



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**APLICACIONES PERIÓDICAS DE PACLOBUTRAZOL Y SU
INFLUENCIA SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y
RESIDUALIDAD EN JITOMATE**

TESIS

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

LUCIA JUÁREZ RODRÍGUEZ

Bajo supervisión de: Dr. Mario Pérez Grajales

Chapingo, Estado de México, a 23 de noviembre de 2020



APROBADA



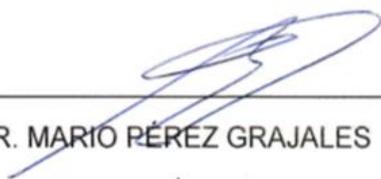
Instituto de Horticultura

**APLICACIONES PERIÓDICAS DE PACLOBUTRAZOL Y SU INFLUENCIA
SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y RESIDUALIDAD EN
JITOMATE**

Tesis realizada por **LUCIA JUÁREZ RODRÍGUEZ**, bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el título de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:


DR. MARIO PÉREZ GRAJALES

ASESOR:


DR. J. JESÚS MAGDALENO VILLAR

ASESOR:


DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS

ASESOR:


M. C. ANTONIO SEGURA MIRANDA

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	x
RESUMEN GENERAL	xi
GENERAL ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 El cultivo de tomate	3
2.2 Importancia	4
2.2.1 Importancia mundial	4
2.2.2 Importancia nacional	5
2.3 Requerimientos climáticos del tomate en invernadero.....	5
2.3.1 Temperatura ambiental	5
2.3.2 Temperatura de la raíz	6
2.3.3 Radiación solar	6
2.3.4 Humedad relativa	6
2.3.5 Déficit de presión de vapor de agua	7
2.4 Prácticas culturales	7
2.4.1 Establecimiento del cultivo	7
2.4.2 Densidad de siembra	7
2.4.3 Riego	8
2.4.4 Fertilización.....	8
2.4.5 Tutorado de plantas	10
2.4.6 Podas.....	10

2.4.7 Bajado de plantas	12
2.4.8 Plagas y enfermedades en tomate.....	13
2.4.9 Cosecha.....	14
2.5 Sistema hidropónico.....	15
2.5.1 Ventajas y desventajas de la hidroponía	15
2.6 Parámetros de calidad de frutas y hortalizas	16
2.6.1 Componentes de calidad.....	16
2.7 Plaguicidas.....	18
2.7.1 Propiedades fisicoquímicas.....	18
2.7.2 Límites Máximos de Residuos de Plaguicidas (LMR).....	20
2.7.3 Persistencia	20
2.7.4 Degradación.....	21
2.8 Paclobutrazol (PBZ)	21
2.8.1 Modo de acción.....	21
2.8.2 Propiedades fisicoquímicas de PBZ.....	22
2.8.3 Persistencia y degradación de PBZ	23
2.8.4 Límite máximo de residuos permitidos	23
2.8.5 Uso de PBZ en la agricultura.....	23
2.8.6 Antecedentes de PBZ en el cultivo de tomate	24
2.9 Análisis de residuos	27
2.9.1 Muestreo de frutos	27
LITERATURA CITADA.....	28
3. CAPÍTULO I. APLICACIONES PERIÓDICAS DE PACLOBUTRAZOL Y SU INFLUENCIA SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y RESIDUALIDAD EN JITOMATE	34
3.1 RESUMEN	34
3.2 ABSTRACT.....	35

3.3 INTRODUCCIÓN.....	36
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.4.1 Ubicación del sitio experimental y material vegetal.....	37
3.4.2 Manejo del cultivo.....	38
3.4.3 Tratamientos y diseño experimental.....	38
3.4.4 Aplicación de PBZ.....	39
3.4.5 Variables cuantificadas.....	39
3.4.5.1 Variables morfológicas.....	40
3.4.5.2 Variables de rendimiento.....	40
3.4.5.3 Variables de calidad fisicoquímica de frutos.....	40
3.4.6 Muestreo de frutos para determinar análisis de residuos.....	41
3.4.7 Análisis de residuos en laboratorio.....	41
3.4.8 Cuantificación de la degradación del 50 % de PBZ.....	41
3.4.9 Lavado de frutos en condiciones de laboratorio.....	42
3.4.10 Análisis estadístico.....	42
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
3.5.1 Análisis de varianza.....	43
3.5.2 Comparación de medias del factor concentración.....	43
3.5.3 Comparación de medias del factor intervalo de aplicación.....	46
3.5.4 Degradación de PBZ en frutos de tomate.....	47
3.5.5 Lavado de frutos en laboratorio.....	49
3.6 CONCLUSIONES.....	51
3.7 LITERATURA CITADA.....	52
4. ANEXOS.....	56

Anexo 1. Resultados del análisis de residuos de paclobutrazol en frutos de tomate muestreados a los 0, 1, 3, 7, y 14 días después de su aplicación (T13: control

absoluto; T9: 65 μ L L-1 PBZ cada 30 días; D: días después de la aplicación; R: repetición).....56

Anexo 2. Resultados del análisis de residuos de paclobutrazol en frutos de tomate sometidos a diferentes procesos de lavado (T1: control absoluto; T2: 65 μ L L-1 PBZ lavado con agua; T3: 65 μ L L-1 PBZ lavado con detergente; R: repetición).
.....61

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Producción mundial de tomate rojo en 2018.	4
Cuadro 2. Absorción nutrimental, extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios en frutos de tomate por tonelada de fruto cosechado.	9
Cuadro 3. Solución nutritiva para tomate en sustrato.....	10
Cuadro 4. Grado de madurez de la fruta de tomate.....	14
Cuadro 5. Cuadrados medios de análisis de varianza de las concentraciones e intervalos de aplicación de paclobutrazol en tomate bajo condiciones de invernadero.....	43
Cuadro 6. Comparación de medias de concentraciones de PBZ en variables con significancia estadística en tomate bajo condiciones de invernadero.....	44
Cuadro 7. Comparación de medias de intervalos de aplicación de PBZ en variables con significancia estadística en tomate bajo condiciones de invernadero.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Patrón de color para frutos de tomate. Fuente: López, 2017.	15
Figura 2. Degradación de residuos de paclobutrazol en frutos de tomate.....	48
Figura 3. Residuos de paclobutrazol en frutos de tomate sometidos a diferentes procesos de lavado. Dentro de cada tratamiento, barras con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.01$).....	50

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a dios y a mi familia:

A mis padres, Valentín Juárez Catalán y Reina Rodríguez Hernández por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos, Evangelina, Elizabeth, German, Rocío, Valentín y Lizbeth por confiar en mí y motivarme a seguir adelante con mis objetivos.

A Luis Enrique, por ser novio, compañero y amigo al mismo tiempo, por comprenderme, por brindarme apoyo incondicional, por sus sabios consejos, por los momentos de alegría, sacrificio, estrés y retos que hemos vivido juntos en el transcurso de nuestra formación profesional.

A mis amigos, Héctor, Octavio, José y Lalo por brindarme su amistad, compañía, apoyo y por compartir momentos inolvidables en tan poco tiempo de conocernos.

A todas las personas que compartieron conmigo los buenos y malos momentos durante mi estancia en esta universidad.

AGRADECIMIENTO

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me otorgó para realizar mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, departamento de Fitotecnia y al instituto de Horticultura por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al Dr. Mario Pérez Grajales por su valiosa dirección, apoyo y aporte de experiencia profesional en la realización de este trabajo.

Al Dr. Jesús Magdaleno Villar por su valioso apoyo, revisión y amplia experiencia profesional en el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Rogelio Castro Brindis por su apoyo incondicional y revisión del presente trabajo.

Al M. C. Antonio Segura Miranda por su apreciable contribución, apoyo y revisión del presente trabajo.

Al Dr. Natanael Magaña Lira por su valioso apoyo en el análisis estadístico de datos y en la revisión del presente trabajo.

Y a mi novio Luis Enrique por su apoyo incondicional en todo momento.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Lucia Juárez Rodríguez

Fecha de nacimiento: 07 de octubre de 1994

Lugar de nacimiento: San Lucas Teocuitlapa, Municipio de Atlixac, Gro.

CURP: JURL941007MGRRDC01

Cédula profesional: 11994029

Desarrollo académico

Bachillerato: Colegio de Bachilleres Plantel por Cooperación Atlixac.

Licenciatura: Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola,

Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

Aplicaciones periódicas de paclobutrazol y su influencia sobre el crecimiento, rendimiento y residualidad en jitomate¹

El paclobutrazol (PBZ) es el retardante de crecimiento más utilizado en la manipulación química del crecimiento y desarrollo en plantas hortícolas. Se estudió el efecto de concentraciones e intervalos de aplicación de PBZ sobre crecimiento vegetativo, rendimiento, calidad fisicoquímica y residualidad en frutos de tomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.), en un ciclo largo de producción en invernadero. El experimento se realizó en 2019 en Chiconcuac, Estado de México. Se evaluaron 13 tratamientos de la combinación de tres concentraciones (35, 50 y 65 $\mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ) y cuatro intervalos de aplicación (30, 40, 50 y 60 días), más control absoluto. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial de tratamientos, con cuatro repeticiones y seis plantas como unidad experimental. Se midieron variables: morfológicas, de rendimiento, calidad fisicoquímica y se determinó los residuos de PBZ en frutos. Los resultados mostraron que 50 $\mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ mejoró número de frutos, rendimiento, peso promedio de fruto, en contraste disminuyó altura de plantas. El intervalo de aplicación de 40 días incrementó número de frutos y rendimiento, pero redujo altura sin alterar el grosor de pericarpio. Se encontraron residuos de PBZ en frutos que rebasan los Límites Permisibles recomendados por Japón y la Unión Europea. No obstante, tuvieron una degradación del 50 % posterior a los 14 días después de su aplicación. Adicionalmente, se encontró que el lavado de frutos con agua simple o detergente elimina el 99.9 % de residuos adheridos en la epidermis del fruto.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., regulador de crecimiento, residuos y degradación, lavado de frutos.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Lucia Juárez Rodríguez
Director de tesis: Mario Pérez Grajales

GENERAL ABSTRACT

Periodic applications of paclobutrazol and its influence on growth, yield and residue in tomato²

Paclobutrazol (PBZ) is the most widely used growth retardant in the chemical manipulation of growth and development in horticultural plants. The effect of concentrations and application intervals of PBZ on vegetative growth, yield, physicochemical quality and residuality in saladette tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits, in a long cycle of production in greenhouses was studied. The experiment was carried out in 2019 in Chiconcuac, State of Mexico. Thirteen treatments of the combination of three concentrations (35, 50 and 65 $\mu\text{L L}^{-1}$ of PBZ) and four application intervals (30, 40, 50 and 60 days), plus absolute control, were evaluated. The experimental design had complete randomized blocks with factorial arrangement of treatments, with four replicates and six plants as experimental unit. Morphological, yield, and physicochemical quality variables were measured and PBZ residues in fruits were determined. The results showed that 50 $\mu\text{L L}^{-1}$ of PBZ improved the number of fruits, yield, and average weight of fruit, in contrast it decreased height of plants without affecting soluble solids. The 40-day application interval increased fruit number and yield, but reduced height without altering pericarp thickness. PBZ residues were found in fruits that exceed the Permissible Limits recommended by Japan and the European Union. However, they had a 50% degradation after 14 days of application. Additionally, it was found that washing fruits with plain water or detergent, 99.9% of residues adhered to the fruit epidermis are eliminated.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., growth regulator, residues and degradation, fruit washing.

²Thesis of Master in Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Lucia Juárez Rodríguez

Advisor: Mario Pérez Grajales

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) presenta hábitos de crecimiento determinado e indeterminado. En México la producción comercial de tomate en invernadero a menudo emplea variedades de crecimiento indeterminado. Este sistema de producción se caracteriza por usar densidades de población de 2 a 3 plantas m⁻². El tallo principal se deja crecer más de 7 m de longitud para cosechar 15 o más racimos por planta durante un ciclo de producción que puede durar hasta un año (Resh, 2004; Sánchez et al., 2017). Sin embargo, el manejo agronómico de este tipo de plantas se dificulta a medida que la altura incrementa, por lo que los productores se ven obligados a buscar alternativas que les permitan manejar las plantas, incrementar rendimiento y mejorar la calidad de los frutos al menor costo. En la actualidad, el paclobutrazol (PBZ) es el retardante de crecimiento más utilizado en los árboles frutales, plantas ornamentales, cereales y algunos cultivos hortícolas. Se ha usado para la manipulación química del crecimiento y desarrollo de las plantas través de la alteración de los procesos bioquímicos y fisiológicos asociados (Gollagi et al., 2019; Ribeiro et al., 2019). Estas alteraciones modifican el equilibrio hormonal y el crecimiento de las plantas, lo cual implica mayor tolerancia de los cultivos al estrés abiótico, incremento del rendimiento y mejor rasgo fisiológico de los cultivos (Tesfahun, 2018). Franca et al. (2018); Gollagi et al (2019) mencionan que las plantas tratadas con paclobutrazol producen mayor contenido de clorofila, ácido abscísico y muestran modificaciones morfológicas de las hojas, como hojas más gruesas, poros estomáticos más pequeños y mayor densidad de raíces.

El PBZ es un regulador de crecimiento de la familia de los triazoles que inhibe la biosíntesis de giberelinas al bloquear la acción de las monooxigenasas P450 durante el proceso de conversión de ent-kaureno a ácido ent-kaurenoico (Taiz & Zeiger, 2010). Las giberelinas estimulan el alargamiento celular y cuando estas se inhiben, todavía se produce división celular, pero las nuevas células no se alargan. Eso da como resultado plantas con el mismo número de entrenudos,

pero comprimidos en una longitud más corta y la producción de brotes con el mismo número de hojas (Gollagi et al., 2019).

Por otro lado, se han realizado diversos estudios de paclobutrazol en el cultivo de tomate, donde se reporta que la altura de las plantas se reduce con 42.5, 50, 100, 150 y 200 mg L⁻¹ de PBZ aplicado por aspersión en plántulas de tomate a los 10 y 15 días después de la siembra (Santiago & Faria, 2011; Seleguini et al., 2011; Seleguini et al., 2016; Velázquez et al., 2008). La concentración de 50 mg L⁻¹ resultó ser suficiente para obtener plántulas de menor tamaño sin alterar el área foliar, cuando se aplica por aspersión, además de permitir un aumento de aproximadamente 37 % en la materia seca de las raíces (Seleguini et al., 2013). En cuanto a su influencia en el rendimiento y calidad de frutos de tomate, Ferreira et al. (2017); Seleguini et al. (2011); Seleguini et al. (2016) mencionan que las concentraciones de 42.5, 50 y 100 mg L⁻¹ no alteraron las variables de calidad de los frutos de tomate, pero el aumento en las concentraciones de PBZ resultó en menores pérdidas de materia fresca de los frutos, menor vigor de brotes laterales, firmeza, acidez y aumento en la producción de frutos de tamaño mediano y pequeño. Sin embargo, a pesar de que el uso de paclobutrazol se ha vuelto común en la producción de tomate, se desconoce el efecto de las aplicaciones periódicas de paclobutrazol sobre la altura, rendimiento y calidad de fruto de tomate y no se tiene conocimiento de la degradación de residuos de este regulador de crecimiento en frutos de tomate.

Objetivo general

Evaluar el efecto de concentraciones e intervalos de aplicación de PBZ sobre crecimiento vegetativo, rendimiento, calidad fisicoquímica y residualidad en frutos de tomate saladette, en un ciclo largo de producción bajo invernadero.

Objetivos específicos

1. Determinar la concentración e intervalo de aplicación que incremente el rendimiento, calidad de frutos y reduzca la altura de las plantas.

2. Cuantificar residuos de paclobutrazol en frutos de tomate a los 0, 1, 3, 7 y 14 días después de su aplicación y comparar los valores con los límites máximos de residuos (LMR) autorizados por Japón y la Unión Europea.
3. Elaborar la curva de degradación de paclobutrazol en los frutos de tomate en condiciones de invernadero.
4. Verificar si el proceso de lavado elimina los residuos de paclobutrazol adheridos en la epidermis de los frutos de tomate.

Hipótesis

Hay una concentración e intervalo de aplicación que permiten un mejor rendimiento, calidad y reducción de altura en el cultivo de tomate.

A mayor concentración e intervalo más corto de aplicación de paclobutrazol, habrá mayor cantidad de residuos en frutos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El cultivo de tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) es un miembro de la familia solanácea. Estudios filogenéticos en base al genotipado de diferentes accesiones de tomate, revelan que se originó en la región andina ahora abarcada por Chile, Ecuador, Bolivia, Colombia y Perú; su domesticación parece haber seguido un proceso de dos pasos; una primera domesticación en América del Sur y un segundo paso en Mesoamérica. La distribución de los alelos de peso y forma de la fruta apoya que *S. lycopersicum* var. cerasiforme fue la variedad domesticada en la región andina (Blanca et al., 2012; Blanca et al., 2015). Antes de ser llevado a Europa en el siglo XV, el tomate había alcanzado una etapa de domesticación bastante avanzada y una mayor domesticación a un nivel mucho más intenso ocurrió en toda Europa en los siglos XVIII y XIX (Sims, 1980).

