



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

MANEJO AGRONÓMICO Y POSCOSECHA DE JITOMATE EN FUNCIÓN DE
UREA NBPT, FOSFITO DE POTASIO Y ALGINATO DE SODIO

TESIS

P R E S E N T A

EDGAR JAVIER MORALES MORALES

COMITÉ TUTORIAL

Dr. Martín Rubí Arriaga

DR. José Antonio López Sandoval

DR. Ángel Roberto Martínez Campos

Campus Universitario El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México.
Noviembre 2022.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | 6 |
| ABSTRACT | 7 |
| INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| I.- REVISIÓN DE LITERATURA | 11 |
| 1.- Generalidades del jitomate | 11 |
| 1.1.- Ficha técnica del cultivo de jitomate. | 11 |
| 1.2 Requerimientos ambientales del cultivo..... | 13 |
| 1.2.1 Luz..... | 13 |
| 1.2.2 Temperatura | 13 |
| 1.2.3 Humedad | 13 |
| 1.2.4 Suelo..... | 14 |
| 1.3 Importancia del jitomate en México..... | 14 |
| 1.4 Parámetros de calidad de frutos de jitomate..... | 16 |
| 1.4.1 Madurez..... | 16 |
| 1.4.2 Consistencia y firmeza..... | 16 |
| 1.4.3 Color | 16 |
| 2.- El nitrógeno en el cultivo de jitomate | 17 |
| 2.1 Importancia del nitrógeno en el cultivo de jitomate | 17 |
| 2.2.- Dinámica del nitrógeno en los suelos agrícolas..... | 19 |
| 2.3.- Urea como fuente de fertilización nitrogenada | 21 |
| 2.4.- Urea NBPT como alternativa en la fertilización nitrogenada..... | 22 |
| 3.- El fósforo en el cultivo de jitomate | 24 |
| 3.1.- Importancia del fósforo en el cultivo de jitomate | 24 |
| 3.2 Uso de los fosfitos en la producción agrícola..... | 26 |
| 4.- El manejo poscosecha de jitomate | 30 |
| 4.1 Importancia del manejo poscosecha de jitomate | 30 |
| 4.2 Uso de recubrimientos comestibles en el manejo poscosecha de jitomate | 32 |
| 4.3 El alginato de sodio en el manejo poscosecha del jitomate | 33 |

| | |
|---|----|
| II.- PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA | 35 |
| III.- JUSTIFICACIÓN..... | 36 |
| IV.- HIPÓTESIS | 37 |
| V.- OBJETIVOS | 38 |
| 5.1 Objetivo general..... | 38 |
| 5.2 Objetivos específicos | 38 |
| VI.- MATERIALES Y MÉTODOS | 39 |
| 6.1 Manejo del cultivo | 39 |
| 6.2 Manejo poscosecha | 41 |
| 6.2.1 Selección del material vegetal | 41 |
| 6.2.2 Aplicación del recubrimiento comestible | 42 |
| 6.2.3 Metodología de medición de las poscosecha | 43 |
| VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 46 |
| 7.1 Productos publicados resultado de la investigación..... | 46 |
| 7.2 Pruebas de normalidad | 47 |
| 7.3.- Resultados de pruebas en campo | 47 |
| 7.3.1 Índice de verdor y clorofila | 47 |
| 7.3.2 Área foliar e Índice de Área Foliar..... | 51 |
| 7.3.3 Tasa de asimilación neta | 53 |
| 7.2.4 Tamaño de fruto y peso de 5 frutos | 55 |
| 7.4.- Resultados de pruebas poscosecha..... | 58 |
| 7.4.1 Firmeza de frutos | 58 |
| 7.4.2 Pérdida fisiológica de peso | 59 |
| 7.4.3 Sólidos solubles totales y acidez titulable | 61 |
| 7.4.4 Incidencia microbiológica..... | 63 |
| VIII.- CONCLUSIONES..... | 64 |
| IX.- BIBLIOGRAFÍA | 65 |

