo uno, se presentó menor incidencia de la plaga estadísticamente, contrario al ciclo dos dónde el número de insectos resultó elevado. Lo anterior se puede observar en el cuadro 17 dónde el tratamiento TN en el ciclo uno es estadísticamente diferente al resto de los tratamientos en ese ciclo, pero no presenta diferencias significativas entre los tratamientos del ciclo dos, el cual presentó en promedio entre dos y cinco tallos con daño mecánico por el insecto. Cabe destacar que las diferencias aritméticas son importantes de considerar, ya que los tratamientos con mayor porcentaje de silicio (LF y CF) en el ciclo uno fueron aquellos que presentaron el menor número de tallos dañados.

**Cuadro 17.** Promedio de gusano verde (*Spodoptera* sp.) durante los dos ciclos de cultivo de *Rosa* sp. variedad ‘Freedom’ al aplicar silicio en composta y productos comerciales.

Tratamiento	Tallos dañados	
	Ciclo 1	Ciclo 2
TN: testigo negativo	2.54 ± 0.16 b	2.45 ± 0.25 b
TCF: testigo comercial foliar	1.44 ± 0.27 a	4.92 ± 0.18 b
TFR: testigo comercial fertirriego	0.95 ± 0.24 a	4.23 ± 0.48 b
LF: Silex® foliar	0.67 ± 0.10 a	3.34 ± 0.18 b
CS: composta	0.76 ± 0.18 a	3.52 ± 0.21 b
CF: combinación Silex® (foliar) con Silifertidol ® (suelo)	0.62 ± 0.09 a	2.74 ± 0.15 b

Promedios y error estándar. Valores con misma letra, son iguales estadísticamente (Tukey = 0.05).

Durante los cuatro conteos realizados en cada ciclo de cultivo se observa una tendencia a aumentar el número de tallos dañados a través del tiempo. Cabe destacar que el promedio de tallos dañados durante los meses cálidos (mayo-junio) fue menor (dos tallos) con respecto del ciclo dos que se desarrolló en los meses húmedos (agosto-septiembre) el cual registró un promedio de cinco tallos dañados.

Al respecto, Flores (2019) menciona que las condiciones adecuadas para el desarrollo de la especie *Spodoptera* se presenta a una temperatura promedio de 26 °C y humedad relativa del 80 %, lo cual confirma los resultados observados ya que dichas condiciones climáticas se presentaron durante el segundo ciclo de cultivo (figura 24) lo que confirma el número elevado de tallos dañados; contrario al ciclo uno en el cual la humedad relativa osciló entre los 65 % y el promedio de temperatura fue de 35 °C, lo que también ayudó a mantener en niveles bajos el daño mecánico. Sin embargo, dichas condiciones no fueron determinantes para obtener diferencias significativas entre ciclos ni entre tratamientos.

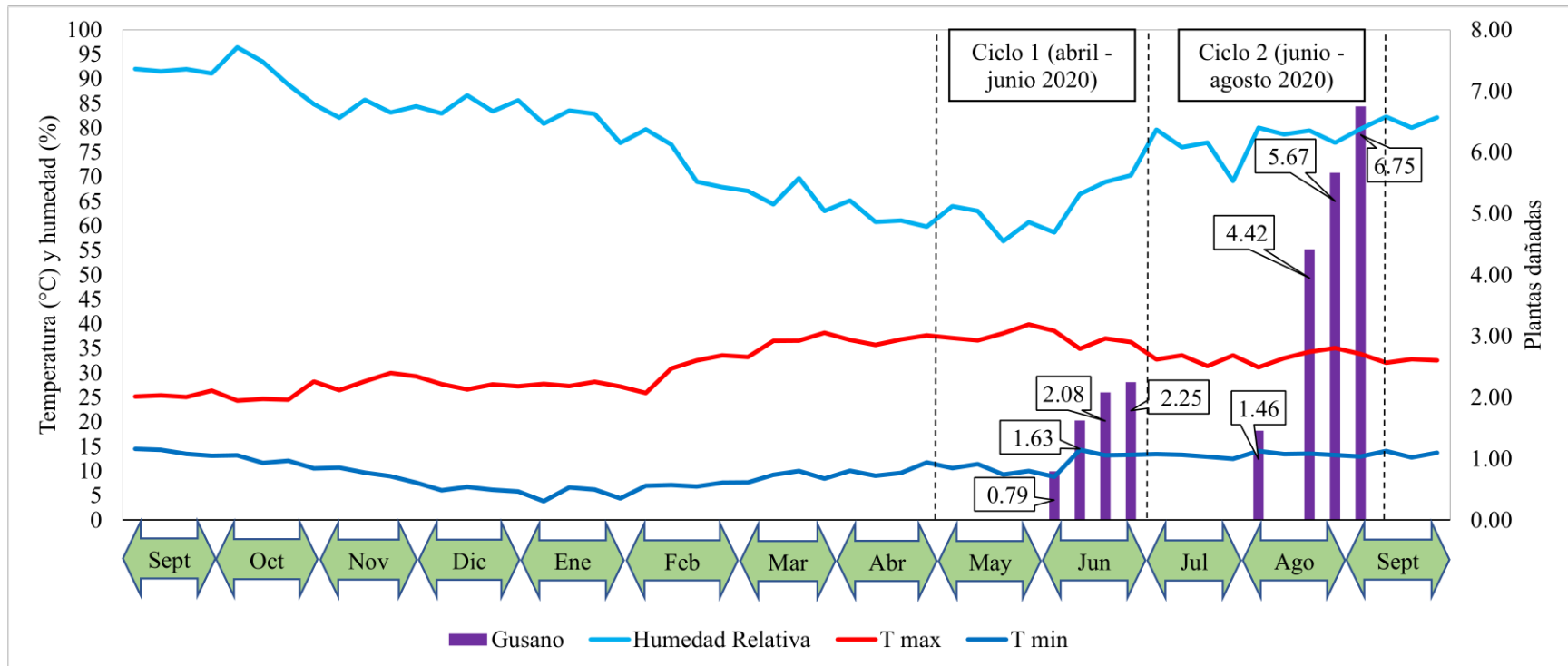


Figura 24. Registro de variables climáticas durante 52 semanas, entre septiembre 2019 y septiembre 2020, y valor promedio del número de plantas con presencia de gusano en cada ciclo de cultivo de *Rosa* 'Freedom'.

Day *et al.* (2017) reportan pérdidas entre el 21 y 53 %, en el caso del cultivo de maíz, por ataque de lepidópteros (como la especie *Spodoptera*) por lo que se busca disminuir sus daños a través de la siembra de variedades resistentes, así como el uso de plaguicidas de síntesis química, a pesar de los daños que éstos provocan al productor y la formación de resistencia por parte de las diferentes plagas. Por otro lado, Ukoroije *et al.* (2020) reportan que el uso de bioinsecticidas, como: extracto de ruda (*Ruta chalepensis*), alcaloides de madreleña (*Lonicera maackii*), saponinas de duraznillo negro (*Cestrum parqui*) y extractos de alfalfa (*Medicago sativa*); reducen la capacidad de oviposición, crecimiento, alimentación y reproducción de larvas de distintas especies de *Spodoptera*.