2.2 Importancia

2.2.1 Importancia mundial

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018) la producción mundial de tomate se ubicó en 182 millones 256 mil 459 toneladas, con un rendimiento promedio de 55.94 t ha⁻¹, es decir 5.5 kg m⁻² (Cuadro 1). El 61.7 por ciento de la producción se concentró en cinco países: China (33.8 por ciento), India (10.6 por ciento), Estados Unidos (6.9 por ciento), Turquía (6.7 por ciento) y Egipto (3.6 por ciento).

Cuadro 1. Producción mundial de tomate rojo en 2018.

No.	Países	Producción (t)	Porcentaje (%)	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Rendimiento (kg m ⁻²)
1	China	61,631,581	33.8	1,040,126	59.3	5.9
2	India	19,377,000	10.6	786,000	24.7	2.5
3	USA	12,612,139	6.9	130,280	96.8	9.7
4	Turquía	12,150,000	6.7	176,430	68.9	6.9
5	Egipto	6,624,733	3.6	161,702	41.0	4.1
6	Irán	6,577,109	3.6	158,991	41.4	4.1
7	Italia	5,798,103	3.2	97,092	59.7	6.0
8	España	4,768,595	2.6	56,128	85.0	8.5
9	México	4,559,375	2.5	90,323	50.5	5.0
10	Brasil	4,110,242	2.3	57,134	71.9	7.2
	Total	182,256,459	90.3	4,762,459	55.94	5.59

Fuente: FAO (2018).

Así mismo, México ocupó la novena posición con una participación de 2.5 por ciento. No obstante, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA, 2019) reporta que México es el principal exportador de tomate a nivel mundial, abarcando el 23 por ciento del volumen total, seguido por Países Bajos (14.5 por ciento), España (10.7 por ciento), Irán (7.0 por ciento), Marruecos (7.0 por ciento), entre otros. Estados Unidos es el principal país importador del tomate mexicano con un volumen del 84.9 por ciento.

2.2.2 Importancia nacional

De acuerdo con la información proporcionada por FIRA (2019) la producción de tomate rojo en México creció a una tasa promedio anual del 3.6 por ciento entre 2007 y 2017. Para el año 2019, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reporta que la producción de tomate en México fue de 3.44 millones de toneladas que pertenece a un valor de producción de 29 millones 874 mil 007 pesos. La superficie total sembrada fue de 47 mil 372.94 hectáreas, de lo cual el 65 % se destinó a la producción a cielo abierto y el 35 % en agricultura protegida (malla sombra, invernadero y macro túnel). Sin embargo, a pesar de la menor superficie de siembra destinada a la agricultura protegida, ésta acaparó el 68 % de la producción nacional de tomate, mientras que la producción a cielo abierto aportó el 32 % del volumen total de producción. Hay que mencionar, además que los principales estados productores de tomate en México son: Sinaloa (22.2 por ciento), San Luis Potosí (11.3 por ciento), Michoacán (8.1 por ciento), Zacatecas (5.2 por ciento) y Jalisco (5.1 por ciento), juntos aportan el 52 por ciento de la producción nacional.

2.3 Requerimientos climáticos del tomate en invernadero

Jones (2013) menciona que los principales factores ambientales que afectan la producción de tomate en invernadero incluyen: temperaturas del aire y de la zona radical, humedad relativa (HR), condiciones de luz, enfermedades e insectos, así como dióxido de carbono. El manejo adecuado de estos parámetros, con el fin de lograr rendimientos máximos con insumos mínimos de energía, tiene un impacto directo en el desarrollo del crecimiento del tomate y juega un papel crucial en la prevención del estrés de los cultivos.

2.3.1 Temperatura ambiental

Jones (2008) señala que la planta de tomate prefiere el clima cálido, ya que las temperaturas del aire menos de 10 °C retrasarán la germinación de las semillas, inhibirán el desarrollo vegetativo, reducirán el cuajado y afectarán la maduración de los frutos. La planta de tomate no puede tolerar heladas. Las altas temperaturas del aire, por encima de 35 °C, reducen el cuajado e inhiben el

desarrollo del color normal de la fruta. Por lo que el rango óptimo de temperatura del aire para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas y el cuajado de frutos esta entre 18.5 y 26.5 °C, con rangos de temperatura diurna y nocturna de 21 a 29.5 °C y de 18.5 a 21 °C, respectivamente; además la temperatura base del crecimiento es 10.5 °C, una temperatura por debajo de la cual el crecimiento es insignificante. Por otra parte, estudios han demostrado que la temperatura del dosel (hojas) puede ser mucho más importante en el crecimiento de las plantas, en donde la combinación de humedad relativa y tasa de transpiración de la planta determina la temperatura del dosel. Se recomienda que el rango óptimo de temperatura del aire dentro del dosel esté entre 20 y 22 ° C (Jones, 2013).

2.3.2 Temperatura de la raíz

La temperatura de la zona radical también afecta el crecimiento del tomate, especialmente en los procesos de formación de brotes y floración. La temperatura óptima para la raíz es de 27 °C (Jones, 2013).

2.3.3 Radiación solar

El cultivo de tomate es exigente en la radiación solar, cuando se desarrolla en épocas o condiciones de baja irradiancia, el ciclo vegetativo se prolonga significativamente, la planta se alarga y el tallo es delgado. Cuando se combinan baja irradiancia con temperatura alta, la planta llega a presentar hasta 18 hojas antes del primer racimo (Castro, 1992). Así mismo, este cultivo requiere para su correcto funcionamiento fisiológico de al menos 500-550 h de luz diurna en la temporada de crecimiento habitual de tres meses (una media de 6 h luz día⁻¹) (Baudoin et al., 2013).

En cuanto a la intensidad de luz, para lograr la maduración de buenos frutos y con maduración precoz, se requiere como mínimo 5,000 a 7,000 pies-bujía (Garza, 1985, como se citó en Bastida, 2012).

2.3.4 Humedad relativa

ASABE (2015, como se citó en Shamshiri et al., 2018) argumenta que para la mayoría de las variedades de tomate de invernadero se considera apropiado un

rango de humedad relativa entre 60-90 %; pero, se sugiere un rango óptimo de 50-70 %.

2.3.5 Déficit de presión de vapor de agua

Shamshiri et al. (2018) afirman que el parámetro principal para controlar la absorción de agua de la planta en el ambiente del invernadero, que, a su vez, afecta otros procesos fisiológicos (polinización, crecimiento y rendimiento), es el déficit de presión de vapor de agua (VPD) en el aire; el cual se refiere a la fuerza impulsora del movimiento del agua entre las raíces y las hojas, es decir está directamente relacionado con la transpiración. La VPD aumenta exponencialmente con un aumento de la temperatura del aire.

Para la producción de tomate bajo invernadero, se recomiendan valores óptimos de VPD en el rango de 0.3 a 1.0 kPa, una temperatura de 26 °C y HR del 60 %, los cuales darían como resultado un VPD de 1.35 kPa o 9.7 g m⁻³ (Heuvelink, 2018).

2.4 Prácticas culturales

2.4.1 Establecimiento del cultivo

El establecimiento del cultivo consiste en el trasplante del material de propagación en el sitio en donde se adelantará su crecimiento y desarrollo. En el sistema de producción hidropónico, el éxito durante el establecimiento del cultivo depende de factores como la humedad adecuada del sustrato, el estado nutricional y fitosanitario del mismo, la profundidad de siembra y la calidad del material de propagación, entre otros (Escobar et al., 2009).

2.4.2 Densidad de siembra

Grijalva et al. (2010) reportan una respuesta favorable del rendimiento de tomate cultivado en condiciones de invernadero al incrementar la densidad de plantación. La densidad de 3.78 plantas m⁻² condujo a un solo tallo por planta con una distancia entre planta de 33 cm a doble hilera separada a 40 cm en tres bolillos, obtuvo un rendimiento de 29.6 kg m⁻².

2.4.3 Riego

El agua utilizada para riego en cultivos sin suelo debe tener una conductividad eléctrica inferior a $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, un pH de 5.4 a 6.3 y una alcalinidad inferior a 2 meq L^{-1} (Heuvelink, 2018). Por otra parte, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA, 2017) señala que las necesidades netas de riego fluctúan en general entre 1.500 y $6.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, dependiendo de la zona, de la variedad, del uso de cubiertas plásticas, del uso de mallas anti áfidos y la pluviometría del año de cultivo, entre otras. A partir de las necesidades netas de un cultivo, es posible determinar las necesidades brutas de riego, al considerar la eficiencia del sistema de riego. Por ejemplo, considerando una necesidad neta de $4.500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, si se riega por goteo (eficiencia del 90 %) se requerirán $5.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de agua. Se recomienda regar frecuentemente durante la etapa de floración y cuajado del fruto ya que al final de este periodo el cultivo aumenta al máximo su demanda de agua.

2.4.4 Fertilización

Cada cultivo tiene su propia demanda de los 16 elementos esenciales para un crecimiento y desarrollo óptimo. La demanda nutrimental está relacionada con la absorción y extracción nutrimental. La absorción nutrimental es la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo; mientras que la extracción nutrimental, se refiere a la cantidad total de nutrientes extraídos en los órganos cosechados en término de materia seca (International Plant Nutrition Institute [IPNI], 2008). La diferencia entre estas dos palabras, cobra importancia cuando se practica la fertilización del suelo bajo el criterio de reposición, en donde se calcula la demanda nutrimental mediante la absorción nutrimental del cultivo, que implica la aplicación de todos los nutrientes que fueron tomados por el cultivo. Por lo que antes de elaborar un esquema de fertilización del cultivo de tomate, será necesario conocer sus requerimientos nutrimentales (Cuadro 2).

Cuadro 2. Absorción nutrimental, extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios en frutos de tomate por tonelada de fruto cosechado.

Nutriente	Absorción total (Kg t⁻¹)	Extracción (Kg t⁻¹)
N	2.8	1.9
P	0.4	0.2
K	4.5	3.1
Ca	2.8	0.1
Mg	0.7	0.1
S	0.9	0.1

Fuente: IPNI (2008).

En este caso en particular, si queremos producir 184 toneladas de tomate en un sistema de producción bajo invernadero, necesitaremos aplicar en el ciclo de producción un total de 350 kg de nitrógeno, 37 kg de fósforo, 570 kg de potasio, 18 kg de calcio, 18 kg de magnesio y 18 kg de azufre, el cual se fraccionará de acuerdo a la fenología del cultivo.

El Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI, 2017) enfatiza que actualmente la nutrición de las hortalizas intensivas como el tomate es suministrado a través de una solución nutritiva, en lugar de dosis de fertilizantes. En el Cuadro 3 se muestra una solución nutritiva de referencia para el cultivo de tomate en sustrato de acuerdo a las diferentes etapas de crecimiento. Esta solución se deberá adaptar a las condiciones climáticas de cada región y variedad a establecer.

Cuadro 3. Solución nutritiva para tomate en sustrato.

Nutrimento	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa general
	1 ^{er} cuaje	1 ^{er} al 3 ^{er} cuaje	3 ^{er} al 5 ^{to} cuaje	5 ^{to} en adelante
	meq L ⁻¹			
Nitratos	6	8	10	12
Amonio	0	0	0.5	1.0
Fósforo	1.5	1.5	1.5	1.5
Potasio	3.5	5.5	7	8.5
Calcio	8	8	8	9
Magnesio	2	3	4	5
Sulfatos	3-6	3-6	3-6	3-8
Bicarbonatos	1	1	1	1
Sodio	<5	<5	<5	<5
Cloro	2-6	2-6	2-6	2-6
CE	1.4	1.9	2.3	2.4

Fuente: Castellanos (2009, como se citó en INTAGRI, 2017).

2.4.5 Tutorado de plantas

La comercializadora Hydroenv (2020) señala que el cultivo de tomate hidropónico, dentro y fuera del invernadero, requiere del tutorado con el objetivo de mejorar la ventilación e iluminación en toda la planta, así como optimizar los espacios y evitar que los frutos toquen el suelo. El tutoreo comienza cuando la planta alcanza entre 20 a 30 cm de altura. Esta actividad consiste, en guiar verticalmente la planta a través de un amarre del tallo principal con la ayuda de una estaca o rafia agrícola, utilizando una vuelta floja y/o anillo para tutorado.

2.4.6 Podas

La poda tiene como propósito lograr un balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo (frutos): así mismo, optimiza el espacio y reduce problemas sanitarios, obteniendo mayor precocidad (INIA, 2017). Los tipos de podas a

realizar, depende del hábito de crecimiento del cultivo. Se diferencian dos tipos de hábitos de crecimiento: determinados e indeterminados. Las variedades indeterminadas se caracterizan porque su tallo principal y lateral continúan su crecimiento en un patrón continuo durante el ciclo del cultivo, el tallo principal puede alcanzar hasta 5 metros de longitud, usualmente son cultivadas en invernaderos o casa sombra para consumo en fresco; por el contrario, el tallo principal y lateral de los tomates de crecimiento determinado detienen su crecimiento después de un determinado número de inflorescencias. Estas plantas pueden alcanzar una longitud máxima de dos metros y generalmente se prefieren para uso industrial (Escobar et al., 2009; Haifa Group, s.f.).

Según INIA (2017), se pueden realizar cinco tipos de podas en el cultivo de tomate:

Poda de formación

Consiste en la eliminación de los brotes laterales que salen desde las axilas de las hojas, dejando solamente el eje principal de la planta. Las plantas de tomate se pueden manejar a 1, 2, 3 y 4 ejes, dependiendo del vigor de la variedad.

Poda de brotes

Este manejo consiste principalmente en la eliminación de brotes axilares a lo largo de la planta, para dejar sólo al eje principal, con el fin de mantener la arquitectura de la planta. La poda de brotes se realiza en forma periódica a lo largo del cultivo y se puede hacer manualmente cuando los brotes son menores de 10 cm. Cuando son más grandes, es recomendable la utilización de herramientas como tijeras finas. Se recomienda realizar estas labores en la tarde, ya que en este horario la humedad ambiental es bajo (< 50 %) a una temperatura entre 20 y 25 °C, lo que permite una cicatrización más rápida de las heridas del corte de los brotes, y de esta forma, se disminuye el porcentaje de ocurrencia de enfermedades.

Eliminación de hojas

La eliminación de hojas es un manejo que se realiza con el objetivo de mejorar la entrada de luz y la aireación del cultivo, para incrementar la productividad y evitar la proliferación de enfermedades por exceso de follaje y humedad. También se realiza deshoje en hojas viejas que se encuentran por debajo del último racimo cosechado, ya que no cumplen una función fisiológica importante en la planta. El deshoje se realiza cortando completamente la hoja desde la base del pecíolo y luego debe ser eliminado de las cercanías del invernadero. Se sugiere realizar este manejo en horas de la tarde al igual que la poda de brotes.

Despunte

Este manejo es utilizado para detener el crecimiento de la planta, a través de la eliminación del ápice de crecimiento cortando el brote apical del eje principal, manejo que ayuda a controlar la altura de la planta y la cantidad de racimos que se desean producir, con el propósito de incrementar y homogenizar calibre, como también adelantar la maduración del fruto (precocidad). El despunte se realiza en una o dos hojas sobre el último racimo, con el propósito de evitar el daño por golpe de sol. En variedades comerciales indeterminadas conducidas a un eje, este manejo se realiza desde el 5° hasta el 8° racimo. En sistemas de conducción de dos ejes y cuando las condiciones agroclimáticas y la tecnología (invernaderos metálicos de 8 m de altura) lo permiten, se despunta entre los 15 y 18 racimos.

Raleo de frutos

Este manejo se realiza para homogenizar e incrementar calibre de los frutos, ya que los racimos podrían producir más de seis flores (potenciales frutos). El criterio para eliminar o ralear las flores de un racimo es descartar las flores menos vigorosas (distales) dejando las más grandes.

2.4.7 Bajado de plantas

Bustamante et al. (2013) mencionan que el bajado inicia cuando la planta ha generado de 10 a 12 simpodios reproductivos y se realiza con el objetivo de

mejorar la maniobrabilidad y el desempeño fisiológico de las plantas; en el primer caso, se facilita el manejo y la cosecha de los frutos con la madurez deseada. La labor del bajado de plantas es clave para la prolongación del ciclo de producción, ya que, si los nuevos simpodios se desarrollan en un estrato adverso, el estrés al que se someten restringe su crecimiento y productividad. La frecuencia de bajado depende de las condiciones ambientales de la temporada, por ejemplo, en las unidades de producción en Morelos es posible mantener los nuevos simpodios en formación entre los 3 y 4 m durante las épocas frescas; sin embargo, en las épocas cálidas es indispensable mantener las plantas debajo de los 2.5 m. Las plantas se deben bajar tirándolas a lo largo de su eje de soporte de manera que los ápices coincidan a una misma altura y reciban luz con uniformidad para propiciar una distribución de asimilados y crecimiento uniforme.

2.4.8 Plagas y enfermedades en tomate

The American Phytopathological Society (APS, 2020) reporta alrededor de 100 especies de fitopatógenos en el cultivo de tomate, de los cuales 38 son hongos, 22 virus, 16 bacterias, 15 nemátodos, 6 viroides y 3 fitoplasmas. Las enfermedades fúngicas más importantes del tomate son: tizón tardío, causado por *Phytophthora infestans* provoca pérdidas económicas del 20 al 70 %, la pudrición por *Sclerotinia*, la marchitez y pudrición del cuello de la raíz por *Fusarium* que origina pérdidas de rendimiento del 10 al 80 % (Singh et al., 2017).