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.- Estructura de la molécula de clorofila | 20 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Figura 2.- Estructura del grupo fosfato (A) y fosfito (B) | 29 |
| Figura 3. Principales metabolitos identificados en la metabolómica de muestras de hojas de papa y alteración en su abundancia en las plantas tratadas con Phi. | 30 |
| Figura 4. Reacción de oxidación de fosfito a fosfato mediante la enzima PTDH | 31 |
| Figura 5. Estructura del alginato | 36 |
| Figura 6. Modelo tridimensional de “caja de huevo” | 36 |
| Figura 7. Modelo bidimensional de “caja de huevo” | 37 |
| Figura 8. Fotografía de los frutos cosechados en los estados de madurez verde, quebrando y rojo | 45 |
| Figura 9. Diagrama de la aplicación del recubrimiento comestible de alginato de sodio en frutos de jitomate | 46 |
| II.- TABLAS..... | |
| Tabla 1. Manejo de fertilización de jitomate | 42 |
| Tabla 2. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable SPAD | 51 |
| Tabla 3. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable clorofila. | 52 |
| Tabla 4. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable área foliar. | 54 |
| Tabla 5. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable índice de área foliar | 55 |
| Tabla 6. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable tasa de asimilación neta. | 57 |
| Tabla 7. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable tamaño de fruto.59 | |
| Tabla 8. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable peso de 5 frutos | 60 |
| Tabla 9. Efecto de la madurez de fruto y aplicación de un recubrimiento comestible en la variable firmeza. | 61 |
| Tabla 10. Efecto de la madurez de fruto y aplicación de un recubrimiento comestible en la variable pérdida fisiológica de peso | 63 |
| Tabla 11. Efecto de la madurez de fruto y aplicación de un recubrimiento comestible en la variable sólidos solubles totales | 64 |

| | |
|--|----|
| Tabla 12. Efecto de la madurez de fruto y aplicación de un recubrimiento comestible en la variable acidez titulable | 65 |
| Tabla 13. Efecto de la madurez de fruto y aplicación de un recubrimiento comestible en la variable incidencia microbiológica | 67 |

RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es un cultivo que se produce anualmente, pero cuyo ciclo ontológico es perenne, siendo esta una de las hortalizas con mayor relevancia en la economía del país ya que representa el 21.55% de la producción total de hortalizas a nivel nacional. El consumo local del jitomate también es de alta importancia en México, pues según datos del SIAP en 2018, el consumo anual per cápita es de 15.2 kg. Si bien su consumo en fresco es predominante, es también utilizado como producto industrializado para la elaboración de pastas, salsa, puré y jugos. La nutrición constituye una de las prácticas de manejo indispensables para la producción de jitomate. El N es, después del agua, el factor de crecimiento más importante para las plantas cultivadas. Por otra parte, el fósforo (P) es uno de los elementos principales que requieren todas las especies vivas para crecer y desarrollarse. La urea [CO(NH₂)₂] es el principal fertilizante nitrogenado a nivel mundial; tiene ventajas para la industria agrícola, como una alta concentración de N (46% N), y menores costos de producción y comercialización en comparación con otras fuentes de N. En los últimos años, ha existido un interés en los compuestos que inhiben la ureasa en los suelos siendo el N-(n-butil) triamida tiofosfórica (NBPT), el que más exitosamente se ha posicionado en el mercado. Asimismo, los fosfitos son considerados como bioestimuladores de la Resistencia Sistémica Adquirida (SAR); y aunque no pueden ser utilizados como fertilizante directamente, pueden ser oxidados a la forma de fosfatos, los cuales son utilizados como nutrientes en los cultivos. En años recientes, el desarrollo de películas comestibles (PC) y recubrimientos comestibles (RC) aplicados a productos hortofrutícolas tanto frescos como mínimamente procesados, ha generado recientes avances respecto al efecto sinérgico de los componentes sobre la vida de anaquel de dichos alimentos, siendo las sales de alginato uno de los polímeros para la producción de RC. El presente trabajo se desarrolló bajo condiciones de invernadero en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Se estableció un experimento completamente aleatorizado con arreglo factorial de 3x4, teniendo tres niveles de aplicación de urea NBPT (0, 40 y 80 kg/ha) y cuatro niveles de fosfito de potasio (0, 4, 5 y 6 l/ha. Debido al brote de la pandemia del COVID-19, cuyo primer caso registrado en México fue del 27 de febrero de 2020, hubo una suspensión general de labores a nivel nacional, lo cual imposibilitó que se llevara a cabo la fase del manejo poscosecha del cultivo utilizando el material vegetal de la fase de campo. Sin embargo, se realizaron adecuaciones para establecer el experimento poscosecha en instalaciones caseras, y se obtuvieron frutos de productores del municipio de Villa Victoria, Estado de México. La formación del recubrimiento comestible se realizó mediante el método de inmersión, el cual consiste en tomar el fruto de jitomate y sumergirlo en primera instancia en la solución de alginato de sodio durante 10 segundos. Inmediatamente, se sumergió el fruto en la solución de lactato de calcio durante 120 segundos para que se formara el recubrimiento. Una vez retirados los frutos de la solución de calcio, se dispusieron en una malla a temperatura ambiente durante 2 horas, para evitar el exceso de humedad en los recubrimientos. El uso de la urea NBPT y el fosfito de potasio, aplicados como fertilización de fondo en un plan de nutrición ya establecido, ayuda a mejorar los parámetros fisiológicos de los cultivos, así como el rendimiento y calidad del fruto, debido a que ambos fungen como fertilizantes cuya degradación a moléculas aprovechables por las plantas como nutrimentos se realiza de manera paulatina, por lo que los cultivos tienen una disponibilidad de nutrientes por mayor tiempo. En la parte de la nutrición y manejo de cultivo, el tratamiento 11 (80-5) es el que