Pese a lo anterior, Gullino *et al.* (2020) mencionan que el manejo de plagas no debe consistir solamente en el control químico, sino la modificación de prácticas agrícolas básicas (nutrición, riego, fertilización, control climático del invernadero, densidad de siembra) y la implementación de fitófagos y entomopatógenos que ayuden a controlar las condiciones que se presentan dentro del invernadero así como la expresión de la plaga dentro de éste.

Sreedhar *et al.* (2020) identificaron once especies de insectos que atacan a las ornamentales, dentro de las que destacan los lepidópteros de la especie *Spodoptera* sp. misma que ocasiona cuantiosos daños y pérdidas a los cultivos. Para lo cual, Doğan *et al.* (2019) proponen que el futuro en el control de plagas que afectan a los cultivos de México, principalmente especies de crisantemo y rosa, consiste en el control biológico y el uso de insectos y microorganismos entomopatógenos.

En otros estudios, la aplicación de elicitors como el ácido jasmónico, el ácido tecuazónico y las proteínas Cry1Ac y Cry2Ab de *Bacillus thuringiensis* han demostrado una disminución en la longevidad de *Spodoptera* así como una letalidad de los huevecillos y las larvas de algunos insectos y ácaros que en combinación con otros compuestos como ácido salicílico, dióxido de silicio y compuestos volátiles orgánicos brindan protección a la planta mediante los mecanismos de señalización y defensa de las plantas (Aguilar *et al.*, 2017; Gómez *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2019).

## 7.4. Incidencia de enfermedades

### a. Cenicilla (*Podosphaera pannosa*)

Los tratamientos aplicados presentan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre sí, tal que la aplicación de silicio por vía foliar presentó el menor número de hojas con daño por cenicilla, en ambos ciclos de cultivo. Por otro lado, se observa (cuadro 18) que el tratamiento de silicio por drench (TFR) y el tratamiento con la composta elaborada (CS) presentaron el mayor número de hojas con presencia de cenicilla siendo estadísticamente iguales con el tratamiento sin fuente de silicio (TN) quién presentó una incidencia promedio de cuatro hojas dañadas en ambos ciclos de cultivo. La comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) indicó que el tratamiento TCF fue diferente de los demás con menor incidencia, seguido por el tratamiento LF y posteriormente el tratamiento CF quiénes pertenecen al mismo grupo de homogeneidad de medias y, el resto de los tratamientos (TN, TFR y CS) presentaron diferencias significativas entre sí pero con la incidencia más alta.

**Cuadro 18.** Promedio de hojas con presencia de cenicilla (*Podosphaera pannosa*) durante los dos ciclos de cultivo de *Rosa* sp. variedad ‘Freedom’ al aplicar silicio en composta y productos comerciales.

Tratamiento	Hojas dañadas	
	Ciclo 1	Ciclo 2
TN: testigo negativo	3.48 ± 0.07 d	4.92 ± 0.09 e
TCF: testigo comercial foliar	0.45 ± 0.06 a	0.45 ± 0.09 a
TFR: testigo comercial fertirriego	3.60 ± 0.07 d	3.41 ± 0.11 d
LF: Silex® foliar	0.99 ± 0.08 b	0.99 ± 0.10 b
CS: composta	3.56 ± 0.09 d	4.32 ± 0.08 e
CF: combinación Silex® (foliar) con Silifertidol ® (suelo)	0.80 ± 0.07 b	1.77 ± 0.07 c

Promedios y error estándar. Valores con misma letra, son iguales estadísticamente (Tukey = 0.05).

El promedio de humedad registrado durante las semanas de experimentación fue del 70 %, promedio de 30 °C para la temperatura máxima y 10 °C en promedio para la temperatura mínima registradas (figura 25). Durante los ciclos de cultivo evaluados, se presentaron condiciones favorables para la germinación de esporas de *Podosphaera pannosa* (temperatura entre 24°-28 °C, humedad relativa superior al 90 % durante dos horas). Para el primer ciclo de cultivo, se registró un promedio de HR del 60 % y una temperatura máxima promedio de 30 °C, dichas condiciones favorecieron la maduración del hongo y liberación de esporas para propagar la enfermedad. En el segundo ciclo de cultivo, también se presentaron las condiciones adecuadas para el desarrollo de la enfermedad. Se registró un promedio de humedad relativa entre el 80-85 % y un promedio de temperatura máxima entre los 25-30 °C lo cual se encuentra por encima del valor óptimo para la germinación de la espora, pero aún dentro de los valores que permiten la manifestación de la enfermedad en los cultivos.