Los nemátodos son un grupo de fitopatógenos que no solo afectan el rendimiento del cultivo, sino que también hacen que las plantas sean más susceptibles a las infecciones fúngicas y bacterianas. Tal es el caso de *Meloidogyne* sp. responsable de la formación de agallas en las raíces, una enfermedad muy devastadora y extendida de hortalizas en todo el mundo, en tomate causa pérdidas de rendimiento del 30 al 50 % (Yang et al., 2011).

En el caso de bacterias fitopatógenas las más importantes son: la mancha bacteriana de la hoja de tomate causada por *Xanthomonas campestris*, el marchitamiento bacteriano por *Ralstonia solanacearum* y la infección por *Clavibacter michiganensis* que causa marchitez y cancro en el tallo. Así mismo,

las enfermedades virales más importantes que afectan al cultivo de tomate son: Tomato spotted wilt virus, Tomato yellow leaf curl virus, Pepino mosaic virus y recientemente Tomato brown rugose fruit virus (Singh et al., 2017).

2.4.9 Cosecha

La cosecha de tomate se lleva a cabo manualmente y el grado de madurez a cosecha del fruto depende del mercado al que se dirige. Para un mercado local de tomate para consumo fresco se cosecha cuando el fruto adquiere el grado 2 o 3 (sazón avanzado) (López, 2017). En caso de cosechar frutas de diferente madurez, se recomienda clasificarlas según la norma oficial mexicana NMX-FF-031-1997-SCFI. El grado de madurez de la fruta y cosecha se determina mediante una escala de madurez de la fruta (Cuadro 4 y Figura 1).

Cuadro 4. Grado de madurez de la fruta de tomate.

Grado de madurez	Nomenclatura	Características
1	Sazón/verde	La piel del tomate está completamente verde. El color verde puede variar de verde claro a oscuro, con cambio del tono y con estrella beige en el ápice floral.
2	Sazón avanzada/quebrando verde rosa	Hay una interrupción distinta en el color de verde hasta amarillo, rosado o rojo en no más del 10 % de la piel.
3	Pintón inicial/rayado	Entre el 10 % y el 30 % de la superficie del tomate muestra un cambio definido del color verde hasta amarillo, rosado o rojo, o una mezcla de éstos.
4	Pintón medio/rosa	Entre el 30 % y el 60 % de la superficie del tomate, muestra un color rosado o rojo.
5	Pintón/rojo claro	Entre el 60 % y el 90 % de la superficie tiene color osado/rojo o rojo.
6	Maduro firme/rojo	Más del 90 % de la superficie del tomate muestra color rojo.

Fuente: López (2017 y NMX-FF-031-1997-SCFI, modificado por Juárez, 2020).



Figura 1. Patrón de color para frutos de tomate. Fuente: López, 2017.

2.5 Sistema hidropónico

La hidroponía se puede definir como el cultivo de plantas en condiciones sin suelo con nutrientes, agua y un medio inerte, es decir, grava, arena, perlita y otros sustratos. La palabra hidroponía tiene el origen griego de las palabras "hidro", que significa agua, y "ponos", que significa trabajo. Muchos sistemas hidropónicos utilizan un medio, que a menudo se denomina "cultivo sin suelo", sin embargo, la verdadera definición de hidroponía es cultivo en agua (Resh y Howard, 2012).

Hussain et al. (2014) argumentan que la hidroponía, surgió debido que, la agricultura basada en el suelo se enfrenta a algunos desafíos importantes con la rápida urbanización e industrialización en el mundo, tal es el caso del descenso en la disponibilidad de tierra per cápita, las amenazas del cambio climático y sus efectos adversos; así mismo los suelos pueden limitar el crecimiento de las plantas por presencia de organismos patógenos, problemas de compactación, mal drenaje y erosión. En dichas circunstancias la agricultura a campo abierto se dificulta.

2.5.1 Ventajas y desventajas de la hidroponía

Dentro de las ventajas de usar el sistema hidropónico para la producción de cultivos, destaca el uso eficiente del agua, pesticidas limitados, mayores rendimientos y producción de alimentos durante todo el año (Barbosa et al.,

2015). Una de las principales razones por las que se enfatiza la hidroponía como método de producción de alimentos respetuoso con el medio ambiente es el “énfasis en la recirculación del agua como una buena práctica agrícola que contribuye a la eficiencia en el uso del agua, debido a una evaporación mínima en los sistemas cerrados” (Benoit and Ceustermans, 2004, como se citó en Treftz and Omaye, 2016). Los sistemas hidropónicos también producen un mayor rendimiento por área debido a las condiciones óptimas de crecimiento y al control ambiental; así mismo, estudios recientes han mostrado resultados beneficiosos para la calidad nutricional y sensorial de los alimentos cultivados hidropónicamente (Treftz and Omaye, 2016).

En cuanto a las desventajas del sistema hidropónico, el alto costo inicial de instalación y los gastos de producción en invernadero, limitan la producción de alimentos. Además, quienes cuidan las plantas deben tener conocimiento del sistema y los principios de la hidroponía, como el mantenimiento cuidadoso del pH, la solución nutritiva y los niveles de agua (Resh y Howard, 2012). Aunque la hidroponía puede cultivarse en tierras no cultivables su ejecución depende de la electricidad y la calidad del agua; además al ser un sistema cerrado, puede ser vulnerable a enfermedades de marchitez causados por *Verticillum*, *Pythium* y *Fusarium* (Treftz and Omaye, 2016).

2.6 Parámetros de calidad de frutas y hortalizas

López (2003) plantea que existe una tendencia general del consumidor de frutas y hortalizas en la creciente demanda de calidad superior tanto externa como interna. Los aspectos externos (presentación, apariencia, uniformidad, madurez, frescura) son los componentes principales de la decisión de compra, así mismo la calidad interna (sabor, aroma, textura, valor nutritivo, inocuidad) está vinculado a aspectos generalmente no perceptibles.

2.6.1 Componentes de calidad

De acuerdo a López (2003) los componentes de calidad son:

Apariencia

Es la primera impresión que el consumidor recibe y el componente más importante para la aceptación y eventualmente la compra. Ejemplo: forma, uniformidad, frescura, madurez, ausencia de defectos, color, brillo y textura (firmeza, crocantez, jugosidad y fibrosidad). En términos de textura, cada producto es valorado de manera diferente: en el caso de tomate y pimiento se valora más la firmeza.

Flavor

Es la combinación de las sensaciones percibidas por la lengua (sabor o gusto) y por la nariz (aromas), está asociado a las características organolépticas. En frutas y hortalizas, el sabor se expresa como la combinación de principios dulces y ácidos. El contenido de sólidos solubles es una buena estimación del contenido de azúcares totales. Los ácidos orgánicos (cítrico, málico, oxálico, tartárico), expresado en acidez titulable son el otro importante componente del sabor y tienden a disminuir a medida que el fruto madura por lo que la relación con los sólidos solubles tiende a aumentar. La relación sólidos solubles/acidez titulable se denomina ratio.

Valor nutritivo

Es la capacidad de los alimentos, en este caso frutas y verduras para satisfacer las necesidades diarias de determinados nutrientes. Ejemplo: contenido de vitaminas, minerales, fibras y en menor medida carbohidratos, proteínas y lípidos.

Seguridad

La seguridad de los alimentos consiste en la ausencia de sustancias dañinas para la salud, que pueden ser bióticos o abióticos.

Riesgos bióticos. Presencia de organismos patógenos de humanos en los alimentos de consumo fresco, ejemplo: Salmonella spp., Aeromonas spp., Escherichia coli, así como toxinas producidas por Clostridium botulinum, etc.

Riesgos abióticos. La presencia de residuos de agroquímicos en frutas y hortalizas en niveles peligrosos para el ser humano ha sido siempre una preocupación. Cada país tiene una legislación propia en términos de Límites Máximos de Residuos de Plaguicidas (LMR) aunque en general se acepta lo establecido por el Codex Alimentarius.

2.7 Plaguicidas

La FAO en colaboración con el PNUMA (1990) definen el término plaguicida “como productos químicos diseñados para combatir los ataques de diversas plagas y vectores en cultivos agrícolas, animales domésticos y seres humanos”. El término también incluye productos químicos utilizados como reguladores del crecimiento, defoliantes, desecantes, agentes adelgazantes de frutos o agentes para prevenir la caída prematura de frutos, y sustancias que se aplican a los cultivos antes o después de la cosecha para evitar el deterioro durante el almacenamiento o transporte. Sin embargo, el término excluye fertilizantes, aditivos alimentarios y medicamentos para animales (Stoytcheva, 2011).

2.7.1 Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas incluyen, propiedades físicas, propiedades de solvatación relacionadas con interacciones en diferentes medios y propiedades o atributos moleculares que definen la reactividad química intrínseca de una sustancia química. Las propiedades fisicoquímicas se pueden utilizar para identificar peligros físicos y para comprender o predecir el destino ambiental, la toxicidad humana o la ecotoxicidad de una sustancia química (Committee on the Design and Evaluation of Safer Chemical Substitutions, 2014).

Según Stoytcheva (2011) las propiedades fisicoquímicas más importantes de los plaguicidas son:

Peso y forma molecular

El peso molecular de una sustancia es la suma de los pesos atómicos individuales de todos los átomos que forman una molécula. El peso molecular de

un plaguicida es una propiedad inherente que distingue a un plaguicida de otro excepto en el caso de plaguicidas estereoisoméricos que comparten pesos moleculares similares y sólo difieren en las orientaciones espaciales del grupo en centros quirales. Los plaguicidas comunes en fase gaseosa, tienen un peso molecular de aproximadamente 103 o menos.

Presión de vapor

Es la medida de la facilidad con la que una sustancia puede volatilizarse y convertirse en vapor (estado gaseoso). Los plaguicidas con modo de acción fumigante tienen alta presión de vapor, esto les ayuda a tener un mejor poder de penetración. Los plaguicidas con alta presión de vapor deben manipularse de manera que los vapores no se escapen a la atmósfera. Un pesticida con baja presión de vapor no se mueve en el aire, por lo que existe la posibilidad de que se acumule en el agua si es soluble en agua. Si no es soluble en agua, el pesticida puede acumularse en el suelo o en la biota. La presión de vapor se expresa en mili pascal (Mpa).

Solubilidad

Es una medida de la facilidad con que una sustancia determinada se disuelve en un disolvente determinado. Las unidades de solubilidad en agua comúnmente son en ppm o mg L^{-1} . La importancia de la solubilidad de los plaguicidas en el medio ambiente es que un plaguicida que es muy soluble en agua tenderá a no acumularse en el suelo o la biota debido a su fuerte naturaleza polar. Esto sugiere que se degradará por hidrólisis, que es una reacción preferida en agua.

Coeficiente de partición o de reparto (Kow)

Es una relación medida (en equilibrio) de la masa disuelta de la sustancia entre capas iguales de n-octanol y agua. Se expresa como Log Kow (logaritmo de la base 10 de Kow) y los valores oscilan entre -3 a 7. Kow es considerado un buen indicador de la bioacumulación de plaguicidas en organismos y cadenas alimentarias, los plaguicidas con una correlación positiva tienen más

probabilidades de tener efectos de bioacumulación en organismos y cadenas alimentarias. El parámetro también es un buen indicador del modo de acción sistémico de un plaguicida.

Constante de la ley de Henry-H (HLC)

Es una medida de la concentración de una sustancia química en el aire sobre su concentración en el agua. Expresa la tendencia de un material a volatilizarse de una solución acuosa al aire. El significado ambiental de la constante de la ley de Henry es que un pesticida con un valor alto de HLC se volatizará del agua al aire y se distribuirá en un área grande. Por el contrario, un plaguicida con un valor de HLC bajo tiende a persistir en el agua y puede ser adsorbido en el suelo y sedimento.

2.7.2 Límites Máximos de Residuos de Plaguicidas (LMR)

La Comisión del Codex Alimentarius de la FAO (2020), establece Límites Máximos de Residuos de Plaguicidas para alimentos y piensos, con el fin de favorecer la inocuidad alimentaria y el comercio internacional. Un LMR “es el nivel máximo de residuos de un plaguicida que se permite legalmente en los alimentos o piensos (tanto en el interior como en la superficie)” cuando los plaguicidas se aplican correctamente conforme a las buenas prácticas agrícolas.

2.7.3 Persistencia

Según Pavan y Worth (2008) “la persistencia de una sustancia es el tiempo que permanece en un entorno particular antes de que sea transportada físicamente a otro compartimento y / o se transforme química o biológicamente”. Por su parte, Fishel (2008) define persistencia como “la capacidad de un pesticida de permanecer presente y activo en su forma original durante un período prolongado antes de degradarse” y se describe en términos de su vida media, a mayor vida media, más persistente será el plaguicida.

En ocasiones, los residuos persistentes de plaguicidas a veces son deseables porque proporcionan un control de plagas a largo plazo y reducen la necesidad de aplicaciones repetidas. Sin embargo, algunos plaguicidas persistentes que se

aplican al suelo, a las plantas, o que se derraman en el suelo, pueden dañar posteriormente a plantas o animales sensibles, incluidos los seres humanos, además al ser persistentes pueden dar lugar a la presencia de residuos ilegales en cultivos rotativos de alimentos o piensos.

2.7.4 Degradación

La degradación de los plaguicidas “es la descomposición o transformación química de las moléculas de plaguicidas en otras formas que no son necesariamente más simples y menos tóxicas en comparación con la molécula original” (Stoytcheva, 2011). La degradación de los plaguicidas se expresa en términos de tasa de degradación (tasa de disipación) y generalmente se mide en vida media, que es el tiempo requerido para el agotamiento de la mitad (50 %) de la cantidad del plaguicida presente inicialmente. Los procesos de degradación de los plaguicidas pueden clasificarse en dos grupos: degradación química y biológica. La degradación química ocurre generalmente en agua o en la atmósfera (oxidación, reducción, hidrólisis y fotólisis). Por su parte, la degradación biológica ocurre generalmente en el suelo y en los organismos vivos (oxidación, reducción, hidrólisis y conjugación).

2.8 Paclobutrazol (PBZ)

2.8.1 Modo de acción

El paclobutrazol es un retardador de crecimiento derivado de la familia de los triazoles que inhibe la biosíntesis de esterol y giberelinas, en específico inhibe la actividad de la ent-kaureno oxidasa, que es una enzima en la vía biosintética de GA que cataliza la oxidación de ent-kaureno a ácido ent-kaurenoico, dando como resultado cantidades reducidas de giberelinas activas y la consiguiente reducción de la elongación del tallo, por lo que es usado comúnmente como alternativa para reducir la altura de las plantas (Ribeiro et al., 2019; Tesfahun, 2018; Kondhare et al., 2014).

Otro rasgo importante del paclobutrazol es su movilidad en el interior de la planta, Liñán (2016) indica que el PBZ se absorbe pasivamente por las raíces, tallos y

hojas, y se mueve por xilema en sentido acropéto hacia las hojas y yemas. Al alcanzar las zonas meristemáticas subapicales impide la producción de giberelinas mediante la inhibición de la oxidación del kaureno a ácido kaurenoico, lo que reduce el ritmo de la división celular sin causar fitotoxicidad; incrementa el contenido de clorofila, citocininas, ácido abscísico e inhibe la biosíntesis de ergosterol, por lo que usado como tratamiento foliar posee una cierta actividad fungicida sobre *Podosphaera leucotricha* (cenicilla de frutales de pepita) y *Venturia inaequalis* (roña del manzano).

2.8.2 Propiedades fisicoquímicas de PBZ

En base a la descripción de las propiedades fisicoquímicas más importantes que se deben tomar en cuenta para conocer el modo de acción, dosificación, modo de aplicación y la quimiodinámica ambiental de un plaguicida (Stoytcheva, 2011). A continuación, se describen las propiedades químicas más importantes de paclobutrazol.

El paclobutrazol posee baja solubilidad en agua (22.9 mg L^{-1} a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que significa que es poco soluble en agua por lo que tenderá acumularse en el suelo o en la biota debido a su fuerte naturaleza apolar; su presión de vapor es baja (0.0019 mPa a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$), es decir el PBZ no se mueve a través del aire y su baja solubilidad en agua lo hace propenso a acumularse en el suelo y en la biota; posee un valor de constante de Henry bajo ($2.39 \times 10^{-05} \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1}$ a $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$) que quiere decir que la molécula tiende a persistir en el agua y puede ser adsorbido en el suelo y sedimento. Así mismo este plaguicida presenta un coeficiente de partición alto ($3.11 \log$ en un pH 7, 20°C) con un valor positivo y denota que la molécula tiene más probabilidad de tener efectos de bioacumulación en organismos y cadenas alimentarias. Esta última propiedad física también nos indica de una probable translocación sistémica a través del sistema vascular de las plantas (datos obtenidos de Pesticide Properties DataBase [PPDB], publicado por Lewis et al., 2016).

2.8.3 Persistencia y degradación de PBZ

Respecto a la persistencia de paclobutrazol, varios estudios mencionan que es un plaguicida persistente. Bhattacharjee and Singh (2015) encontraron que paclobutrazol persistió hasta 300 días después de su aplicación al suelo en una cuenca arbórea de mango, con una tasa de degradación de 41.5 y 43 días. Shalini and Sharma (2006) reportan que los residuos de paclobutrazol persistieron en todas las profundidades del suelo durante al menos 150 días, los residuos se disiparon con vidas medias de entre 29-31 días en la superficie del suelo (0-15 cm de profundidad). En un estudio donde se determinó residuos de paclobutrazol en el suelo y su dinámica de disipación Liu et al. (2015) reportan una vida media de 20.64 días y a los 50 días el residuo en el suelo permaneció por debajo de 0.22 mg Kg⁻¹.