mejores resultados mostró no solo a nivel fisiológico, en las variables de índice de verdor, clorofilas totales, área foliar, índice de área foliar y tasa de asimilación neta, sino también en el tamaño y peso de fruto, los cuales son componentes principales del rendimiento del cultivo. Por otra parte, la aplicación de un recubrimiento comestible de alginato de sodio en frutos de jitomate ayudar a preservar los parámetros de calidad de los frutos en diferentes grados de madurez, en comparación con los frutos que no fueron tratados con estos recubrimientos comestibles; esto, debido a las características de los recubrimientos tales como la formación de una barrera semipermeable que retrasa el intercambio gaseoso y, por ende, la tasa de maduración, así como retrasa la aparición de microorganismos y su incidencia en los frutos.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is an annually produced crop, but whose ontological cycle is perennial, being this one of the most relevant vegetables in the country's economy since it represents 21.55% of the total production of vegetables nationally. The local consumption of tomato is also of high importance in Mexico; according to SIAP data in 2018, the annual per capita consumption is 15.2 kg. Although its fresh consumption is predominant, it is also used as an industrialized product for the preparation of pasta, sauce, puree and juices. Mineral nutrition is one of the essential management practices for tomato production. N is, after water, the most important growth factor for cultivated plants. On the other hand, phosphorus (P) is one of the main elements required by all living species to grow and develop. Urea is the main nitrogenous fertilizer worldwide; It has advantages for the agricultural industry, such as a high concentration of N (46% N), and lower production and marketing costs compared to other N sources. In recent years, there has been an interest in compounds that inhibit urease in soils, being N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT), the one that has been most successfully positioned in the market. Likewise, phosphites are considered as biostimulators of Systemic Acquired Resistance (SAR); and although they cannot be used as a fertilizer directly, they can be oxidized to the form of phosphates, which are used as nutrients in crops. In recent years, the development of edible films (EF) and edible coatings (EC) applied to both fresh and minimally processed horticultural products has generated recent advances regarding the synergistic effect of the components on the shelf life of said foods, being the alginate salts one of the polymers for the production of EF. The present work was developed under greenhouse conditions at the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Mexico. A completely randomized experiment was established with a 3x4 factorial arrangement, having three levels of NBPT urea application (0, 40 and 80 kg /ha) and four levels of potassium phosphite (0, 4, 5 and 6 l/ha. Due to the outbreak of the COVID-19 pandemic, whose first registered case in Mexico was on February 27, 2020, there was a suspension of work at the national level, which made it impossible to carry out the post-harvest management phase of the crop using the plant material from the field phase. However, adjustments were made to establish the post-harvest experiment in home facilities, and results were obtained. fruits from producers in the municipality of Villa Victoria, State of Mexico. The formation of the edible coating was carried

out using the immersion method, which consists of taking the tomato fruit and immersing it first in the sodium alginate solution for 10 seconds. Immediately, the fruit was immersed in the calcium lactate solution for 120 seconds, so that the coating was formed. Once the fruits were removed from the calcium solution, they were placed in a mesh at room temperature for 2 hours, to avoid excess moisture in the coatings. The use of NBPT urea and potassium phosphite, applied as background fertilization in an already established nutrition plan, helps to improve the physiological parameters of the crops, as well as the yield and quality of the fruit, because both act as fertilizers whose degradation to molecules usable by plants as nutrients is carried out gradually, so that crops have a longer nutrient availability. In the nutrition and crop management part, treatment 11 (80-5) is the one that showed the best results not only at the physiological level, in the variables of greenness index, total chlorophylls, leaf area, leaf area index and net assimilation rate, but also on fruit size and weight, which are major components of crop yield. On the other hand, the application of an edible coating of sodium alginate on tomato fruits helps to preserve the quality parameters of the fruits at different degrees of maturity, compared to the fruits that were not treated with these edible coatings; this, due to the characteristics of the coatings such as the formation of a semi-permeable barrier that delays gas exchange and, therefore, the ripening rate, as well as delays the appearance of microorganisms and their incidence on the fruits.