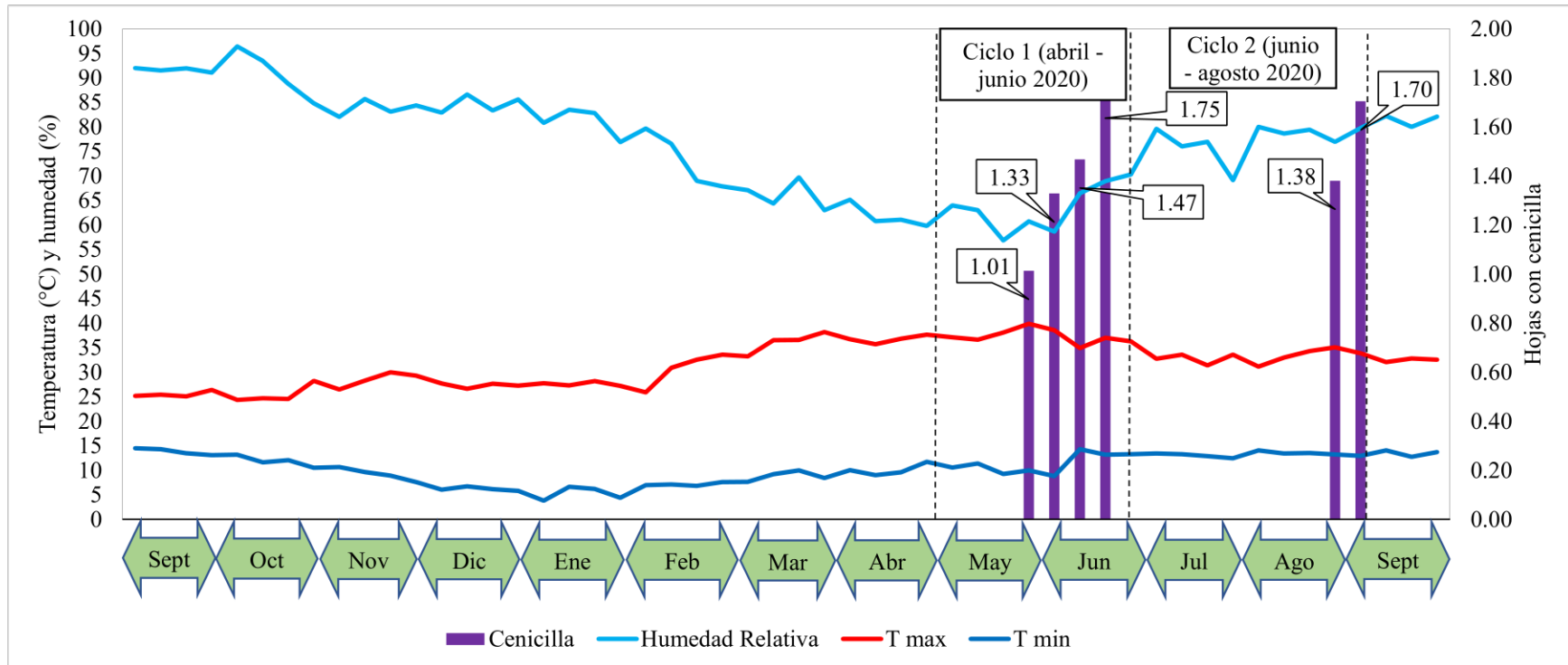


Figura 25. Registro de variables climáticas durante 52 semanas, entre septiembre 2019 y septiembre 2020, y valor promedio del número de hojas con presencia de cenicilla en cada ciclo de cultivo de Rosa 'Freedom'.

Los tratamientos con aplicación de silicio vía foliar presentaron mejor control que los tratamientos con aplicación al suelo. Debido a que las aplicaciones por vía foliar presentan una absorción más rápida debido a que son focalizadas; la aplicación de insecticidas, fungicidas y cualquier producto para el control de plagas también se realiza por la misma vía; siendo ésta la ruta más adecuada para la absorción, penetración y posterior efecto sobre la planta y las plagas y enfermedades que la afectan (Lallana *et al.*, 2006; Painni, 2017).

Si bien, Shetty *et al.* (2011; 2012) y Domínguez (2016) aportan información relevante acerca del uso del silicio como antifúngico en ornamentales, aún hay un campo de exploración bastante amplio para observar todos los beneficios que aporta este mineral a los ornamentales. Savvas *et al.* (2002; 2015) reportan los beneficios de la aplicación de silicio en la solución del suelo, así como por vía foliar, en vegetales, gerbera (Savvas *et al.*, 2009) y rosa (Savvas *et al.*, 2009), reportan que el silicio reduce el estrés ocasionado por salinidad, plagas como mildew polvoso (*Podosphaera xanthii*), mejora la absorción de nutrimentos y aumenta el rendimiento del cultivo; al promover los mecanismos de defensa para que la planta pueda continuar con sus funciones habituales (Eksambekar, 2009).

Domínguez *et al.* (2016a) aplicaron silicio por vía foliar en *Rosa* cv. 'Samourai' y reportaron que la aplicación de silicio reduce considerablemente la manifestación de *Podosphaera pannosa* en el cultivo y con ello obtuvieron una reducción en la incidencia y severidad de esta enfermedad, y resultados similares a la aplicación de fungicidas sistémicos de síntesis química. De igual manera, Domínguez *et al.* (2016b) concluyen que el manejo integrado de plagas deberá consistir en una combinación de prácticas culturales, como la reducción de la humedad relativa dentro del invernadero, con el uso de bioinsecticidas e inductores de resistencia (como el silicio o el quitosano) para lograr un control integral y menos agresivo de las enfermedades fúngicas (Shetty *et al.*, 2011).

## 7.5. Mediciones de calidad

Los ciclos de cultivo se programaron tal que coincidan con las fechas de venta del mercado nacional; venta para el 12 de diciembre (ciclo 1), venta para el 14 de febrero (ciclo 2), venta para el 10 de mayo (ciclo 3) y venta para graduaciones escolares (ciclo 4); donde cada una coincidió también con las cuatro estaciones del año, la cual inició en invierno y terminó en otoño.

Respecto a los ciclos. dos y cuatro, registraron los valores más bajos durante el tiempo de experimentación, que a su vez fueron estadísticamente inferiores ( $p \leq 0.05$ ) a los otros dos ciclos. Si bien el clima tiene influencia ya que según Senra (2017) y Farinango (2020) las estaciones calurosas provocan tallos y botones cortos, mientras las estaciones frías provocan tallos largos y botones más alargados, los resultados observados indican que el ambiente no representó influencia considerable en dichas variables. El análisis por ciclos, los ciclos uno y tres presentaron los valores más altos de las cuatro variables evaluadas (cuadro 19). El ancho de botón reportó entre los 31-39 mm y el alto de botón con valores entre 45-55 mm, por su parte, el grosor del tallo fue de 6.18-6.81 mm, con una altura de 70-77 cm, para los ciclos uno y tres. Por otro lado, en cuanto a los tratamientos en general, el análisis de diferencias de Tukey indica que los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí, pero sí contra el testigo, siendo este último quien registró los valores menores para las cuatro variables evaluadas.

Debido probablemente a que los nutrimentos se empiezan a absorber en la planta desde la etapa vegetativa y los tratamientos de silicio fueron aplicados a partir de la etapa de formación del botón, por lo que Zacarias (2018) menciona que para observar el aumento en el grosor y alto de tallo y botón es necesario realizar una nutrición de la planta desde el inicio de la formación del tallo florales, de este modo la planta acumula dichos nutrimentos durante toda la etapa vegetativa y se obtiene una expresión correcta de estas características en la etapa floral.

De igual manera, Hernández (2018) y Zacarías (2018) mencionan que la aplicación de compostas y bioles como la composta utilizada en este experimento, a pesar del contenido nutrimental que contienen, estadísticamente no aumentan el largo de botones y tallos, sino benefician mayormente al aumento del área foliar debido a su alto contenido de nitrógeno, como mineral principal, lo que se refleja en el aumento de hojas.

**Cuadro 19.** Promedio de mediciones de calidad (alto y ancho de botón, grosor de tallo y alto de tallo) de los tallos florales de los cuatro ciclos de cultivo evaluados, de *Rosa* sp. variedad ‘Freedom’, al aplicar silicio en composta y productos comerciales.