2.8.4 Límite máximo de residuos permitidos

El regulador de crecimiento paclobutrazol, no se encuentra en el índice de plaguicidas del Codex Alimentarius y por consiguiente tampoco aparece en la lista de plaguicidas autorizados para el cultivo de tomate. No obstante, para proteger la salud de los consumidores, la mayoría de los países también han establecido por ley límites máximos de presencia de residuos de plaguicidas en los alimentos. Por ejemplo, Japón establece que el límite máximo de residuos de paclobutrazol permitido para tomate fresco es de 0.05 mg Kg⁻¹, mientras que la Unión Europea establece un LMR de 0.01 para tomate (AGQ Labs México, 2020).

2.8.5 Uso de PBZ en la agricultura

Tesfahun (2018) expresa que la aplicación de PBZ reduce la altura de las plantas, mejora el diámetro del tallo, el número de hojas, altera la arquitectura de las raíces, reduce eficazmente el crecimiento vegetativo de las plantas de arroz y aumenta el contenido de clorofila. Las plántulas de arroz tratadas con paclobutrazol asignaron menos fotosintatos para el crecimiento vegetativo; asignaron más fotosintatos para el desarrollo de semillas en comparación con las plantas de control (Dewi et al., 2016). En maíz bajo estrés por sequía, la aplicación de 50 ppm de paclobutrazol aumentó el rendimiento y el peso

promedio de 1,000 semillas (Bayat and Sepehri, 2012). Además, se han propuesto las posibles hipótesis sobre la regulación de la tolerancia a la sequía por parte de PBZ, que establecen que mantiene los niveles de citoquininas endógenas y estabiliza el potencial hídrico foliar y aumenta el espesor de la hoja (Sankar et al., 2013). PBZ también regula la producción de osmoreguladores como prolina libre, glicina betaína y promueve la actividad de enzimas antioxidantes, reduciendo así la toxicidad derivada del estrés por sequía (Tesfahun, 2018).

2.8.6 Antecedentes de PBZ en el cultivo de tomate

A continuación, se muestra un compendio de algunos estudios sobre el efecto de paclobutrazol en el cultivo de tomate.

Berova and Zlatev (2000) estudiaron el efecto fisiológico de PBZ y su impacto en el rendimiento de las plantas de tomate, y reportan que la aplicación de PBZ reduce la altura, aumenta el grosor de tallo, acelera la formación de raíces y frutos de tomate. Los tratamientos: aplicación al suelo con (1 mg L^{-1}) y aplicación foliar (25 mg L^{-1}) con PBZ mejoraron la actividad fotosintética y el equilibrio hídrico del tomate. Además, las concentraciones utilizadas del retardante y el modo de aplicación aseguran la producción de frutos inocuos (sin residuos de PBZ).

Magnitskiy et al. (2006) evaluaron el efecto de remojar semillas de pepino y tomate en soluciones de PBZ sobre el peso de fruta, tamaño de fruta y el nivel de PBZ en frutas. Sus resultados revelaron que PBZ se acumuló en las capas de semillas de pepino. Por otra parte, el remojo de semillas de tomate con 1000 mg L^{-1} PBZ no afectó el peso promedio de fruto. En ambos cultivos, no se detectó residuos de PBZ en frutos cosechados.

Brigard et al. (2006) determinaron el control de la altura de plántulas tempranas de tomate usando remojo de semillas con PBZ y hallaron que las plántulas tratadas con 100 mg L^{-1} de PBZ por 1 hora obtuvieron un control adecuado de la altura con un mínimo efecto residual sobre el crecimiento posterior de la planta.

Velázquez et al. (2008) evaluaron la producción de plantas de tomate y chile aplicando PBZ al follaje y encontraron que la altura de tomate se retardó con 100, 150 y 200 mg L⁻¹ de PBZ durante la etapa con dos y cuatro hojas verdaderas. También observaron que la concentración de 250 mg L⁻¹ ya no mostró efecto en la altura; mientras que las concentraciones de 300 y 350 mg L⁻¹ estimularon la altura de las plantas de tomate.

Seleguini et al. (2011) estudiaron la vida útil y calidad de frutos de tomate tratados con paclobutrazol y concluyeron que las concentraciones de 50 y 100 mg L⁻¹ de PBZ asperjados al follaje de plántulas (15 días después de la siembra) no afectaron la vida útil ni la calidad de frutos de tomate cosechados. Sin embargo, el aumento de las concentraciones resultó en menor pérdida de materia fresca de frutos, menor firmeza y acidez.

Santiago et al. (2011) determinaron el efecto de PBZ sobre el crecimiento, la emisión de brotes laterales y la productividad de dos híbridos de tomate (Jennifer y AF 7631), en campo abierto y en ambiente protegido. Como resultado obtuvieron que el uso de concentraciones crecientes de PBZ (50, 100 y 150 mg L⁻¹) aplicados al follaje de plántulas (15 días después de la siembra), redujo la tasa de crecimiento, altura de las plantas, brotación lateral y la productividad del cultivo.

Seleguini et al. (2013) evaluaron las estrategias para la producción de plántulas de tomate utilizando PBZ, compararon el efecto de tres concentraciones (0, 50 y 100 mg L⁻¹ de PBZ) y dos métodos de aplicación (tratamiento de semillas y aspersión de plántulas) sobre la emergencia y producción de plántulas de tomate indeterminado. Concluyeron que la aplicación de PBZ vía aspersión de plántulas (15 después de la siembra) no comprometió la emergencia de plántulas, redujo significativamente la tasa de crecimiento y el tamaño de plántulas, sin afectar el diámetro del tallo, además de permitir la acumulación de materia seca en las raíces. La concentración de 50 mg L⁻¹ resultó ser suficiente para obtener plántulas más compactas, sin dañar el área foliar, cuando se aplica vía aspersión, además

de permitir un aumento de aproximadamente 37 % en la materia seca de las raíces.

Santiago et al. (2014) estudiaron el uso de PBZ en la producción de plántulas de tomate y encontraron que la aplicación de PBZ (vía aspersion 15 días después de la siembra) reduce la masa seca aérea, aumenta la masa seca de la raíz y aumenta la calidad de las plántulas. La altura de la planta se reduce a una concentración de 50 y 100 mg L⁻¹ PBZ; mientras que a concentraciones mayores de 150 mg L⁻¹ la altura tiende a incrementarse. Por el contrario, el diámetro del tallo se incrementa con 50 y 100 mg L⁻¹ y se reduce a con concentraciones mayores de 150 mg L⁻¹.

Campos et al. (2014) analizaron el efecto de la pelliculización de semillas de tomate con PBZ y encontraron que la pelliculización de semillas es eficaz para acondicionar la altura de las plántulas, pero afecta la germinación y el vigor de las semillas.

Seleguini et al. (2016) estudiaron el efecto de PBZ sobre el crecimiento vegetal y la producción de tomate en un ambiente protegido. Como resultado encontraron que, las concentraciones de 50 y 100 mg L⁻¹ de PBZ, mediante la aspersion de plántulas (15 días después de la siembra), reduce significativamente la altura de las plantas de tomate. Así mismo, el aumento de las concentraciones de PBZ disminuye el vigor de los brotes laterales e incrementa la producción de frutos medianos y pequeños.

Carneiro et al. (2017) evaluaron crecimiento, producción y calidad de frutos de tomate en un cultivo denso utilizando paclobutrazol y encontraron que la aplicación de 42.5 mg L⁻¹ PBZ vía aspersion de plántulas (10 días después de la siembra) disminuyó la altura de las plantas; sin embargo, no afectó parámetros de producción ni parámetros de calidad física y química de los frutos de tomate, no se detectaron residuos en los frutos cosechados. Además, los resultados mostraron que, el efecto de PBZ en la reducción de la altura, incremento de

diámetro de tallo e incremento en el contenido de clorofila en las hojas tienen un efecto limitado durante el ciclo del cultivo.

2.9 Análisis de residuos

El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA, 2010) manifiesta que los mercados de consumo hoy en día, tanto el mercado nacional como internacional exigen alimentos producidos bajo sistemas que reduzcan los riesgos de contaminación. En México la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) en coordinación con SENASICA vigilan la observancia de las disposiciones oficiales en materia de sistemas de reducción de riesgos de contaminación relacionados con la aplicación, buen uso y manejo seguro de insumos fitosanitarios y cumplimiento de los LMR de plaguicidas en productos de origen agrícola. Para obtener muestras representativas de tomates para su posterior análisis de residuos, SENASICA pone a disposición del público en general un manual técnico para el muestreo de productos agrícolas.

2.9.1 Muestreo de frutos

Para llevar a cabo el muestreo de frutos de tomate hidropónico, se utilizó el Manual Técnico de Muestreo de Productos Agrícolas para Determinación de Residuos de Plaguicidas (SENASICA, 2010). Se decidió emplear el método de “muestreo simple aleatorio” modificado para un sistema de producción en invernadero. Este tipo de muestreo es recomendable para superficies menores de 10 hectáreas y consiste en obtener una muestra primaria que estará conformada a su vez por cinco submuestras recolectadas en esquema de zig-zag. Cada submuestra deberá contener la misma cantidad de unidades y la recolección de éstas se realizará al azar. Los frutos en general se colectan de las plantas que se encuentran dentro del perímetro mencionado anteriormente, primero se obtienen submuestras, posteriormente las submuestras se homogenizan para formar muestra primaria y por último se separa la muestra de laboratorio. Para el caso específico del cultivo de tomate, el tamaño de submuestra deberá ser de 3.0 kg cada uno y el tamaño de muestra de laboratorio será entre 1.5 a 2.0 kg.

LITERATURA CITADA

- AGQ Labs México. (28 de septiembre de 2020). Listado de links para búsqueda de LMRs y legislaciones Internacionales. <https://agqlabs.es/wp-content/uploads/Listado-de-Links-para-b%C3%BAsqueda-de-LMRs-y-Legislaciones-Internacionales.pdf>
- Barbosa, G., Gadelha, F., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G.M., & Halden, R.U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs conventional agricultural methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (6), 6879-6891.
- Bastida Cañada, O. A. (2012). Métodos de cultivo hidropónico de jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero basados en doseles escaleriformes [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. Aprenderly Explore. <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines/references/examples/published-dissertation-references>
- Baudoin, W., Nono-Womdim, R., Lutaladio, N., Hodder, A., Castilla, N., Leonardi, C., De Pascale, S., Qaryouti, M., & Duffy R. (2013). Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: principles for mediterranean climate areas. <http://www.fao.org/3/a-i3284e.pdf>
- Bayat, S., & Sepehri, A. (2012). Paclobutrazol and salicylic acid application ameliorates the negative effect of water stress on growth and yield of maize plants. *Journal Researcher Agricultural Sciences* 8 (2), 127–139.
- Berova, M., & Zlatev, Z. (2000). Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Plant Growth Regulation*, 30, 117-123. <https://doi.org/10.1023/A:1006300326975>
- Bhattacharjee, A. K., Singh, V. K. (2015). Uptake of soil applied paclobutrazol in mango cv. Dashehari and its persistence in soil, leaves and fruits. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20, 39–43. <https://doi.org/10.1007/s40502-014-0135-2>
- Blanca, J., Cañizares, J., Cordero, L., Pascual, L., Díez, M. J., & Nuez, F. (2012). Variation Revealed by SNP Genotyping and morphology provides insight into the origin of the tomato. *PLoS ONE*, 7(10), e48198. doi: 10.1371/journal.pone.0048198
- Blanca, J., Montero-Pau, J., Sauvage, C., Bauchet, G., Illa, E., Díez, M. J., & Cañizares, J. (2015). Genomic variation in tomato, from wild ancestors to contemporary breeding accessions. *BMC Genomics*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1444-1>
- Brigard, J. P., Harkess, R. L., & Baldwin, B. S. (2006). Tomato Early Seedling Height Control Using a Paclobutrazol Seed Soak. *HortScience*, 41(3), 768-772. DOI: 10.21273/HORTSCI.41.3.768

- Bustamante, O. J. D., Vázquez, A. J. M. P., Trujillo, C. A., Reyes, R. J., y Escalona, F. O. (2013). Manual para el cultivo del jitomate en bioespacio e invernadero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro técnico No. 11.
- Campos de Melo, A. P., Seleguini, A., & Veloso, da R. S. V. (2014). Peliculização de sementes de tomate associada ao paclobutrazol. *Bragantia*, 73(2), 123-129. <https://dx.doi.org/10.1590/brag.2014.026>
- Carneiro Ferreira, N., Pradi Vendruscolo, E., Seleguini, A., De Souza Dourado, W., Gredson Sabin, C., & Dos Reis Nascimento, A. (2017). Crescimento, produção e qualidade de frutos de tomateiro em cultivo adensado com uso de paclobutrazol. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 72-79. <https://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5690>
- Castellanos, J.Z. 2009. Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Intagri.
- Castro, B., R. 1992. Respuesta a la aplicación de b-9 y tipo de poda en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), en altas densidades de población bajo invernadero en sistema hidropónico [Tesis Profesional inédita]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Comercializadora Hydroenv. (10 de septiembre de 2020). ¿Qué es el tutorado o tutoraje? https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=57
- Committee on the Design and Evaluation of Safer Chemical Substitutions. (2014). A Framework to Guide Selection of Chemical Alternatives. National Academies Press. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK253970/>
- Dewi, K., Agustina, R. Z., & Nurmalika, F. (2016). Effects of blue light and paclobutrazol on seed germination, vegetative growth and yield of black rice (*Oryza Sativa* L. 'Cempolreng'). *Biotropia*, 23(2), 85–96. <https://doi.org/10.11598/btb.2016.23.2.478>
- Escobar, H., y Lee, R. (2009). Manual de producción de tomate bajo invernadero. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attache_d_file/pdf-manual_produccion_de_tomate_-_pag.-_web-11-15.pdf
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2019). Panorama agroalimentario, tomate rojo. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Tomate-rojo-2019.pdf>
- Fishel, F. M. (2008). Pesticide characteristics. University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/PI/PI20200.pdf>
- Grijalva Contreras, R. L., Macías Duarte, R., Grijalva Durón, S. A., y Robles Contreras, F. (2010). *Biotecnia*, 12 (2). <https://doi.org/10.18633/bt.v12i2.85>

- Haifa Group. (s.f.). Recomendaciones nutricionales para tomate. https://www.haifa-group.com/sites/default/files/crop/Tomate_2014_1.pdf
- Heuvelink, Ep. (2018). Tomatoes (2nd ed.). CAB International. <https://lccn.loc.gov/2018002400>
- Hussain, A., Iqbal, K., Aziem, S., Mahato, P., & Negi, A.K. (2014). A review on the science of growing crops without soil (soilless culture) – a novel alternative for growing crops. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(11), 833-842.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2017). Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. Instituto de Desarrollo Agropecuario. <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/12%20Manual%20de%20Tomate%20Invernadero.pdf>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. (2017). Soluciones nutritivas para el cultivo de tomate. Serie Horticultura Protegida. Artículos Técnicos No. 33. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/soluciones-nutritivas-para-el-cultivo-de-tomate>
- International Plant Nutrition Institute. (2008). Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II. Hortalizas, frutales y forrajeras. Archivo agronómico # 12. <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1083>
- Jones, J. B. (2008). Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden (2nd ed.). Taylor & Francis Group.
- Jones, J. B. (2013). Instructions for growing tomatoes in the garden and greenhouse. GroSystems.
- Khan, M. S. H., Wagatsuma, T., Akhter, A., & Tawaraya, K. (2009). Sterol biosynthesis inhibition by paclobutrazol induces greater aluminum (Al) sensitivity in Al-tolerant rice. *American Journal of Plant Physiology*, 4(3), 89-99. DOI: 10.3923/ajpp.2009.89.99
- Kondhare, K. R., Hedden, P., Kettlewell, P. S., Farrell, A. D., & Monaghan, J. M. (2014). Use of the hormone-biosynthesis inhibitors fluridone and paclobutrazol to determine the effects of altered abscisic acid and gibberellin levels on pre-maturity α -amylase formation in wheat grains. *Journal of Cereal Science*, 60 (1), 210-216. doi: 10.1016/j.jcs.2014.03.001
- Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D. J., & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22 (4), 1050-1064. <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>
- Liñán, C. (2016). Agroquímicos de México. TecnoAgrícola de México.
- Liu, H., Lin, T., Mao, J., Lu, H., Yang, D., Wang, J., & Li, Q. (2015). Paclobutrazol residue determination in potato and soil using low temperature partition

extraction and ultrahigh performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1–6.

- López, C. A. F. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas, del campo al mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Boletín de servicios agrícolas de la FAO No. 151. <http://www.fao.org/3/y4893s/y4893s00.htm>
- López, M. L. M. (2017). Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Magnitskiy, S., Pasian, C., Bennett, M., & Metzger, J. (2006). Effects of Soaking Cucumber and Tomato Seeds in Paclobutrazol Solutions on Fruit Weight, Fruit Size, and Paclobutrazol Level in Fruits. *Hortscience*, 41, 1446-1448.
- NMX-FF-031-1997-SCFI. (1997). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Hortalizas frescas. Tomate - (*Lycopersicon esculentum* Mill.). <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-031-1998.PDF>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (23 de septiembre de 2020). Codex alimentarius: residuos de plaguicidas en los alimentos y piensos. Organización Mundial de la Salud. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/es/>
- Pavan, M., Worth, A. P. (2008). Review of estimation models for biodegradation. *QSAR & Combinatorial Science*, 27(1), 32-40. <https://doi.org/10.1002/qsar.200710117>
- Resh, H. M., & Howard, M. (2012). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower* (6th ed.).
- Ribeiro, W. S., Carneiro, C. S., Franca, C. F. M., Pinto, C. M. F., Lima, P. C.C., Finger, F. L., & Costa, F. B. (2019). Paclobutrazol application in potted ornamental pepper. *Horticultura Brasileira*, 37(4), 464-468. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190416>
- Sankar, B., Karthishwaran, K., & Somasundaram, R. (2013). Leaf anatomical changes in peanut plants in relation to drought stress with or without paclobutrazol and abscisic acid. *Journal Phytology*, 5, 25–29.
- Santiago Silva, K., & Faria Junior, M. J. de A. (2011). Uso de paclobutrazol como estratégia para redução do porte e da brotação lateral de plantas de tomateiro. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(3), 539-546. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011005000004>

- Santiago Silva, K., Faria Junior, M. J. de A., Gredson Sabin, C., Seleguini, A., & Lacerda Lemos, O. (2014). Utilização de paclobutrazol na produção de mudas de tomateiro. *Comunicata Scientiae*, 5(2), 164-169.
- Seleguini, A., Faria Junior, M. J. de A., Santiago Silva, K., Lacerda Lemos, O., & Seno, S. (2013). Estratégias para produção de mudas de tomateiro utilizando paclobutrazol. *Ciências Agrárias*, 34(2), 539–548. doi:10.5433/1679-0359.2013v34n2p539
- Seleguini, A., Faria Junior, M. J. de A., Seno, S., Dos Santos, I. J., Santiago Silva, K., y Lacerda Lemos, O. (2011). Vida útil e qualidade de frutos de tomateiros tratados com paclobutrazol. *Revista Ceres*, 58(4), 470-475. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000400010>
- Seleguini, A., Pradi Vendruscolo, E., Cardoso Campos, L. F. & Faria Júnior, M. J. de A. (2016). Efeito do paclobutrazol sobre o crescimento de plantas e produção de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) em ambiente protegido. *Scientia Agropecuaria*, 7(4), 391-399. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.04.04>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2010). Manual técnico de muestreo de productos agrícolas para determinación de residuos de plaguicidas. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/manuales-buenas-practicas-agricolas>
- Shalini, L., & Sharma, D. (2006). Persistence and movement of paclobutrazol residues in a mango orchard soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 76(6), 930–934. DOI: 10.1007/s00128-006-1007-x
- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C., & Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. *International Agrophysics*, 32(2), 287-302. doi: 10.1515/intag-2017-0005
- Sims, W. L. (1980). History of tomato production for industry around the world. *Acta Horticulturae*, (100), 25– 26.
- Singh, V. K., Singh, A. K., & Kumar, A. (2017). Disease management of tomato through PGPB: current trends and future perspective. *Biotech*, 7(4):255. doi:10.1007/s13205-017-0896-1
- Stoytcheva, M. (2011). Plaguicidas en el mundo moderno: tendencias en el análisis de plaguicidas. InTech. <http://www.intechopen.com/books/show/title/pesticides-in-the-modern-world-trends-in-pesticidesanalysis>

- Tesfahun, W. (2018). A review on: response of crops to paclobutrazol application. *Cogent Food & Agriculture*, 4 (1), 1–9. doi: 10.1080 / 23311932.2018.1525169
- The American Phytopathological Society. 2020. Diseases of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). <https://www.apsnet.org/edcenter/resources/commonnames/Pages/Tomato.aspx>
- Treftz, C., & Omaye, S.T. (2016). Hydroponics: potential for augmenting sustainable food production in non-arable regions. *Nutrition & Food Science*, 46 (5), 672-684. <https://doi.org/10.1108/NFS-10-2015-0118>
- Velázquez-Alcaraz, T. J., Partida-Ruvalcaba, L., Acosta-Villegas, B., & Ayala-Tafoya, F. (2008). Producción de plantas de tomate y chile aplicando Paclobutrazol al follaje. *Universidad y ciencia*, 24(1), 21-28.
- Yang, Z., Yuan, L., Duan, Y. (2011). The investigation and prevention of tomato root knot nematode in Yunnan Yuanmou. *Plant Prot Technol*, 44–45.

3. CAPÍTULO I. APLICACIONES PERIÓDICAS DE PACLOBUTRAZOL Y SU INFLUENCIA SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y RESIDUALIDAD EN JITOMATE

3.1 RESUMEN

El paclobutrazol (PBZ) es el retardante de crecimiento más utilizado en la manipulación química del crecimiento y desarrollo en plantas hortícolas. Se estudió el efecto de concentraciones e intervalos de aplicación de PBZ sobre crecimiento vegetativo, rendimiento, calidad fisicoquímica y residualidad en frutos de tomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.), en un ciclo largo de producción en invernadero. El experimento se realizó en 2019 en Chiconcuac, Estado de México. Se evaluaron 13 tratamientos de la combinación de tres concentraciones (35, 50 y 65 $\mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ) y cuatro intervalos de aplicación (30, 40, 50 y 60 días), más control absoluto. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial de tratamientos, con cuatro repeticiones y seis plantas como unidad experimental. Se midieron variables: morfológicas, de rendimiento, calidad fisicoquímica y se determinó los residuos de PBZ en frutos. Los resultados mostraron que 50 $\mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ mejoró número de frutos, rendimiento, peso promedio de fruto, en contraste disminuyó altura de plantas. El intervalo de aplicación de 40 días incrementó número de frutos y rendimiento, pero redujo altura sin alterar el grosor de pericarpio. Se encontraron residuos de PBZ en frutos que rebasan los Límites Permisibles recomendados por Japón y la Unión Europea. No obstante, tuvieron una degradación del 50 % posterior a los 14 días después de su aplicación. Adicionalmente, se encontró que el lavado de frutos con agua simple o detergente elimina el 99.9 % de residuos adheridos en la epidermis del fruto.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., regulador de crecimiento, residuos y degradación, lavado de frutos.

3.2 ABSTRACT

Periodic applications of paclobutrazol and its influence on growth, yield and residue in tomato

Paclobutrazol (PBZ) is the most widely used growth retardant in the chemical manipulation of growth and development in horticultural plants. The effect of concentrations and application intervals of PBZ on vegetative growth, yield, physicochemical quality and residuality in saladette tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits, in a long cycle of production in greenhouses was studied. The experiment was carried out in 2019 in Chiconcuac, State of Mexico. Thirteen treatments of the combination of three concentrations (35, 50 and 65 $\mu\text{L L}^{-1}$ of PBZ) and four application intervals (30, 40, 50 and 60 days), plus absolute control, were evaluated. The experimental design had complete randomized blocks with factorial arrangement of treatments, with four replicates and six plants as experimental unit. Morphological, yield, and physicochemical quality variables were measured and PBZ residues in fruits were determined. The results showed that 50 $\mu\text{L L}^{-1}$ of PBZ improved the number of fruits, yield, and average weight of fruit, in contrast it decreased height of plants without affecting soluble solids. The 40-day application interval increased fruit number and yield, but reduced height without altering pericarp thickness. PBZ residues were found in fruits that exceed the Permissible Limits recommended by Japan and the European Union. However, they had a 50% degradation after 14 days of application. Additionally, it was found that washing fruits with plain water or detergent, 99.9% of residues adhered to the fruit epidermis are eliminated.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., growth regulator, residues and degradation, fruit washing.

Thesis of Master in Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Lucía Juárez Rodríguez

Advisor: Mario Pérez Grajales

3.3 INTRODUCCIÓN

La planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) presenta hábitos de crecimiento determinado e indeterminado. En México la producción comercial de tomate en invernadero a menudo emplea variedades de crecimiento indeterminado. Este sistema de producción se caracteriza por usar densidades de población de 2 a 3 plantas m⁻². El tallo principal se deja crecer más de 7 m de longitud para cosechar 15 o más racimos por planta durante un ciclo de producción que puede durar hasta un año (Resh, 2004; Sánchez et al., 2017). Sin embargo, el manejo agronómico de este tipo de plantas se dificulta a medida que la altura incrementa, por lo que los productores se ven obligados a buscar alternativas que les permitan manejar las plantas, incrementar rendimiento y mejorar la calidad de los frutos al menor costo. En la actualidad, el paclobutrazol (PBZ) es el retardante de crecimiento más utilizado en los árboles frutales, plantas ornamentales, cereales y algunos cultivos hortícolas. Se ha usado para la manipulación química del crecimiento y desarrollo de las plantas través de la alteración de los procesos bioquímicos y fisiológicos asociados (Gollagi, Jasmitha & Sreekanth, 2019; Ribeiro et al., 2019). Estas alteraciones modifican el equilibrio hormonal y el crecimiento de las plantas, lo cual implica mayor tolerancia de los cultivos al estrés abiótico, incremento del rendimiento y mejor rasgo fisiológico de los cultivos (Tesfahun, 2018). Las plantas tratadas con paclobutrazol producen mayor contenido de clorofila, ácido abscísico y muestran modificaciones morfológicas de las hojas, como hojas más gruesas, poros estomáticos más pequeños y mayor densidad de raíces (Franca et al., 2018; Gollagi, Jasmitha & Sreekanth, 2019).

El PBZ es un regulador de crecimiento de la familia de los triazoles que inhibe la biosíntesis de giberelinas al bloquear la acción de las monooxigenasas P450 durante el proceso de conversión de ent-kaureno a ácido ent-kaurenoico (Taiz & Zeiger, 2010). Las giberelinas estimulan el alargamiento celular y cuando estas se inhiben, todavía se produce división celular, pero las nuevas células no se alargan. Eso da como resultado plantas con el mismo número de entrenudos,

pero comprimidos en una longitud más corta y la producción de brotes con el mismo número de hojas (Gollagi, Jasmitha & Sreekanth, 2019).

Por otro lado, se han realizado diversos estudios de paclobutrazol en el cultivo de tomate, donde se reporta que la altura de las plantas se reduce con 42.5, 50, 100, 150 y 200 mg L⁻¹ de PBZ aplicado por aspersion en plántulas de tomate a los 10 y 15 días después de la siembra (Santiago & Faria, 2011; Seleguini et al., 2011; Seleguini et al., 2016; Velázquez et al., 2008). La concentración de 50 mg L⁻¹ resultó ser suficiente para obtener plántulas de menor tamaño sin alterar el área foliar, cuando se aplica por aspersion, además de permitir un aumento de aproximadamente 37 % en la materia seca de las raíces (Seleguini et al., 2013).

En cuanto a su influencia en el rendimiento y calidad de frutos de tomate, Ferreira et al. (2017); Seleguini et al. (2011); Seleguini et al. (2016) mencionan que las concentraciones de 42.5, 50 y 100 mg L⁻¹ no alteraron las variables de calidad de los frutos de tomate, pero el aumento en las concentraciones de PBZ resultó en menores pérdidas de materia fresca de los frutos, menor vigor de brotes laterales, firmeza, acidez y aumento en la producción de frutos de tamaño mediano y pequeño. Sin embargo, a pesar de que el uso de paclobutrazol se ha vuelto común en la producción de tomate, se desconoce el efecto de las aplicaciones periódicas de paclobutrazol sobre la altura, rendimiento y calidad de fruto de tomate y no se tiene conocimiento de la degradación de residuos de este regulador de crecimiento en frutos de tomate. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de concentraciones e intervalos de aplicación de PBZ sobre crecimiento vegetativo, rendimiento, calidad fisicoquímica y residualidad en frutos de tomate saladette, en un ciclo largo de producción bajo invernadero.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Ubicación del sitio experimental y material vegetal

El presente trabajo se llevó a cabo en un invernadero de producción comercial, ubicado en el municipio de Chiconcuac, Estado de México (19°34'04.7" latitud norte y 98°54'09.6" longitud oeste) durante los meses de enero a septiembre de

2019. Se utilizó el híbrido de tomate “El Cid F1” (Harris Moran, México), el cual presenta hábito de crecimiento indeterminado y fruto tipo saladette.

3.4.2 Manejo del cultivo

Para la siembra se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas de una mezcla de peat moss y vermiculita en proporción 1:1 (v/v) como sustrato. El trasplante se efectuó 37 días después de la siembra en bolsas de polietileno (50 x 27 cm) con arena de tezontle rojo de partículas menores de 4 mm de diámetro como sustrato, a una distancia de 60 cm entre macetas y 1.6 m entre hileras de 45 m de largo. Cada maceta contenía dos plantas, lo que representó una densidad de 20,833 plantas por hectárea, es decir 2.08 plantas m⁻²; dichas plantas fueron conducidos a un solo tallo. El cultivo se desarrolló en hidroponía con la solución nutritiva propuesta por Pérez y Castro (1999), que contiene la concentración de elementos minerales (mg L⁻¹) siguiente: N= 127, P= 77, K= 231, Ca= 244, Mg= 48, S= 118, Fe= 10, B= 1.15, Mn= 1, Cu= 0.5 y Zn= 0.4. Después del trasplante, las plantas fueron tutoradas individualmente con anillos y rafia agrícola, de la base del tallo al alambre de tutoreo, que tenía una altura de 4 m. Una vez que las plantas rebasaron la altura del tutor, se acostaron sobre la línea de cultivo. También se realizaron otras prácticas culturales como poda de brotes laterales, poda de hojas, polinización, raleo de frutos, control de plagas y enfermedades, entre otras, de acuerdo al manejo recomendado por Pérez y Castro (1999).

3.4.3 Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron 13 tratamientos producto de la combinación de tres concentraciones (35, 50 y 65 µL L⁻¹ de PBZ) y cuatro intervalos de aplicación (30, 40, 50 y 60 días), más un control absoluto. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial de tratamientos, con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de tres macetas con dos plantas cada una y la unidad de muestreo la maceta central con dos plantas. Para evitar que los residuos del producto llegaran a las plantas de otro tratamiento, entre cada

unidad experimental se colocó una maceta con dos plantas intermedias (bordos) entre las hileras de cultivo.

3.4.4 Aplicación de PBZ

Se realizaron aspersiones foliares utilizando la formulación concentrado soluble de Cultar® (250 g de i.a. PBZ por litro) (Syngenta, México). La primera aplicación foliar se realizó a una concentración de 50 $\mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ en la totalidad de plántulas a los 30 días de sembradas, se empleó un atomizador manual de 1 L de capacidad. Las plantas contenidas en cada charola fueron asperjadas con 26.5 ml de dicha solución, procurando que la aplicación fuera uniforme y humedeciera por completo el follaje.

Las aplicaciones posteriores iniciaron 22 días después de trasplante (DDT) y se prolongó hasta 204 DDT, considerando los periodos y dosis correspondientes a cada tratamiento. Para ello se usó una aspersora de mochila manual de 15 L de capacidad (Firulana, Swissmex, México), con boquillas de cono regulable. De igual forma, se humedeció por completo el follaje de cada planta, procurando dirigir la aspersion a las plantas correspondientes, el gasto por planta varió según su etapa de crecimiento con una mínima de 42 y máxima de 125 mL.

3.4.5 Variables cuantificadas

Se evaluaron tres tipos de variables: morfológicas, de rendimiento y calidad fisicoquímica de frutos. Morfológicas: altura (AL), diámetro de tallo (DT), número de entrenudos (NE), área foliar (AF) y peso seco de hoja (PSH); todos fueron medidos al final del experimento 219 DDT, con excepción del PSH que se determinó al inicio de la cosecha (96 DDT). Rendimiento: número de frutos por planta (NF), rendimiento por metro cuadrado (REN) peso promedio de fruto (PPF) y número de frutos por racimo (FR); los datos se tomaron al inicio de la cosecha hasta la cosecha número 13 (175 DDT) con frecuencia de siete días. El FR se registró en cuatro cosechas para los racimos 1 al 6. Calidad fisicoquímica de frutos: peso seco de fruto individual (PSF), grosor de pericarpio (GP), firmeza (FM), sólidos solubles totales (SS), acidez titulable (AT), relación SS/AT, los

cuales fueron determinados 221 DDT en el laboratorio de postcosecha del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

3.4.5.1 Variables morfológicas

Para a altura de planta (cm), se midió la longitud del tallo de la base al ápice de crecimiento, con ayuda de un flexómetro manual. El DT (cm) se midió con un vernier digital (HER-411, Steren[®], México) a 2 m de longitud partiendo de la base del tallo. Se contó el número de entrenudos de las dos plantas de la unidad de muestreo. Para cuantificar el área foliar, se tomaron al azar ocho hojas por cada tratamiento y repetición, se llevaron a laboratorio para medir el área de cada hoja (cm²) con un integrador de área foliar (LI-3000A, LI-COR[®], USA). Posteriormente, esas hojas se sometieron a un proceso de secado en estufa (Felisa, México) por cuatro días a 75 °C y, una vez secas, se registró el peso seco (en g) en una balanza digital (AFTP 457A-6, Malasia).