Tx	Ancho de botón (mm)				Alto de botón (mm)				Grosor de tallo (mm)				Alto de tallo (cm)			
	C 1	C 2	C 3	C 4	C 1	C 2	C 3	C 4	C 1	C 2	C 3	C 4	C 1	C 2	C 3	C 4
TN	39.16c	32.38b	28.13b	25.22b	55.37d	45.76c	41.95b	33.97a	6.09b	5.92b	6.89b	4.42a	68.75b	57.95a	68.80b	53.47a
TCF	39.56c	32.36b	29.35b	32.30b	55.32d	46.59c	44.26c	45.45c	6.23b	6.11b	6.97b	5.75b	70.25b	59.70a	78.70b	69.85b
TFR	41.40c	30.35b	30.39b	28.83b	56.04d	44.15c	44.90c	39.10b	6.20b	5.68b	6.91b	5.13a	71.30b	57.19a	82.10b	57.10a
LF	39.60c	32.34b	29.55b	24.57a	54.23d	45.03c	44.25c	31.43a	6.19b	6.00b	6.41b	4.59a	67.50b	58.25a	76.27b	52.70a
CS	38.03c	32.44b	28.56b	30.31b	53.31d	45.32c	44.13c	41.37b	5.95b	5.80b	7.02b	5.65b	69.00b	55.92a	79.48b	64.14b
CF	41.87 c	32.50 b	28.11 b	28.91 b	56.97 d	46.42 c	43.79 c	38.22 b	6.42 b	5.92 b	6.70b	5.25a	73.80b	56.75a	77.70b	59.93a

Valores con misma letra en cada columna, son iguales estadísticamente (Tukey = 0.05). Tx: tratamientos. TN: testigo negativo; TCF: testigo comercial foliar; TFR: testigo comercial fertirriego; LF: Silex® foliar; CS: composta; CF: combinación Silex® (foliar) con Silifertidol ® (suelo). C 1: ciclo uno; C 2: ciclo dos; C 3: ciclo tres; C 4: ciclo cuatro.



## 8. CONCLUSIONES

- Los microorganismos aplicados para el compostaje no aceleraron el proceso de su elaboración y maduración al evaluarse a los 60 días.
- El pH de la composta enriquecida con silicio durante su proceso de elaboración fue atípico a los convencionales (ácido), con valores alcalinos (alrededor de siete).
- Los productos a base de Si no controlaron ni disminuyeron estadísticamente las plagas y enfermedades estudiadas.
- Los productos con aporte bajo de silicio (9 y 16 %) tuvieron mejores resultados en otoño e invierno y los aportes altos (33 y 40 %) tienen mejor efecto en primavera y verano.
- La nutrición diferencial con silicio no tuvo influencia sobre la vida de anaquel de los tallos florales al no ser superior al testigo.
- La calidad de los tallos florales no se modificó con respecto al tratamiento testigo por la aplicación de silicio.

- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abawi, G. S y Pastor Corrales, M. A., 1990. Root rots of beans in Latin America and Africa: diagnosis, research methodologies, and management strategies. CIAT. Cali, Colombia. 114 p.
- Aguilar C., D. A. y Almendarez F., K. (2018). Comportamiento poblacional de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y trips (*Frankliniella occidentalis* Pergande) con el uso de cinco extractos de plantas nativas del valle de toluca en *Physalis ixocarpa*. Universidad Autónoma del Estado de México. Tesis de Licenciatura.
- Aguilar M, S., Rodríguez M, J. C., Mejía C, J., Martínez C. J. C., Rosales J. A., Mora H. M. E. (2017). Monitoreo de la susceptibilidad de *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: noctuidae) a proteínas de *Bacillus thuringiensis* subsp. *Kurstaki* Berliner. Entomología Mexicana 4. 644-650.
- Arcos, C. A., Maciaz P., D. y Rodriguez P., J. E. (2007). La cascarilla de arroz como fuente de SiO<sub>2</sub>. Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquía 40. 7 – 20.
- Armenta Bojórquez, A. D., García Gutiérrez, C., Camacho Báez, J. R., Apodaca Sánchez, M. A., Gerardo Montoya, L. y Nava Pérez, E., 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra Xhimhai 6(1). 51-56.
- Arnon D., I. y Stout P., R (1939). The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant physiol* 14. 371 – 375.
- Badar, R. y Batool, B. (2017). Ameliorate the pre – flowering growth of *Gladiolus grandiflorus* L. Red majesty with composted coconut coir as organic amendment. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 6(3). Pp. 329 – 336.
- Ball, Terry & Chandler-Ezell, Karol & Dickau, Ruth & Duncan, Neil & Hart, Thomas & Iriarte, Jose & Lentfer, Carol & Logan, Amanda & Lu, Houyuan & Madella, Marco & Pearsall, Deborah & Piperno, D.R. & Rosen, Arlene & Vrydaghs, Luc & Weisskopf, Alison & Zhang, Jianping. (2015). Phytoliths as a tool for investigations of agricultural origins and dispersals around the world. Journal of Archaeological Science. In Press. 10.1016/j.jas.2015.08.010.
- Barceló-Quintal, I. D., Solís-Correa, H. E., Jiménez-Campos, J., García-Albortante, J., García-Martínez, M., & Osornio-Berthet, L. (2017). REUSO DE LA EICHHORNIA

CRASSIPES, EXCRETA DE BORREGO Y RESIDUOS DE MERCADO PARA COMPOSTA EN SUELOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LERMA. Tercer Congreso Nacional AMICA, Tabasco, México.

- Carreño M, F., Vásquez G., A. Y., Vásquez G., G. (2019). Problemas sociales y ambientales por el uso de agroquímicos en Tenancingo, México. *Revista Académica de Investigación Tlatemoani*. 10(31) 2019. ISSN – e 1989 – 9300.
- Carrillo-González, R., Perea-Vélez, Y. S., & González-Chávez, M. C. A. (2017). VERMICOMPOST Y ESTIÉRCOL OVINO PARA ESTABILIZAR ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EN UN RESIDUO DE MINA. *Agroproductividad*, 10(4).
- Chacón-Hernández, J. C., Ruiz-Díaz, Á. A., Cerna-Chávez, E., Ochoa-Fuentes, Y. M., Hernández-Juárez, A., Torres-Castillo, J., & Landeros-Flores, J. (2016). Efectos de *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) 1 Sobre Tablas de Vida de *Tetranychus urticae* Koch en Cuatro Variedades de Rosal. *Southwestern Entomologist*, 41(2), 567-576.
- Chacón-Hernández, J. C., Cerna-Chávez, E., Reyes-Zepeda, F., Gaona-García, G., Rocandio-Rodríguez, M., & Landeros-Flores, J. (2017). Respuesta Funcional de *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot sobre Cuatro Estados de Desarrollo de *Tetranychus urticae* Koch Sobre Discos de Rosal. *Southwestern Entomologist*, 42(2), 485–492. doi:10.3958/059.042.0218
- Chacón-Hernández, J. C., Camacho-Aguilar, I., Cerna-Chavez, E., Ordaz-Silva, S., Ochoa-Fuentes, Y. M., & Landeros-Flores, J. (2018). Efectos de *Tetranychus urticae* y *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Tetranychidae: Phytoseiidae) en la clorofila de plantas de rosal (*Rosa* sp.). *Agrociencia*, 52(6), 895-909.
- Chen G, Escobar-Bravo R, Kim HK, Leiss KA and Klinkhamer PGL (2018) Induced Resistance Against Western Flower Thrips by the *Pseudomonas syringae*-Derived Defense Elicitors in Tomato. *Front. Plant Sci.* 9:1417. doi: 10.3389/fpls.2018.01417
- Cortés Jiménez, S., J. D. Etchevers Barra, C. M. I. Hidalgo Moreno y H. Navarro Garza. (2017). Estado nutrimental del agroecosistema rosa (*Rosa* sp.) en la ladera este del Iztaccihual. *Terra Latinoamericana* 35: 237-246.
- Cotler, Helena, Martínez, Mario, & Etchevers, Jorge D.. (2016). Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación y políticas públicas. *Terra Latinoamericana*, 34(1),