3.4.5.2 Variables de rendimiento

Para determinar el número total de frutos, se sumaron los frutos cosechados en cada corte. El REN (kg m⁻²) se obtuvo a partir de los datos del peso de fruto determinado en cada corte mediante una balanza electrónica (TH-I, Noval[®], México), con capacidad de 5 kg y sensibilidad de 1 g. El peso promedio de fruto (g) se obtuvo dividiendo el rendimiento y el número total de frutos por planta. Los datos registrados en los primeros seis racimos se promediaron para obtener el número de frutos por racimo de cada tratamiento.

3.4.5.3 Variables de calidad fisicoquímica de frutos

Para determinar las variables de calidad, de cada unidad de muestreo se tomaron al azar tres frutos. Los frutos seleccionados pasaron por un proceso de secado en estufa (Felisa, México) a 75 °C hasta alcanzar un peso constante, para obtener el peso seco total de los frutos (g), este valor se dividió por el número de frutos. Para determinar el grosor de pericarpio (mm), se midió en la parte media del fruto con la ayuda de un Vernier digital (HER-411, Steren[®], México). La firmeza (N) se determinó en la epidermis y zona ecuatorial del fruto mediante un texturómetro digital (Compact Gauge, Mecmesin CE[™], USA). Los Sólidos Solubles (°Brix)

fueron cuantificados con un refractómetro digital portátil (PAL-1, Atago[®], EE.UU.). La Acidez Titulable (% de ácido cítrico) se obtuvo con hidróxido de sodio según la metodología establecida por la AOAC (1990). También se determinó la relación SS/AT.

3.4.6 Muestreo de frutos para determinar análisis de residuos

El último día después de la aplicación (204 DDT), se realizó el muestreo de frutos de acuerdo al Manual Técnico de Muestreo de Productos Agrícolas de SAGARPA para Determinación de residuos de Plaguicidas (SENASICA, 2010). Para lo cual se consideraron dos tratamientos: 65 $\mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ cada 30 días (que fue el de mayor dosis y frecuencia de aplicación) y el control absoluto. Para el primer tratamiento se tomaron cinco muestras a los 0, 1, 3, 7 y 14 días después de la aplicación (DDA) con dos repeticiones cada uno, mientras que el control absoluto se muestreó a los 0 DDA con su respectiva repetición. Las muestras fueron tomadas entre 9:00 a 11:00 a.m. en el invernadero. En el transcurso de 14 días en que se tomaron las muestras, se registraron datos de temperatura y humedad relativa en las 24 horas del día, mediante un datalogger (RHT10, Extech[®], EE. UU.).

3.4.7 Análisis de residuos en laboratorio

Las muestras de los frutos para análisis de residuos fueron extraídos y analizados mediante la metodología establecida por la AOAC (2007) en el Laboratorio CIDAM (Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán), acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

3.4.8 Cuantificación de la degradación del 50 % de PBZ

Los datos obtenidos del análisis de residuos del tratamiento 65 $\mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ cada 30 días muestreado en cinco tiempos a los 0, 1, 3, 7 y 14 días después de su aplicación, fueron analizados mediante el paquete Statistical Analysis System 9.0 (SAS, 2002) y se encontró que el comportamiento de los residuos de PBZ (variable y) a través del tiempo (variable x) se ajustó al modelo de regresión lineal simple: $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i$. Así mismo, se determinó la ecuación de regresión

lineal simple $Y = 77.647 - 1.7738X$, en donde se despejó la variable x para poder estimar la degradación del 50 % de PBZ.

3.4.9 Lavado de frutos en condiciones de laboratorio

Con la finalidad de determinar la presencia de paclobutrazol en la epidermis del fruto de tomate o en el interior del mismo, se realizó un ensayo adicional en laboratorio con frutos obtenidos en la etapa final de producción del cultivo (282 DDT). El muestreo se hizo siguiendo las recomendaciones del Manual Técnico de Muestreo de Productos Agrícolas de SAGARPA para Determinación de residuos de Plaguicidas (SENASICA, 2010). En éste se establecieron tres tratamientos: (1) frutos cosechados del control absoluto y lavados con agua, (2) frutos cosechados del tratamiento con mayor dosis ($65 \mu\text{L L}^{-1}$) y mayor frecuencia de aplicación (30 d) lavados con agua y (3) frutos del mismo tratamiento lavados con detergente. Los frutos de los dos últimos tratamientos se asperjaron con paclobutrazol y se dejaron secar por 24 horas, mientras que el control absoluto se asperjó con agua. Los tres tratamientos fueron sometidos a un proceso de lavado durante un minuto y se dejaron secar por un periodo de 5 horas. En este caso se empleó un diseño completamente al azar, con dos repeticiones y 0.6 kg de fruto como unidad experimental, posteriormente los frutos fueron enviados al Laboratorio CIDAM para el análisis de residuos de acuerdo con la metodología de la AOAC (2007).

3.4.10 Análisis estadístico

A partir de los datos obtenidos de las distintas variables, se realizó un análisis de varianza con el diseño experimental bloques completos al azar y arreglo factorial de tratamientos. Para factores cuyo efecto fue significativo, se hicieron comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). La degradación del 50 % de paclobutrazol se estimó mediante un análisis de regresión lineal simple. Para el ensayo de residuos en frutos lavados, los datos se analizaron con el diseño experimental completamente al azar. Al haber efecto significativo entre los tratamientos se efectuó la comparación de medias Tukey ($P \leq 0.01$). En todos los casos, se usó el paquete estadístico SAS (2002).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Análisis de varianza

El análisis de varianza del arreglo factorial (Cuadro 5), indicó que el factor concentración (Con) solo mostró efecto significativo ($P \leq 0.05$) en AF, PSH, PSF y SS de las 15 variables evaluadas. De igual forma, para el factor intervalo de aplicación (In), sólo presentó efecto significativo en PSH y PSF. En tanto que, la interacción Con x In tampoco exhibió efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre las variables.

Cuadro 5. Cuadrados medios de análisis de varianza de las concentraciones e intervalos de aplicación de paclobutrazol en tomate bajo condiciones de invernadero.

FV ²	GL	Cuadrados medios							
		AL	DT	NE	AF	PSH	NF	REN	PPF
Bloque	3	0.64	2.91	64.83	1918.6	0.20	6.68	0.35	17.02
Con	2	0.009	0.17	8.57	11411*	6.36**	107.5	9.56	61.09
In	3	0.21	2.10	50.44	1015	3.15**	45.42	3.17	13.97
Con x In	6	0.14	0.79	26.06	2742	0.62	40.54	6.88	125.67
Error	36	0.13	0.95	26.97	2865	0.42	37.18	3.38	55.35
CV (%)		8.20	8.97	6.89	22.94	29.57	9.89	14.65	7.77
	GL	FR	PSF	GP	FM	SS	AT	SS/AT	
Bloque	3	0.87	0.21	0.20	0.07	0.15	0.22	0.04	
Con	2	0.43	1.04*	0.49	0.38	0.75**	0.13	0.19	
In	3	0.24	0.94**	0.24	0.36	0.35	0.18	0.07	
Con x In	6	0.40	0.51	0.47	0.83	0.13	0.20	0.03	
Error	36	0.45	0.24	0.34	0.37	0.11	0.35	0.07	
CV (%)		10.08	12.92	9.50	26.08	9.96	19.61	23.90	

²FV: fuente de variación; Con: concentración ($\mu\text{L L}^{-1}$); In: intervalo de aplicación (días); Con*In: interacción concentración x intervalo de aplicación; CV: coeficiente de variación; GL: grados de libertad; AL: altura (m); DT: diámetro de tallo (cm); NE: número de entrenudos; AF: área foliar (cm^2); PSH: peso seco de hoja (g); NF: número de frutos por planta; REN: rendimiento por metro cuadrado (Kg); PPF: peso promedio de fruto (g); FR: número de frutos por racimo; PSF: peso seco de fruto (g); GP: grosor de pericarpio (mm); FM: firmeza (Newton); SS: sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$); AT: acidez titulable (%); SS/AT: relación SS/AT. * significativo con $P \leq 0.05$; ** significativo con $P \leq 0.01$.

3.5.2 Comparación de medias del factor concentración

Como resultado de la comparación de medias (Cuadro 6), no se observaron diferencias estadísticas entre concentraciones, con excepción de PSH y SS, en donde la concentración $50 \mu\text{L L}^{-1}$ presentó mayor PSH ($P \leq 0.05$), pero menor SS al compararlo con $35 \mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ.

Cuadro 6. Comparación de medias de concentraciones de PBZ en variables con significancia estadística en tomate bajo condiciones de invernadero.

Con ^z ($\mu\text{L L}^{-1}$)	AL (m)	AF (cm^2)	PSH (g)	NF ¹	REN (Kg)	PPF (g)	PSF (g)	GP (mm)	SS (°Brix)
35	4.4 b ^y	236.7 b	1.8 b	63.4 a	12.9 a	98.2 ab	3.88 b	6.2 b	3.6 a
50	4.4 b	183.4 b	2.8 a	63.9 a	13.2 a	100.0 a	3.81 b	6.2 b	3.2 b
65	4.4 b	207.5 b	1.6 b	59.2 ab	11.8 ab	96.1 ab	3.41 b	5.9 b	3.4 ab
Testigo	5.2 a	521.5 a	3.1 a	55 b	10.1 b	89.0 b	5.08 a	7.1 a	3.5 ab
DMSH	0.46	67.43	0.82	7.68	2.31	9.53	0.62	0.74	0.43

^zCon: concentración; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; AL: altura; AF: área foliar; PSH: peso seco de hoja; NF: número de frutos por planta; REN: rendimiento por metro cuadrado; PPF: peso promedio de fruto; PSF: peso seco de fruto; GP: grosor de pericarpio; SS: sólidos solubles totales. ^yMedias con la misma letra dentro de la columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Con relación al tratamiento control, la comparación de medias de las concentraciones, indicó que $50 \mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ presentó mayor ($P \leq 0.05$) NF, REN y PPF con incrementos del 16, 31 y 12 %, respectivamente. Así mismo, $35 \mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ también superó estadísticamente al control en NF y REN, sin embargo, junto con $65 \mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ no lograron superar al control en PPF. Esta última concentración tampoco afectó NF, REN y SS, por lo que no es favorable utilizar esta concentración, ya que en todas las variables evaluadas no logró superar al control.

El efecto positivo de algunas concentraciones de paclobutrazol en las variables de rendimiento, fue similar con lo obtenido por Endegena (2019), quien reportó efecto significativo de la tasa de aplicación de paclobutrazol en el incremento de rendimiento por planta en tomate, el cual se asoció positivamente con el número de frutos por racimo y el número de frutos por planta, pero se correlacionó negativamente con el peso medio del fruto. No obstante, en esta investigación la concentración de $50 \mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ mostró incremento significativo ($P \leq 0.05$) del peso promedio de frutos en comparación con las plantas no tratadas.

Por otra parte, las tres concentraciones evaluadas no afectaron estadísticamente el contenido de SS, respecto al tratamiento control. Seleguini et al. (2011)

también encontraron que las concentraciones de 50 y 100 mg L⁻¹ de PBZ asperjados en la etapa de plántulas no alteraron los sólidos solubles en frutos de tomate. Por el contrario, las tres concentraciones de PBZ, estadísticamente ($P \leq 0.05$) ocasionaron una disminución de AL, AF, PSF y GP, respecto a las plantas no tratadas. Cabe aclarar que éstas variables (excluyendo AF) fueron medidas al final del experimento (221 DDT) cuando las plantas habían sido expuestas al retardador en múltiples ocasiones.

En el caso de la altura de las plantas, la reducción del 15 % puede ser favorable ya que facilita el manejo del cultivo. Tal, como lo señala Tesfahun (2018), la disminución de la altura de las plantas se considera el resultado morfológico más evidente de la aplicación de paclobutrazol, y esta actividad se asocia fuertemente con la reducción del alargamiento de los entrenudos, en lugar de la reducción del número de entrenudos. Santiago & Faria (2011); Seleguini et al. (2011); Seleguini et al. (2016); Velázquez et al. (2008) mencionan que la altura de las plantas de tomate, se reduce con 42.5, 50, 100, 150 y 200 mg L⁻¹ de PBZ aplicado por aspersión en plántulas a los 10 o 15 días después de la siembra. Sin embargo, la aplicación de PBZ también produce algunos efectos desfavorables para las plantas, como la disminución del 60 % de área foliar, aunque varios estudios mencionan que esto se compensa con un mayor contenido de clorofila en las hojas y un probable aumento del grosor de las mismas, lo cual a su vez conlleva a un aumento en la masa foliar (Campos-de Melo, Seleguini & Santos-Veloso, 2014; Siqueira, Cecon, & Salomão, 2008). Otro de los efectos desfavorables observado en esta investigación es el decremento del peso seco de frutos, contrario a lo que plantea Endegena (2019), quien obtuvo mayor peso seco de frutos por planta cuando aplicó PBZ en la etapa de 2 y 4 hojas a una dosis de 3 kg de i. a. ha⁻¹. La aplicación de PBZ en las plantas, también redujo el 14 % del grosor de pericarpio en los frutos, este mismo resultado también fue reportado por Endegena (2019).

3.5.3 Comparación de medias del factor intervalo de aplicación

Al realizar la comparación de medias (Cuadro 7), no se encontraron diferencias estadísticas entre intervalos de aplicación de PBZ, con excepción de PSH, el cual fue superior ($P \leq 0.05$) con el intervalo de 30 días.

Cuadro 7. Comparación de medias de intervalos de aplicación de PBZ en variables con significancia estadística en tomate bajo condiciones de invernadero.

Intervalo (días)	AL ^z (m)	AF (cm ²)	PSH (g)	NF	REN (Kg)	PSF (g)	GP (mm)
30	4.3 b ^y	221.2 b	2.8 ab	62.2 ab	12.9 a	3.44 b	6.0 b
40	4.2 b	211.4 b	1.6 c	64.9 a	13.3 a	4.08 b	6.3 ab
50	4.5 b	200.6 b	1.8 c	60.7 ab	12.3 ab	3.54 b	6.2 b
60	4.5 b	203.6 b	2.1 bc	60.7 ab	12.2 ab	3.73 b	6.0 b
Testigo	5.2 a	521.5 a	3.1 a	55 b	10.1 b	5.08 a	7.1 a
DMSH	0.51	74.23	0.90	8.45	2.55	0.68	0.81

^zAL: altura; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; AF: área foliar; PSH: peso seco de hoja; NF: número de frutos por planta; REN: rendimiento por metro cuadrado; PSF: peso seco de fruto; GP: grosor de pericarpio. ^yMedias con la misma letra dentro de la columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

La comparación de medias de intervalos de aplicación con las plantas no tratadas mostró que el intervalo de aplicación de 40 días exhibió mayor NF y REN ($P \leq 0.05$), con incrementos del 7 y 32 % respectivamente, con relación al control. Hay que mencionar, además que este intervalo fue el único en no afectar significativamente el GP. Por otra parte, el intervalo de 30 días también superó estadísticamente al control en REN, pero en NF fue similar a los demás intervalos, incluyendo el control. Los intervalos de 50 y 60 días no difirieron estadísticamente del testigo ($P \leq 0.05$) en NF y REN, este resultado indica que PBZ tiene una acción limitada sobre las variables de rendimiento, por lo que probablemente la aplicación de PBZ en tomate tiene un efecto residual cercano a 40 días. De manera semejante, Ferreira et al. (2017) reportan que las plantas de tomate tratadas con PBZ mostraron un efecto residual de 39 días en la reducción de la longitud del tallo respecto a las plantas no tratadas, 15 días después el efecto se invirtió.

Los cuatro intervalos de aplicación de PBZ presentaron diferencia estadística ($P \leq 0.05$) en la reducción de AL, AF, PSF y GP al compararlos con las plantas no tratadas. La variable altura se redujo en un 16 %, este resultado coincide con lo que reportan Koutroubas & Damalas (2015), quienes señalan que las aplicaciones foliares repetidas de PBZ disminuyeron significativamente la altura de las plantas de girasol y propició efectos desfavorables en peso de achenios y rendimiento. En cuanto al área foliar, está disminuyó en un 60 %. Estudios recientes afirman que la aplicación foliar de 50 mg L^{-1} de PBZ en plántulas de tomate, no compromete el área foliar, en cambio el incremento de la dosis del regulador de crecimiento provoca una reducción lineal del área foliar y masa seca de hojas (Seleguini et al., 2013; Seleguini et al., 2016). Así mismo, las aplicaciones periódicas de paclobutrazol en un ciclo largo de producción aminoraron PSF en un 27 % respecto a las plantas no tratadas. Silva et al. (2020) también reportaron que la masa seca del fruto en pimiento Biquinho se redujo con dos o tres aplicaciones acumulativas de 50 mg L^{-1} de PBZ, en donde los promedios más altos se obtuvieron con una sola aplicación. Para el GP al igual que los efectos de las concentraciones, los intervalos de aplicación de PBZ igualmente disminuyeron esta variable en un 14 %.

En general los resultados obtenidos de la comparación de medias entre intervalos fueron similares a los obtenidos con la comparación de medias de concentraciones. Esto confirma que los efectos observados se deben al modo de acción del paclobutrazol, como regulador de crecimiento que inhibe la biosíntesis de esterol y giberelinas, como lo señalan (Taiz & Zeiger, 2010; Tesfahun, 2018). De igual forma el PBZ altera diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos en las plantas, tales como la disminución del ácido indolacético (AIA) e incremento del ácido abscísico (ABA) y citocininas que promueven la respuesta de floración en mango (Burondkar et al., 2016).

3.5.4 Degradación de PBZ en frutos de tomate

El invernadero permaneció con temperaturas máximas y mínimas entre 32 y 13 °C. Mientras que la humedad relativa máxima registrada fue de 90 % y mínima

de 35 %. Bajo estas condiciones, se determinó la degradación de paclobutrazol en frutos de tomate, mediante la ecuación de regresión lineal simple: $Y = 77.647 - 1.7738X$ con un $R^2 = 0.3848$ (Figura 2). Las plantas de tomate tratadas con siete aspersiones de $65 \mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ cada 30 días presentaron frutos con una concentración inicial de 77.64 mg Kg^{-1} de ingrediente activo. La diferencia entre la concentración asperjada con la concentración inicial de residuos en frutos, se debió probablemente a un efecto acumulativo de las aplicaciones realizadas. Este efecto fue observado por Osuna et al. (2001); Sharma & Awasthi (2005) quienes reportan que las aplicaciones continuas de paclobutrazol al suelo en plantaciones de mango, incrementa la cantidad de residuos en el suelo y su efecto residual sobre el vigor de los brotes, la floración y el rendimiento de frutos por árbol se extienden por más tiempo. Reddy & Kurian (2008) también reportaron de la cualidad residual de PBZ en el suelo cuando se aplicó por tres años consecutivos y recomendaron detener la aplicación o reducir la dosis. De igual forma, Augustijn-Beckers, Hornsby & Wauchope (1994); Bhattacharjee & Singh (2015) reportan que la persistencia de paclobutrazol fue de 200 y 300 días, respectivamente, cuando se hacen aplicaciones al suelo en el cultivo de mango.

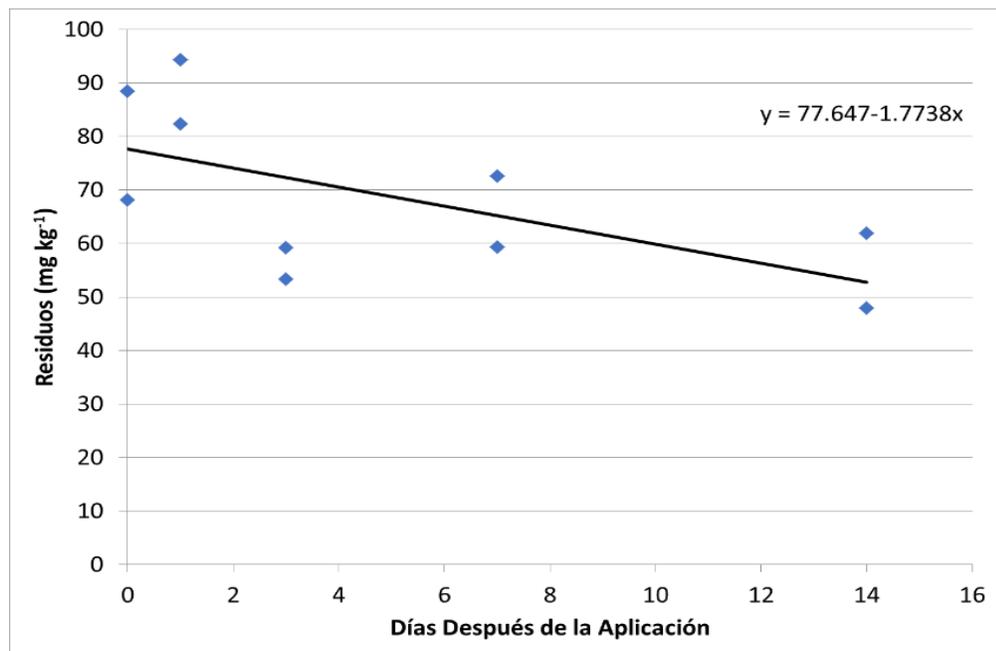


Figura 2. Degradación de residuos de paclobutrazol en frutos de tomate.

De acuerdo a los resultados obtenidos y los antecedentes reportados, se infiere que el intervalo de aplicación de 30 días no fue suficiente para degradar el PBZ por debajo del Límite Máximo de Residuos (LMR) permitido para tomate fresco en Japón y la Unión Europea (0.05 y 0.01 mg Kg⁻¹, respectivamente). Así mismo a los 14 después de la aplicación se encontraron residuos de 52.81 mg Kg⁻¹ del ingrediente activo, el cual presentó una reducción del 32 % con respecto a la concentración inicial; como se mencionó anteriormente este tiempo no fue suficiente para degradar el PBZ, reforzando la hipótesis de que la molécula también es persistente en la superficie del fruto de tomate, donde no se tenían reportes.

Con la ecuación de la regresión lineal, se estimó que el tiempo de degradación del 50 % de paclobutrazol en frutos de tomate podría estar alrededor de 22 días. Bhattacharjee & Singh (2015); Liu et al. (2015); Shalini & Sharma (2006); encontraron que el paclobutrazol aplicado al suelo presentó una vida media de 41.5-43, 20.64 y 29-31 días, respectivamente.

3.5.5 Lavado de frutos en laboratorio

El análisis de varianza indicó que los tratamientos mostraron efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$). En este caso, la cantidad de residuos fue distinta para cada tratamiento, lo que se corroboró en la prueba de comparación de medias de Tukey (Figura 3). El tratamiento de 65 $\mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ lavado con detergente presentó menor cantidad de residuos comparado con el tratamiento lavado con agua y ambos tuvieron mayor contenido de residuos que el tratamiento control ($P \leq 0.01$). Este último estuvo por debajo del límite de detección ($< 0.006 \text{ mg Kg}^{-1}$), es decir no se detectaron residuos. Con base en lo anterior, se infiere que con el lavado de frutos con detergente o agua es posible eliminar gran parte de los residuos de paclobutrazol en tomate y se comprueba que el PBZ no se acumula en el interior de los frutos, solo en la epidermis; al respecto, Berova & Zlatev (2000) descartan la posibilidad de acumulación del retardante en frutos, cuando se aplica en bajas concentraciones, como fue el caso.

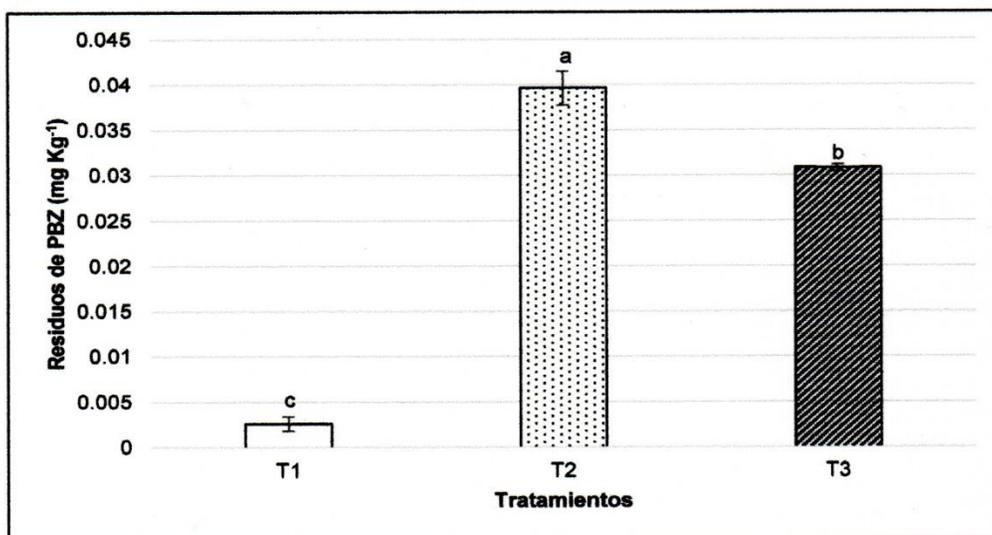


Figura 3. Residuos de paclobutrazol en frutos de tomate sometidos a diferentes procesos de lavado. Dentro de cada tratamiento, barras con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.01$).

Los resultados del análisis de residuos ($\pm 0.03 \text{ mg Kg}^{-1}$), indican que ambos tratamientos asperjados con $65 \mu\text{L L}^{-1}$ de PBZ, presentaron residuos por debajo del LMR permitidos por Japón (0.05 mg Kg^{-1}), además de ser eliminados de la epidermis del fruto en el 99.95 % con el lavado, lo cual es favorable para el consumo en fresco. Lo anterior concuerda con diversos autores que indican la acumulación de PBZ ocurre mayormente en la superficie de semillas de pepino, cáscara de mandarina y epidermis de tubérculos de papa Magnitskiy et al. (2006), Wang et al. (2014) y Liu et al. (2015), respectivamente y no en la pulpa. Todos ellos concuerdan que el paclobutrazol es capaz de adherirse a la superficie de frutas y verduras, por lo que el riesgo en la ingesta de residuos disminuye en productos agrícolas en donde se consume la pulpa, pero si se usa en productos donde se aprovecha todo, el riesgo en la ingesta de sustancias químicas dañinos para la salud es mayor.

3.6 CONCLUSIONES

La concentración de 50 $\mu\text{L L}^{-1}$ de paclobutrazol mejoró significativamente ($P \leq 0.01$) el número de frutos por planta, rendimiento por unidad de superficie, peso promedio de fruto y redujo la altura de las plantas. El intervalo de aplicación de 40 días incrementó significativamente ($P \leq 0.01$) el número de frutos por planta, rendimiento por unidad de superficie y redujo la altura de las plantas sin afectar el grosor de pericarpio en frutos.

Se encontraron residuos elevados en la epidermis del fruto de tomate, que rebasaron los Límites Permisibles recomendados por Japón (0.05 mg Kg^{-1}) y la Unión Europea (0.01 mg Kg^{-1}). El tiempo de degradación del 50 % de paclobutrazol adherido en frutos de tomate fue posterior al día 14 en condiciones de invernadero.

El 99.9 % de los residuos de paclobutrazol adheridos en la epidermis del fruto de tomate, se eliminaron mediante un lavado con agua o detergente. No se encontraron residuos de paclobutrazol en la pulpa del fruto de tomate.

3.7 LITERATURA CITADA

- Association of Official Analytical Chemists, International. (1990). Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (15th ed. Vol. 1). AOAC.
<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Association of Official Analytical Chemists, International. (2007). AOAC Official Method 2007.01. AOAC.
https://nucleus.iaea.org/sites/fcris/Shared%20Documents/SOP/AOAC_2007_01.pdf
- Augustijn-Beckers, P. W. M., Hornsby, A. G., & Wauchope, R. D. (1994). The SCS/ARS/CES Pesticide Properties Database for Environmental Decision-Making. II. Additional Compounds. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 137, 1–82. doi:10.1007/978-1-4612-2662-8_1
- Berova, M., & Zlatev, Z. (2000). Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Plant Growth Regulation, 30, 117-123. <https://doi.org/10.1023/A:1006300326975>
- Bhattacharjee, A. K., & Singh, V. K. (2015). Uptake of soil applied paclobutrazol in mango cv. Dashehari and its persistence in soil, leaves and fruits. Indian Journal of Plant Physiology, 20 (1), 39–43. doi:10.1007/s40502-014-0135-2
- Burondkar, M. M., Upreti, K. K., Ambavane, A. R., Rajan, S., Mahadik, S. G., & Bhave, S. G. (2016). Hormonal changes during flowering in response to paclobutrazol application in mango cv. Alphonso under Konkan conditions. Indian Journal of Plant Physiology, 21(3), 306–311. doi:10.1007/s40502-016-0236-1
- Campos-de Melo, A. P., Seleguini, A., & Santos-Veloso, V. da R. (2014). Peliculização de sementes de tomate associada ao paclobutrazol. Bragantia, 73 (2), 123-129. <https://doi.org/10.1590/brag.2014.026>
- Endegena, W. (2019). Yield and Yield-Related Parameters of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Treated with Paclobutrazol at Different Stages in North West Ethiopia. Journal of Horticulture and Plant Research, 6, 37-46. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/JHPR.6.37>
- Ferreira, N., Vendruscolo, E., Seleguini, A., Dourado, W., Benett, C., & Nascimento, A. (2017). Crescimento, produção e qualidade de frutos de tomateiro em cultivo adensado com uso de paclobutrazol. Revista Colombiana De Ciencias Horticolas, 11 (1), 72-79. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5690>
- Franca, C. de F. M., Ribeiro, W. S., Santos, M. N. S., Petrucci, K. P. de O. S., Rêgo, E. R. do, & Finger, F. L. (2018). Growth and quality of potted

- ornamental peppers treated with paclobutrazol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53 (3), 316–322. doi:10.1590/s0100-204x2018000300006
- Gollagi, S. G., Jasmitha, B. G., Sreekanth H. S. (2019). A review on: Paclobutrazol a boon for fruit crop production. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8 (3), 2686-2691. <https://www.phytojournal.com/archives/?year=2019&vol=8&issue=3&ArticleId=8417&si=false>
- Koutroubas, S. D., & Damalas, C. A. (2015). Resposta do girassol a repetidas aplicações foliares de Paclobutrazol. *Planta Daninha*, 33 (1), 129-135. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582015000100015>
- Liu, H., Lin, T., Mao, J., Lu, H., Yang, D., Wang, J., & Li, Q. (2015). Paclobutrazol Residue Determination in Potato and Soil Using Low Temperature Partition Extraction and Ultrahigh Performance Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2015, 1–6. doi:10.1155/2015/404925
- Siqueira, Dalmo Lopes de, Cecon, Paulo Roberto, & Salomão, Luiz Carlos Chamhum. (2008). Desenvolvimento do limoeiro 'Volkameriano' (*Citrus volkameriana* Pasq.) submetido a doses de paclobutrazol e ácido giberélico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30 (3), 764-768. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000300034>
- Magnitskiy, S., Pasian, C., Bennett, M., & Metzger, J. (2006). Effects of Soaking Cucumber and Tomato Seeds in Paclobutrazol Solutions on Fruit Weight, Fruit Size, and Paclobutrazol Level in Fruits. *Hortscience*, 41 (6), 1446-1448. DOI: 10.21273 / HORTSCI.41.6.1446
- Osuna-García, J. (2001). Residualidad de paclobutrazol en frutos de mango (*Mangifera indica* L.) 'Tommy Atkins'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 7 (2), 275-282. <https://www.researchgate.net/publication/268430620>
- Pérez-Grajales, M., y Castro-Brindis, R. (1999). Guía para la Producción Intensiva de Jitomate en Invernadero. *Boletín de Divulgación # 3*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Reddy, Y. T. N., & Kurian, R. M. (2008). Cumulative and Residual Effects of Paclobutrazol on Growth, Yield and Fruit Quality of 'Alphonso' Mango. *Journal of Horticultural Sciences*, 3 (2), 119-122. <https://jhs.iihr.res.in/index.php/jhs/article/view/570>
- Resh, H. M. (2004). *Cultivos Hidropónicos*. (3a ed.). Mundi-Prensa.
- Ribeiro, W. S., Carneiro, C. S., Franca, C. F. M., Pinto, C. M. F., Lima, P. C.C., Finger, F. L., & Costa, F. B. (2019). Paclobutrazol application in potted ornamental pepper. *Horticultura Brasileira*, 37 (4), 464-468. <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190416>
- Sánchez-Del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., Pastor-Zarandona, O. A., y Contreras-Magaña, E. (2017). Disposición de plantas de tomate en

- doseles en forma de escalera bajo dos densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40 (3), 333-340. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/40-3/10a.pdf>
- Santiago Silva, K., & Faria Junior, M. J. de A. (2011). Uso de paclobutrazol como estratégia para redução do porte e da brotação lateral de plantas de tomateiro. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(3), 539-546. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011005000004>
- Seleguini, A., Faria Junior, M. J. de A., Benett, K. S. da S., Lemos, O. L., & Seno, S. (2013). Estratégias para produção de mudas de tomateiro utilizando paclobutrazol. *Semina: Ciências Agrárias*, 34 (2), 539–548. doi:10.5433/1679-
- Seleguini, A., Faria Junior, M. J. de A., Seno, S., Dos Santos, I. J., Santiago Silva, K., y Lacerda Lemos, O. (2011). Vida útil e qualidade de frutos de tomateiros tratados com paclobutrazol. *Revista Ceres*, 58 (4), 470-475. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000400010>
- Seleguini, A., Pradi Vendruscolo, E., Cardoso Campos, L. F. & Faria Júnior, M. J. de A. (2016). Efeito do paclobutrazol sobre o crescimento de plantas e produção de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) em ambiente protegido. *Scientia Agropecuaria*, 7 (4), 391-399. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.04.04>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2010). Manual técnico de muestreo de productos agrícolas para determinación de residuos de plaguicidas. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/manuales-buenas-practicas-agricolas>
- Shalini, L., & Sharma, D. (2006). Persistence and Movement of Paclobutrazol Residues in a Mango Orchard Soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 76 (6), 930–934. doi:10.1007/s00128-006-1007-x
- Sharma, D., & Awasthi, M. D. (2005). Uptake of soil applied paclobutrazol in mango (*Mangifera indica* L.) and its persistence in fruit and soil. *Chemosphere*, 60 (2), 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.069>
- Silva, E. R. da, Pinheiro, M. G., Carraro, J. C., Binotti, F. F. da S., Burin, C. C., Oliveira, J. N., & Costa, T. Z. and E. (2020). Cumulative Applications of Paclobutrazol with Leaf Nitrogen in Biquinho Pepper. *Journal of Experimental Agriculture International*, 42 (5), 64-71. <https://doi.org/10.9734/jeai/2020/v42i530519>
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2002). Statistical Analysis System ver. 9.0. https://www.sas.com/es_mx/home.html
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5th Ed.). Sinauer Associates. <https://www.sinauer.com/media/wysiwyg/tocs/PlantPhysiology5.pdf>

Tesfahun, W. (2018). A review on: response of crops to paclobutrazol application. *Cogent Food & Agriculture*, 4 (1), 1–9. doi: 10.1080 / 23311932.2018.1525169

4. ANEXOS

Anexo 1. Resultados del análisis de residuos de paclobutrazol en frutos de tomate muestreados a los 0, 1, 3, 7, y 14 días después de su aplicación (T13: control absoluto; T9: 65 µL L-1 PBZ cada 30 días; D: días después de la aplicación; R: repetición).