125-138. Recuperado en 25 de septiembre de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000100125&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000100125&lng=es&tlng=es)

- Cuacua Temiz, C., Trejo Téllez, L. I., Velasco Velasco, J., Gómez Merino, F. C. (2017). Efecto de los elementos benéficos Al, Co, Se y Si en la nutrición de heliconias (*Heliconia* sp). *Agroproductividad* 10 (3), 62-68.
- Day, R., Abrahams, P., Bateman, M., Beale, T., Clotey, V., Cock, M., ... & Witt, A. (2017). Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28(5), 196-201. DOI: [https://doi.org/10.1564/v28\\_oct\\_02](https://doi.org/10.1564/v28_oct_02)
- De la Rosa Torres, M. I., (2012). Identificación de estados fenológicos y determinación de unidades de calor en el cultivo de rosa (*Rosa* x híbrida) en la región florícola del Estado de México (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma del Estado de México Centro Universitario Tenancingo, Tenancingo, Estado de México.
- De Pascale, S., Rouphael, Y. and Colla, G. (2017). Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *Eur.J.Hortic.Sci.* 82(6), 277-285. DOI: 10.17660/eJHS.2017/82.6.2
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. 2017. Infostat: programa de cómputo. Versión 24-03-2011. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. 331p.
- Doğan, E.; Kazaz, S.; Kaplan, E.; Kılıç, T.; Ergür, E.G.; Aslansoy, B. (2019). Biological control in cut flowers. *Acta Horticulturae*, (1263), 315–324. doi:10.17660/ActaHortic.2019.1263.42
- Domínguez Serrano, D. (2016) Respuestas de defensas estimuladas por inductores químicos a *Podosphaera pannosa* (Wallr.) Lev. en el cultivo de rosa (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Tenancingo, Tenancingo, Estado de México.
- Domínguez Serrano, D., García Velasco, R., Mora Herrera, M. E., & Salgado Siclan, M. L. (2016a). Identificación y alternativas de manejo de la cenicilla del rosal. *Revista mexicana de fitopatología*, 34(1), 22-42.

- Domínguez-Serrano, Daniel, García-Velasco, Rómulo, Mora-Herrera, Martha E., Salgado-Siclan, Martha L., & González-Díaz, Justino G.. (2016b). La cenicilla del rosal (*Podosphaera pannosa*). *Agrociencia*, 50(7), 901-917. ISSN 2521-9766
- Eksambekar, Sanjay. (2009). Review of Phytolith Research: Scope and Applications. *THE KOREAN JOURNAL OF QUATERNARY RESEARCH*. 23. 1-12.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. Vol. 91. 11 – 17.
- Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Revision of Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50. 641 – 664.
- Farinango C., L. M. (2020). Efecto de zeolita y vermicompost en el mejoramiento del suelo para la producción de rosas (*Rosa* sp.), variedad “mondial” en la plantación florícola “Mary Roses” Tabacundo, Cantón Pedro Moncayo, Pichincha (Tesis de maestría). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Fernández Coy, J. S. (2020). Evaluación De Repelentes Para Control De Thrips (*Frankliniella Occidentalis*) En El Cultivo De Rosa Bajo Invernadero En La Finca Hosa Providencia–Madrid, Cundinamarca (Doctoral dissertation).
- Fernandez Honaine, Mariana & Zucol, Alejandro & Osterrieth, Margarita. (2009). Phytolith analysis of Cyperaceae from the Pampean region, Argentina. *Australian Journal of Botany*. 57. 512-523. 10.1071/BT09041.
- Flores Quinchés De Rosales, R. L. (2019). Influencia de la alimentación con tres variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en la biología de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) bajo condiciones de laboratorio Tumbes-2019. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Tumbes. Perú.
- Forján, R., Rodríguez V., A., Cerqueira, B., Covelo, E. F. (2017). Comparison of the effects of compost versus compost and biochar on the recovery of a mine soil by improving the nutrient content. *Journa of Geochemical Exploration*. 183(2017). Pp. 46 – 57
- Franco-Hermida JJ, Quintero MF, Cabrera RI, Guzman JM (2017) Determination of diagnostic standards on saturated soil extracts for cut roses grown in greenhouses. *PLoS ONE* 12(5): e0178500. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178500>
- Garcimartin A., A. (2018). Efectos neuro y hepatoprotector del silicio y su aplicación como ingrediente funcional (Tesis de doctorado). Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

- Gayosso R., S., Borges G., L., Villanueva C., E., Estrada B., M. A. y Garruña H., R. (2016). Sustratos para la producción de flores. *Agrociencia* 50(2016). pp. 617 – 631.
- Golizadeh, A; Jafari-Behi, V; Razmjou, J; Naseri, B; Hassanpour, M (2017). Population Growth Parameters of Rose Aphid, *Macrosiphum rosae* (Hemiptera: Aphididae) on Different Rose Cultivars. *Neotropical Entomology*, 46(1), 100–106. doi:10.1007/s13744-016-0428-4
- Gómez I, Ocelotl J, Sánchez J, Lima C, Martins E, Rosales-Juárez A, Aguilar-Medel S, Abad A, Dong H, Monnerat R, Peña G, Zhang J, Nelson M, Wu G, Bravo A, Soberón M. (2018). Enhancement of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab and Cry1Fa toxicity to *Spodoptera frugiperda* by domain III mutations indicates there are two limiting steps in toxicity as defined by receptor binding and protein stability. *Appl Environ Microbiol* 84: e01393-18. <https://doi.org/10.1128/AEM.01393-18>.
- González Durazno, G. M. (2018). Obtención y caracterización de un compost de *Equisetum hyemale*. como fuente de silicio. (Tesis de licenciatura). Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero, Estado de México.
- González, M., Jiménez, L., Yáñez, W. y Parducci, P. (2017). Potencial uso de la leonardita para el cultivo de rosa en condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense* 42(1), 155-162. ISSN: 0377-9424 / 2018.
- Goyes Campos, S. y Gómez, P. M. (2018). EL IMPACTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS EN LA AGRICULTURA. IMPORTANCIA PARA EL ESTUDIANTE DE AGRONOMÍA. *Opuntia Brava*, 9(2), 104-111. <https://doi.org/https://doi.org/10.35195/ob.v9i2.152>
- Guadarrama-Nonato, A., Mejía-Carranza, J., y Ramírez-Gerardo, M. G. (2018). Mineralización de la materia orgánica en suelos con manejo diferencial en cultivo de rosa. *Acta Universitaria*, 28 (2), 33-41. doi: 10.15174/au.2018.1654
- Gullino, Maria Lodovica; Albajes, Ramon; Nicot, Philippe C. (2020). Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops || Cultural Methods for Greenhouse Pest and Disease Management. , 10.1007/978-3-030-22304-5(Chapter 10), 285–330. doi:10.1007/978-3-030-22304-5\_10
- Guntzer, F., Keller, C., & Meunier, J. D. (2012). Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 201-213.

- Hernández M., C., Gómez R., C. y Aguilar A., J. C. (2015). Evaluación de siete tipos de composta de materia orgánica. Ciencia y Tecnología Forestal y Agropecuaria en Tabasco. Memorias de congresos y simposios. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México. ISBN: 978-607-606-287-6.
- Hernández M., J. A. (2018). Uso de alternativas orgánicas y su efecto en la productividad del cultivo de rosa (*Rosa* sp) en la variedad Rosita Véndela (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Ecuador.
- Hernández Valdez, R., Gómez Albores, M., Romero Contreras, A., Mastachi Loza, C., Hernández Tellez, M. y Martínez Valdés, H. (2017). Análisis temporal del riesgo por malformaciones congénitas atribuibles al uso de plaguicidas en el corredor florícola del Estado de México. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 24 (3), 244-252.
- Honaine, M. F., Montti, L., Qi, W., & Osterrieth, M. (2019). Anatomical traits, silica content and herbivory damage in leaves of invasive tree *Ligustrum lucidum* developed in novel and native ranges. *Flora*, 258, 151447.
- Idrovo-Novillo, J., Gavilanes-Terán, I., Veloz-Mayorga, N., Erazo-Arrieta, R., & Paredes, C. (2019). Closing the cycle for the cut rose industry by the reuse of its organic wastes: A case study in Ecuador. *Journal of Cleaner Production*, 220, 910-918.
- InfoAgro Systems S. L. (2020). InfoAgro.com. Recuperado de [https://www.infoagro.com/documentos/abonos\\_organicos.asp](https://www.infoagro.com/documentos/abonos_organicos.asp) el día 09-09-2020 a las 08:00 horas.
- Jones J., B. (1930). Plant nutrition manual. *Plants Nutrition Handbooks, manuals, etc.* Second Edition, 1997. ISBN: 1 – 884015 – 31 – X.
- Juárez Diaz, E. (2014). DETERMINACIÓN DE ESPECIES DE TRIPS (THYSANOPTERA: THRIPIDAE) EN CINCO VARIEDADES DE ROSA *Rosa hybrida* EN LOCALIDADES DE TENANCINGO Y VILLA GUERRERO, ESTADO DE MÉXICO. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Kamlesh Yadav, S.C. Meena, Gajanand Jat, R.H. Meena and Atul Dhansil (2019). Nutrient Content and Uptake by Soybean (*Glycine max* L. Merrill) as Influenced by use of Enriched Compost and Biofertilizers. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 8(7): 2959-2966. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.807.367>

- Kaur, P. y Zalom, F. G. (2017). Effect of temperature on the development of *Tetranychus urticae* and *Eotetranychus lewisi* on strawberry. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(4), 441-444.
- Kaya C., Tuna L. y Higgs D. (2006) Effect of Silicon on Plant Growth and Mineral Nutrition of Maize Grown Under Water-Stress Conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 29:8, 1469-1480, DOI: 10.1080/01904160600837238
- Lallana, M. D. C., Billard, C. E., Elizalde, J. H., & Lallana, V. H. (2006). Breve revisión sobre características de la cutícula vegetal y penetración de herbicidas. *Ciencia, docencia y tecnología*, 17(33), 229-241.
- Lewin J. y Reimann, B. (1969). Silicon and plant growth. *Annual Review of Plant Physiology* 20. 289 – 304.
- Loera-Alvarado, E., Rodríguez-Pagaza, Y., Sánchez-Vega, M., Loera-Alvarado, M. E., Pinto, V. M., & Luna-Cruz, A. (2018). Insecticidas de diferente grupo toxicológico evaluados para el control de trips en gladiola (*Gladiolus glandiflorus* HORT.) en campo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21(3).
- Llive P., P. de los A. (2017). *Formulación y obtención para la aplicación del compost a partir de residuos de tallos y pétalos* (Tesis de licenciatura). Universidad Central del Ecuador. Ecuador.
- Manare M. Masowa, Funso R. Kutu, Philisiwe L. Shange, Reckson Mulidzi y Frank M.G. Vanassche (2015): The effect of winery solid waste compost application on maize growth, biomass yield, and nutrient content under greenhouse conditions, *Archives of Agronomy and Soil Science*, DOI: 10.1080/03650340.2015.1115018
- Morillo Hurtado, C. V. (2020). Evaluación de la dinámica poblacional del ácaro (*Tetranychus Urticae*) en el cultivo de rosas (*Rosa SP.*) en Cayambe, Pichincha (Bachelor's thesis).
- NADF-020-AMBT-2011 (2012). Norma Ambiental para el Distrito Federal. Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólido urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal.

- Naranjo C., J. F. y Solórzano C., S. A. (2018). Evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas. Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.
- NMX-FF-109-SCFI-2007 (2008). Norma Mexicana que brinda las Especificaciones y Métodos de Prueba de Humus de Lombriz (lombricomposta). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Ordoñez Tadazo, P. A. (2019). Respuesta del cultivo de rosa sp. Var. Freedom a la aplicación de un bioestimulante. Tesis de licenciatura. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Ortiz V., B. y Ortiz S., C. A. (1990). Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Suelos. México. Pp. 303.
- Osterrieth, M., Frayssinet, L., Benvenuto, L., Donna, R., Paolicchi, M., Frayssinet, C., ... & Morel, E. M. (2019). Sílice amorfa y biogeoquímica del silicio en secuencias pedosedimentarias del sudeste bonaerense. In V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU)(La Plata, 12 al 14 de junio de 2019).
- Parra Terraza, S., Baca Castillo, G. A., Carrillo González, R., Kohashi Shibata, J., Martínez Garza, A. y Trejo López, C. (2004). Comparación de tres métodos de análisis de silicio en tejido foliar de pepino. *Terra Latinoamericana* 22 (4), 401-407.
- Painii Carriel, E. G. (2017). " Característica físicas y químicas del fruto de pimiento (*Capsicum annum* L), por la aplicación de bio-pirosil vía foliar bajo condiciones semi controladas en la zona de Vinces, Ecuador. Tesis de licenciatura. Universidad de Guayaquil; Facultad de Ciencias para el Desarrollo.
- Pérez, J. C. R., y Mancilla, C. L. A. (2012). El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *Conciencia tecnológica*, (43), 42-46.
- Pergola, M., *Applied Soil Ecology* (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.016>
- Pichardo Segura, J. A. (2018). Obtención y caracterización de lixiviados de un compost elaborado con *Equisetum hyemale*. (Tesis de licenciatura). Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero, Estado de México.
- Quero, Edgar. (2009). NUTRICIÓN CON SILICIO Y SUS APLICACIONES A CULTIVOS A CIELO ABIERTO Y EN AGRICULTURA PROTEGIDA: Un pequeño recorrido por la naturaleza. 10.13140/2.1.2643.8400.