Informe de resultados R-QUIM-010
Edición 4 09/19

Informe No.: OSC19-0437 (I-INOQ-005-2019)

INFORME DE RESULTADOS

Laboratorio de Inocuidad Química

(Laboratorio 8 y 9, segunda planta)

Datos del Cliente

Nombre del cliente: **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

KM 38.5 CARRETERA MÉXICO – TEXCOCO		S/N	S/N
Calle		No. Interior	No. Exterior
CHAPINGO	56230	TEXCOCO	MÉXICO
Colonia/Fraccionamiento	Código Postal	Localidad/ Municipio	Estado

Nombre del contacto del Cliente: **LIC. ROGELIO DEHEZA MÉNDEZ**

Correo: **rgdeeza@gmail.com,
luciajuarez071094@gmail.com** Teléfono: **5959521616**

Fecha de recepción: **11/10/2019** Fecha de ejecución: **15/10/2019
y
16/10/2019** Fecha de emisión del informe: **21/10/2019**

Descripción de la muestra

Muestra: **Jifomate**

Identificación: **OSC19-0437-1 a OSC19-0437-12 (INOQ-111019-01 a 111019-12)**

Observaciones: **Ninguna**

Métodos utilizado:

1. **Método interno INOQ-LC_01 AOAC Official Method 2007.01 Pesticide Residues in Foods.**



(443) 299-0181 • (443) 299-0264
contacto@cidam.org www.cidam.org / cidam

Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Forma de resultados R-QUIM-010
Revisión 4 09/19

Informe No.: OSC19-0437 (I-INOQ-005-2019)

Resultados

Identificación de la muestra: **T13D1** (OSC19-0437-1, INOQ-111019-01)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclobutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	6,75	0,002	0,006

Identificación de la muestra: **T13R1D1** (OSC19-0437-2, INOQ-111019-02)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclobutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	6,93	0,002	0,006

Identificación de la muestra: **T9D1** (OSC19-0437-3, INOQ-111019-03)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclobutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	88,42	0,002	0,006

Identificación de la muestra: **T9R1D1** (OSC19-0437-4, INOQ-111019-04)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclobutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	68,13	0,002	0,006



(443) 299-0181 • (443) 299-0264

contacto@cidam.org

www.cidam.org

 / cidam

Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58345

Identificación de la muestra: **T9D01** (OSC19-0437-5, INOQ-111019-05)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclbutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	82,32	0,002	0,006

Identificación de la muestra: **T9R1D01** (OSC19-0437-6, INOQ-111019-06)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclbutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	94,39	0,002	0,006

Identificación de la muestra: **T9D3** (OSC19-0437-7, INOQ-111019-07)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclbutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	53,40	0,002	0,006

Identificación de la muestra: **T9R1D3** (OSC19-0437-8, INOQ-111019-08)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclbutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	59,19	0,002	0,006



(443) 299-0181 • (443) 299-0264

contacto@cidam.org www.cidam.org

 / cidam

Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Identificación de la muestra: **T9D7** (OSC19-0437-9, INOQ-111019-09)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclobutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	59,32	0,002	0,006

Identificación de la muestra: **T9R1D7** (OSC19-0437-10, INOQ-111019-10)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclobutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	72,65	0,002	0,006

Identificación de la muestra: **T9D14** (OSC19-0437-11, INOQ-111019-11)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclobutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	47,99	0,002	0,006

Identificación de la muestra: **T9R1D14** (OSC19-0437-12, INOQ-111019-12)

Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en aguacate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	Límite de cuantificación (LC) en mg/Kg	Límite de detección (LD) en mg/Kg
		MX	US	JP	EU			
Paclobutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0,05	0,01	61,97	0,002	0,006



(443) 299-0181 • (443) 299-0264

contacto@cidam.org www.cidam.org

 / cidam

Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Informe de resultados R-QUIM-010

Edición 4 09/19

Informe No.: OSC19-0437 (I-INOQ-005-2019)

MX: México, **US:** Estados Unidos, **JP:** Japón, **EU:** Unión Europea.

LMR: Límite máximo residual.

NE: No especificado

LC-MS/MS: Cromatógrafo de líquidos masas/masas.

GC-MS/MS: Cromatógrafo de gases masas/masas.

< **LC:** Por debajo del límite de cuantificación.

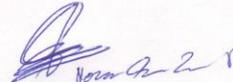
ND: No detectado, se encuentra por debajo del límite de detección.

Realizó análisis



María de Guadalupe Panduro Rivera
Investigador Asociado

Aprobó



Dra. Norma Susana Pano Farías
Responsable del Laboratorio

Información para el cliente:

Con base en los resultados obtenidos, es responsabilidad del usuario el analizar los resultados de la prueba de ensayo con respecto a las especificaciones establecidas por el mismo, para determinar el criterio de aceptación o rechazo.

Los Límites Máximos Residuales (LMR) reportados en el presente informe solo son datos de referencia, es responsabilidad del cliente corroborar los datos reportados.

Los resultados del presente informe solo son aplicables a la muestra descrita en este documento.

Este documento es válido solo en su forma original (impreso o electrónico) con las correspondientes firmas. No se debe reproducir este Informe de pruebas de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.

El Laboratorio no se hace responsable del muestreo.

Después de la entrega del informe de resultados la muestra permanece en custodia durante 7 días para cualquier aclaración. Después de ese tiempo no se aceptan reclamaciones.

La incertidumbre de medición sobre la muestra es proporcionada a petición del cliente y esta genera un costo adicional. Las incertidumbres reportadas serán las obtenidas en la validación del método.

El Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán A.C. no tiene la autoridad, ni la facultad para negar, aceptar o autorizar cortes o cosechas.

Desviaciones al método: Ninguna

Observaciones: Ninguna

FIN DE INFORME DE ENSAYO



(443) 299-0181 • (443) 299-0264

contacto@cidam.org www.cidam.org

 / cidam

Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

5/5

Anexo 2. Resultados del análisis de residuos de paclobutrazol en frutos de tomate sometidos a diferentes procesos de lavado (T1: control absoluto; T2: 65 µL L-1 PBZ lavado con agua; T3: 65 µL L-1 PBZ lavado con detergente; R: repetición).



INFORME DE RESULTADOS

Informe de resultados R-QUIM-010	Edición: 5 13/07/2020	No. de Informe: OSC20-0576-1
----------------------------------	-----------------------	------------------------------

Datos del Cliente			
Nombre del cliente:	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO		
Dirección del cliente:	KM 38.5 CARRETERA MÉXICO – TEXCOCO	S/N	S/N
	Calle	No. Interior	No. Exterior
	CHAPINGO	TEXCOCO	MÉXICO
	Colonia/Fraccionamiento	Código Postal	Localidad/Municipio
Estado			
Nombre del contacto del Cliente:	LIC. ROGELIO DEHEZA MÉNDEZ		
Correo:	rgdeeza@gmail.com, luciajuarez071094@gmail.com	Teléfono:	5959521616
Fecha de recepción:	06/03/2020	Fecha de ejecución:	del 22/04/2020 al 26/04/2020
		Fecha de emisión del informe:	16/10/2020

Descripción de la muestra			
Identificación	Tipo de muestra	Cantidad (kg)	Fecha de muestreo
OSC20-0576-1 - T1R1	Jitomate	0.686	No indicado

Método utilizado:
1. Método interno INOQ-GC_01 AOAC Official Method 2007.01 Pesticide Residues in Foods.
2. Método interno INOQ-LC_01 AOAC Official Method 2007.01 Pesticide Residues in Foods.

Condiciones ambientales durante el proceso de la muestra			
Lugar donde se realizan las pruebas de ensayo: Laboratorio de Inocuidad Química, Laboratorio 8 y 9, segunda planta.			
Patrones de medida:		Materiales de referencia certificados	
Temperatura ambiental	entre 25 y 30 °C	Presión atmosférica	entre 814-810 hPa
			Humedad Relativa: entre 30 y 55%

Información para el cliente
1. Con base en los resultados obtenidos, es responsabilidad del usuario el analizar los resultados de las pruebas de ensayo con respecto a las especificaciones establecidas por el mismo, para determinar el criterio de aceptación o rechazo.
2. Los resultados del presente informe solo son aplicables a la muestra descrita en este documento.
3. Este documento es válido solo en su forma original (impreso o electrónico) con las correspondientes firmas. No se debe reproducir este Informe de pruebas de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.
4. El Laboratorio no se hace responsable del muestreo.
5. Después de la entrega del informe de resultados la muestra permanece en custodia durante 7 días para cualquier aclaración. Después de ese tiempo no se aceptan reclamaciones.
6. La incertidumbre de medición sobre la muestra es proporcionada a petición del cliente y esta genera un costo adicional. Las incertidumbres reportadas serán las obtenidas en la validación del método.
7. El Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán A.C. no tiene la autoridad, ni la facultad para negar, aceptar o autorizar cortes o cosechas.
Desviaciones al método: Ninguna
Observaciones: Ninguna



(443) 299-0181 - (443) 299-0264

direccion@cidam.org www.cidam.org



Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

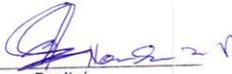
Página 1 de 2

INFORME DE RESULTADOS

Informe de resultados R-QUIM-010	Edición: 5 13/07/2020	No. de Informe: OSC20-0576-1
----------------------------------	-----------------------	------------------------------

RESULTADOS DEL ANÁLISIS								
Identificación de la muestra: OSC20-0576-1 - T1R1								
Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en Jitomate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	LC (mg/Kg)	LD (mg/Kg)
		MX	US	JP	EU			
Paclotbrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0.05	0.01	0.0034	0.002	0.006

MX: México. **US:** Estados Unidos. **JP:** Japón. **EU:** Unión Europea. **LMR:** Límite máximo residual. **NE:** No especificado. **LC-MS/MS:** Cromatógrafo de líquidos masas/masas. **GC-MS/MS:** Cromatógrafo de gases masas/masas. **< LC:** Por debajo del límite de cuantificación. **ND:** No detectado. se encuentra por debajo del límite de detección.



Realizó
Dra. Norma Susana Pano Fariás
Responsable del Laboratorio



Aprobó
M.C. Cynthia Laura Aguilar Gil
Responsable de la Unidad de Inocuidad



(443) 299-0181 · (443) 299-0264

direccion@cidam.org www.cidam.org



Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Página 2 de 2

INFORME DE RESULTADOS

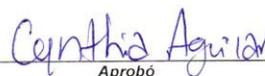
Informe de resultados R-QUIM-010	Edición: 5 13/07/2020	No. de Informe: OSC20-0576-2
----------------------------------	-----------------------	------------------------------

RESULTADOS DEL ANÁLISIS								
Identificación de la muestra: OSC20-0576-2 - T1R2								
Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en Jitomate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	LC (mg/Kg)	LD (mg/Kg)
		MX	US	JP	EU			
Paclotrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0.05	0.01	0.0018	0.002	0.006

MX: México. **US:** Estados Unidos. **JP:** Japón. **EU:** Unión Europea. **LMR:** Limite máximo residual. **NE:** No especificado. **LC-MS/MS:** Cromatógrafo de líquidos masas/masas. **GC-MS/MS:** Cromatógrafo de gases masas/masas. **< LC:** Por debajo del limite de cuantificación. **ND:** No detectado. se encuentra por debajo del limite de detección.



Realizó
Dra. Norma Susana Pano Farias
Responsable del Laboratorio



Aprobó
M.C. Cynthia Laura Aguilar Gil
Responsable de la Unidad de Inocuidad



(443) 299-0181 · (443) 299-0264

direccion@cidam.org

www.cidam.org

f /cidam

Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Página 2 de 2

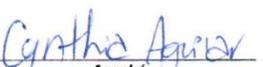
INFORME DE RESULTADOS

Informe de resultados R-QUIM-010	Edición	5 13/07/2020	No de Informe:	OSC20-0576-3
----------------------------------	---------	--------------	----------------	--------------

RESULTADOS DEL ANALISIS								
Identificación de la muestra: OSC20-0576-3 - T2R1								
Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en Jitomate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	LC (mg/Kg)	LD (mg/Kg)
		MX	US	JP	EU			
Paclobutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0.05	0.01	0.0415	0.002	0.006

MX: México, US: Estados Unidos, JP: Japón, EU: Unión Europea LMR: Límite máximo residual NE: No especificado LC-MS/MS Cromatógrafo de líquidos masas/masas GC-MS/MS: Cromatógrafo de gases masas/masas < LC: Por debajo del límite de cuantificación ND: No detectado, se encuentra por debajo del límite de detección


Realizó
Dra. Norma Susana Pano Farías
Responsable del Laboratorio


Aprobó
M.C. Cynthia Laura Aguilar Gil
Responsable de la Unidad de Inocuidad



(443) 299-0181 • (443) 299-0264

contacto@cidam.org www.cidam.org



Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Página 2 de 2

INFORME DE RESULTADOS

Informe de resultados R-QUIM-010	Edición: 5 13/07/2020	No. de Informe: OSC20-0576-4
----------------------------------	-----------------------	------------------------------

RESULTADOS DEL ANÁLISIS								
Identificación de la muestra: OSC20-0576-4 - T2R2								
Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en Jitomate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	LC (mg/Kg)	LD (mg/Kg)
		MX	US	JP	EU			
Paclbutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0.05	0.01	0.0377	0.002	0.006

MX: México. **US:** Estados Unidos. **JP:** Japón. **EU:** Unión Europea. **LMR:** Límite máximo residual. **NE:** No especificado. **LC-MS/MS:** Cromatógrafo de líquidos masas/masas. **GC-MS/MS:** Cromatógrafo de gases masas/masas. **< LC:** Por debajo del límite de cuantificación. **ND:** No detectado, se encuentra por debajo del límite de detección.


Realizó
Dra. Norma Susana Pano Farias
Responsable del Laboratorio


Aprobó
M.C. Cynthia Laura Aguilar Gil
Responsable de la Unidad de Inocuidad



(443) 299-0181 • (443) 299-0264

contacto@cidam.org www.cidam.org



Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Página 2 de 2

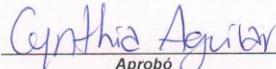
INFORME DE RESULTADOS

Informe de resultados R-QUIM-010	Edición: 5 13/07/2020	No. de Informe: OSC20-0576-5
----------------------------------	-----------------------	------------------------------

RESULTADOS DEL ANÁLISIS								
Identificación de la muestra: OSC20-0576-5 - T3R1								
Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en Jitomate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	LC (mg/Kg)	LD (mg/Kg)
		MX	US	JP	EU			
Paclbutrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0.05	0.01	0.0305	0.002	0.006

MX: México, US: Estados Unidos, JP: Japón, EU: Unión Europea. LMR: Limite máximo residual. NE: No especificado LC-MS/MS: Cromatógrafo de líquidos masas/masas. GC-MS/MS: Cromatógrafo de gases masas/masas. < LC: Por debajo del limite de cuantificación. ND: No detectado, se encuentra por debajo del limite de detección.


Realizó
Dra. Norma Susana Pano Farías
Responsable del Laboratorio


Aprobó
M.C. Cynthia Laura Aguilar Gil
Responsable de la Unidad de Inocuidad



(443) 299-0181 • (443) 299-0264

contacto@cidam.org www.cidam.org



Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341
Página 2 de 2

INFORME DE RESULTADOS

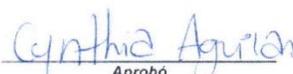
Informe de resultados R-QUIM-010 | Edición: 5 13/07/2020 | No. de Informe: OSC20-0576-6

RESULTADOS DEL ANALISIS								
Identificación de la muestra: OSC20-0576-6 - T3R2								
Plaguicida	Analizado en equipo	LMR en Jitomate (mg/kg)				Concentración obtenida en la muestra en mg/Kg	LC (mg/Kg)	LD (mg/Kg)
		MX	US	JP	EU			
Paclitabufrazol	LC-MS/MS	NE	NE	0.05	0.01	0.0312	0.002	0.006

MX: México, US: Estados Unidos, JP: Japón, EU: Unión Europea LMR: Límite máximo residual NE: No especificado LC-MS/MS: Cromatógrafo de líquidos masas/masas GC-MS/MS: Cromatógrafo de gases masas/masas < LC: Por debajo del límite de cuantificación ND: No detectado, se encuentra por debajo del límite de detección



Realizo
Dra. Norma Susana Pano Farías
Responsable del Laboratorio



Aprobo
M.C. Cynthia Laura Aguilar Gil
Responsable de la Unidad de Inocuidad



(443) 299-0181 • (443) 299-0264

contacto@cidam.org www.cidam.org

f / cidam

Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Página 2 de 2