- Ramírez Gerardo, M. G., Vergara Martínez, C., Vergara Martínez, L. M., Mejía Carranza, J. (2019). Spatial arrangement of cultivars of *Chrysanthemum* (*Dendrathera grandiflora*) to decrease damage by *Botrytis*. *Mexican Journal of Phytopathology* 37 (2), 1-17. doi: 10.18781/R.MEX.FIT.1812-4
- Ramírez Hernández, Javier Jesús y Avitia Rodríguez, Jessica Alejandra (2018): CORREDOR FLORÍCOLA DEL ESTADO DE MÉXICO: LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO. In: DESARROLLO REGIONAL SUSTENTABLE Y TURISMO. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México. ISBN UNAM: 978-607-02-9999-5, AMECIDER: 978-607-96649-6-1
- Rashid, I., Mir, S. H., Zurro, D., Dar, R. A., & Reshi, Z. A. (2019). Phytoliths as proxies of the past. *Earth-Science Reviews*, 194, 234-250.
- Raya-Pérez, Juan & Aguirre, Cesar. (2012). El Papel del Silicio en los Organismos y Ecosistemas. *Conciencia Tecnológica*.
- Reza Salgado, J., Ginéz Rodríguez, M., y Rodríguez Peláez, L. (2017). El Negocio De Abono Orgánico Con Enfoque Sustentable (Business with an Organic Fertilizer Sustainable Approach). *Revista Global de Negocios*, 5(5), 37-50.
- Román, P., Martínez, M. M. y Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Sánchez, Ó.J., et al. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management* (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>
- Sánchez Rosas, M. G. (2013). Efecto de la fertilización con calcio en el desarrollo del cultivo de rosa (*Rosa x híbrida*) var. Freedom y vida postcosecha (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México Centro Universitario Tenancingo. Tenancingo, Estado de México.
- Sangster AG, Hodson MJ, Tubb HJ (2001) Silicon deposition in higher plants. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH (eds) *Silicon in agriculture*. *Studies in plant science*, 8. Elsevier, Amsterdam, pp 85–113

- Sariol Sánchez, D., Aponte Rodríguez, D., & Hernández Montiel, L. (2019). Análisis fitoquímico y actividad insecticida in vitro de extracto acuoso de *Agdestis Clematidea* en el manejo de *Myzus Persicae* (Original). Roca. Revista Científico-Educacional De La Provincia Granma, 15(1), 28-38.
- Savvas, Dimitrios & Manos, G. & Kotsiras, Anastasios & Souvaliotis, Stelios. (2002). Effects of silicon and nutrient-induced salinity on yield, flower quality and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroponic system. *Journal of Applied Botany*. 76. 153-158.
- Savvas, Dimitrios & Gizas, George & Karras, George & Lydakis Simantiris, Nikos & Salachas, George & Papadimitriou, Menios & Tsouka, N. (2007). Interactions between silicon and NaCl-salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. *Eur. J. Hortic. Sci.*. 72. 73-79.
- Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M., & Patakioutas, G. (2009). Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and experimental botany*, 65(1), 11-17.
- Savvas, D. y Ntatsi, G. (2015). Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Sci. Hortic.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural SADER, (24, 04, 2019) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [Avance de siembras y cosechas, resumen por cultivo] Recuperado de [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenDelegacion.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do)
- Shetty R, Fretté X, Jensen B, Shetty NP, Jensen JD, Jørgensen HJ, Newman MA, Christensen LP (2011). Silicon-induced changes in antifungal phenolic acids, flavonoids, and key phenylpropanoid pathway genes during the interaction between miniature roses and the biotrophic pathogen *Podosphaera pannosa*. *Plant Physiol*. 2011 Dec;157(4):2194-205. doi: 10.1104/pp.111.185215. Epub 2011 Oct 20. PMID: 22021421; PMCID: PMC3327176.
- Shetty, R., Jensen, B., Shetty, N.P., Hansen, M., Hansen, C.W., Starkey, K.R. and Jørgensen, H.J.L. (2012), Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. *Plant Pathology*, 61: 120-131. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02493.x>
- Senra A., H, M. (2017). *Crescimento de rosas de corte sob aplicacao de produtos de efeito fisiológico* (Tesis de maestría). Universidade Federal Do Piauí. Bom Jesus, Piauí, Brazil.

- Silber, A. y Bar-Tal, A. (2008). Nutrition of Substrate-Grown Plants. 10.1016/B978-044452975-6.50010-1.
- Sreedhar, M., Vasudha, A. y Khudus, S. (2020). Insect-pest complex studies on *Chrysanthemum* in Pantnagar region. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(2), 1644-1646.
- Soundararajan, P., Manivannan, A., Park, Y. G., Muneer, S., & Jeong, B. R. (2015). Silicon alleviates salt stress by modulating antioxidant enzyme activities in *Dianthus caryophyllus* 'Tula'. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56(2), 233-239.
- Steiner A., A. (1984) The universal nutrient solution. *Proceedings 6th International Congress on Soils Culture*. Wageningen. The Netherlands. 633-650.
- Toresano-Sánchez, F., Valverde-García, A., & Camacho-Ferre, F. (2012). Effect of the application of silicon hydroxide on yield and quality of cherry tomato. *Journal of plant nutrition*, 35(4), 567-590.
- Turrado, José, Saucedo, Alma R, Sanjuán, Rubén, & Sulbaran, Belkis. (2009). PINZOTE de *Musa balbisiana* y *Musa acuminata* como Fuente de Fibras para Papel. *Información tecnológica*, 20(4), 117-122. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642009000400013>
- Ukoroije, R. B., & Otayor, R. A. (2020). Review on the Bio-insecticidal Properties of Some Plant Secondary Metabolites: Types, Formulations, Modes of Action, Advantages and Limitations. *Asian Journal of Research in Zoology*, 27-60.
- Vargas C., J. J. (2019). Efecto de la aplicación foliar de silicio y VIUSID® agro en el desarrollo y rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo dos sistemas de riego. Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.
- Vázquez González, G., Sabás Chávez, C. C., González Huerta, A., Aguilar Medel, S., Vázquez García, L. M., Mejía Carranza, J. (2016) Efecto de *Tetranychus urticae* Koch en la calidad del tallo floral de 15 cultivares de rosa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*, 7 (4), 833-844.
- Wei, H., Wang, L., Hassan, M., & Xie, B. (2018). Succession of the functional microbial communities and the metabolic functions in maize straw composting process. *Bioresource Technology*, 256, 333–341. doi:10.1016/j.biortech.2018.02.050
- Yang, Fazhong, Dong, Wenxia, Zhang, Xiuge, Li, Yunxian, Zhou, Shiping, Zhu, Guolei, & Xiao, Chun. (2019). Volatile-organic compound changes in rose twigs consequent to

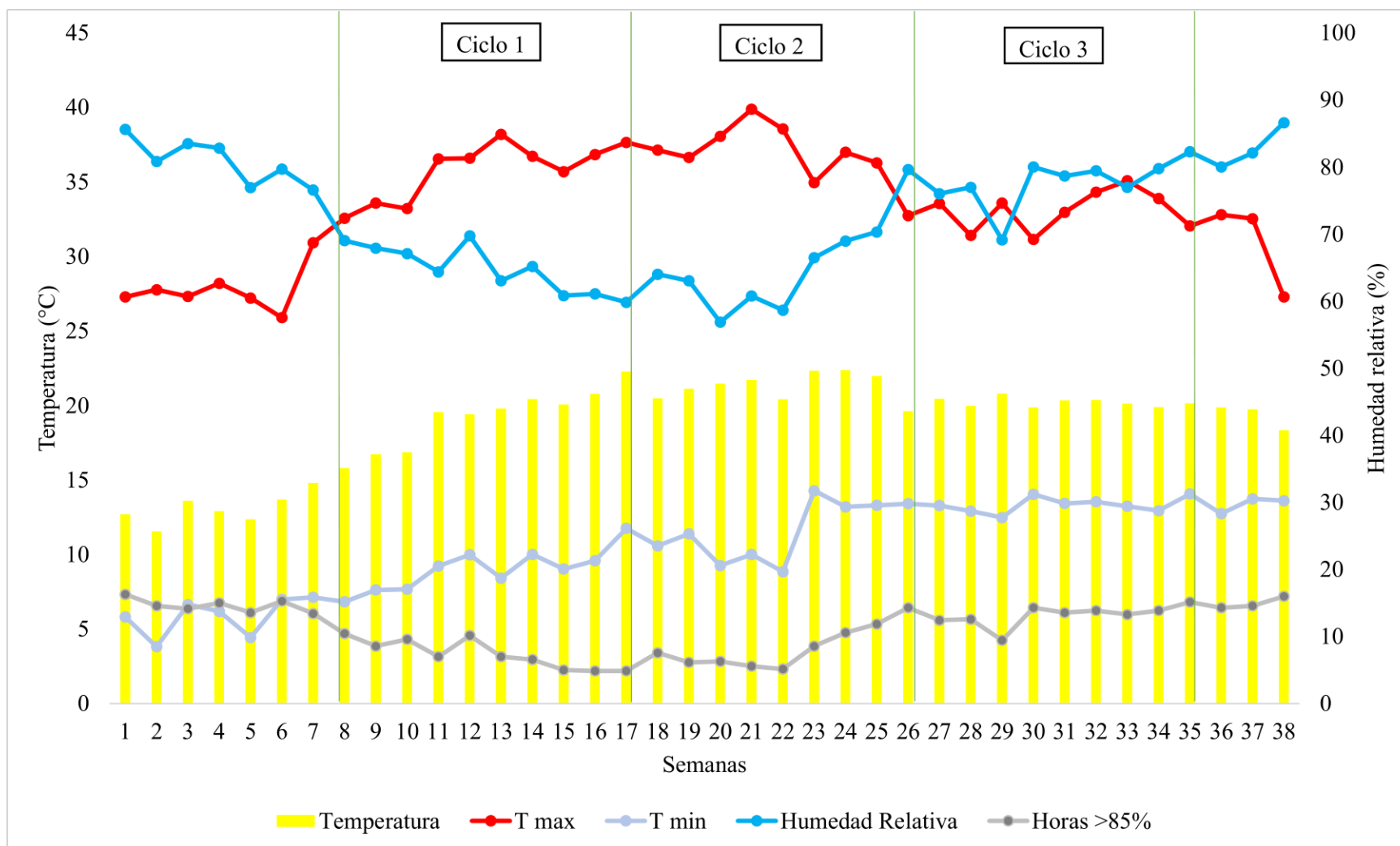
- infection with rose powdery mildew. Chilean journal of agricultural research, 79(4), 596-608. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000400596>
- Young, A. (2004). El cultivo del rosal y su propagación. Cultivos tropicales 25(2), 53-67.
- Zacarias Guale, J. C. (2018). Evaluación de la productividad y calidad del cultivo de rosas (rosa sp.) variedad Freedom bajo aplicaciones de biol, cantón Cotacachi. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Zambrano S., A. S. (2017). Dosis de silicio como alternativa de protección en el cultivo de arroz (*Oriza sativa* L.), ante problemas fitoparasitarios en la zona Vinces-Ecuador. Tesis de licenciatura. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Zhu, Y., Gong, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. Agron. Sustain. Dev. 34, 455–472 (2014). <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0194-1>
- Zucol, A. F. 2001. Fitolitos: III. Asociaciones fitolíticas de *Piptochaetium montevidense* (Stipeae: Arundinoideae: Poaceae). Una nueva metodología descriptiva. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 36 (1-2): 69 – 85.

## 9. ANEXOS

### Datos climatológicos

Se registró la temperatura de 39 semanas del año 2020, dentro de las cuales se realizaron los tres ciclos de cultivo del presente experimento. Se registró un promedio de temperaturas de 18.81 °C durante las semanas evaluadas, así mismo el promedio de humedad relativa fue de 72.40 % y el promedio de temperaturas máximas y mínimas osciló entre los 10.41° y 33.53 °C (figura 22).

Para el caso específico de cada ciclo, se puede observar durante el primer ciclo que la humedad relativa desciende la mayoría de las semanas (diez semanas) y se eleva la temperatura máxima, lo que favorece el desarrollo de araña roja, trips y pulgón. Sin embargo, para el segundo ciclo se observa un aumento de la humedad relativa en las semanas de formación de botón y floración (semanas 23 a 26) con un aumento de la temperatura promedio, situación que favorece la presencia de hongos como cenicilla y la temperatura mínima registrada sugiere una disminución en la incidencia de ácaros e insectos debido a que fue inferior a los 10 °C durante la etapa vegetativa (semanas 18 a 22), lo que inhibe la oviposición de las hembras y disminuye su incidencia (Fernández, 2019; Morillo, 2020). Para el tercer ciclo, se registra un aumento en las horas superiores al 85 % de humedad, lo que favorece la presencia de cenicilla, pulgón, trips y gusano verde, sin embargo, la presencia de araña disminuye al aumentar la temperatura máxima y la humedad relativa.



Registro de variables climatológicas presentes durante el desarrollo del presente trabajo, indicando los ciclos de cultivo durante los cuales se realizaron las mediciones.