INTRODUCCIÓN

México cuenta con un territorio nacional de 198 millones de hectáreas (ha), de las cuales cerca de 145 millones se dedican a la actividad agropecuaria. Cerca de 30 millones de ha son tierras de cultivo, mientras que 115 millones son utilizadas como agostadero; además, los bosques y selvas cubren cerca de 45 millones de ha. La agricultura es un sector relativamente pequeño en México, y sigue a la baja con respecto a la economía total con cerca del 3.7% del PIB, sin embargo, las múltiples funciones de la agricultura en el desarrollo económico, social y ambiental determinan que su incidencia en el desarrollo sea mucho mayor de lo que este indicador implicaría (Corona, 2016).

El jitomate está dentro de los cinco cultivos con mayor producción a nivel nacional, atrás de los cultivos de maíz, sorgo y naranja; de hecho, esta hortaliza ha registrado un crecimiento promedio de 9.5% en los últimos 10 años, tan solo en el cierre agrícola de 2020 se obtuvo un volumen de producción de 3.27 millones de toneladas, en una superficie de más de 45,000 ha y un consumo per cápita cercano a los 13.4 kg. Es entonces, la hortaliza más cultivable tanto para el consumo nacional como para exportación, ya que es producido en prácticamente todos los estados del país (SIAP, 2021)

La producción de más alimentos, sanos e inoos, requiere necesariamente de la investigación e innovación como detonadores de nuevos mecanismos de los sistemas de producción, comercialización e industrialización de alimentos. Los principales temas que se están desarrollando son la agricultura de precisión, el mejoramiento genético, la biotecnología y el uso de fertilizantes amigables con el medio ambiente.

Los fertilizantes son sustancias ricas en nutrientes que se utilizan para mejorar las características del suelo para un mayor desarrollo de los cultivos agrícolas. Cuando los fertilizantes se utilizan de forma racional, sus efectos son favorables y esenciales para la fertilidad del suelo, para el rendimiento y calidad de las cosechas, para la salud humana, aportando los elementos esenciales al metabolismo, y el medio ambiente. No obstante, su uso desmedido puede conllevar afectaciones tanto ambientales como de salud animal y humana, aunado con un bajo aprovechamiento de los nutrimentos por parte de los cultivos, lo cual daría como resultado, cultivos con rendimientos menores a los esperados, además de productos con menor calidad.

El uso de fertilizantes con nuevas tecnologías, como aquellos recubiertos con polímeros para que extiendan sus periodos de degradación, son cada vez mas

utilizados por los agricultores en México, ya que su uso implica un menor daño ambiental y un mayor aprovechamiento en la nutrición de los cultivos, caso específico del jitomate.

La producción vegetal no solo busca incrementar los rendimientos de los cultivos, sino obtener productos de buena calidad, es decir, productos acordes a los estándares de preferencia de los consumidores, y que tengan características que puedan satisfacer las necesidades nutrimentales de quienes los consumen. Para el manejo posterior a la cosecha, es común utilizar empaques plásticos de polímeros derivados del petróleo, sin embargo, estos han tenido una repercusión ambiental muy grande en las últimas décadas.

En la actualidad, cada vez más se opta por desarrollar empaques o cubiertas comestibles o biodegradables en los productos que se consumen, no solo para disminuir el impacto ambiental causado por los plásticos, sino para prolongar los parámetros de calidad de los productos previo a su comercialización; estos materiales son polímeros naturales como polisacáridos o proteínas.

I.- REVISIÓN DE LITERATURA

1.- Generalidades del jitomate

1.1.- Ficha técnica del cultivo de jitomate.

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una planta perenne en forma de arbusto pero que se produce de manera anual. El crecimiento de las plantas puede ser limitado o ilimitado (indeterminado, es decir, el tallo principal sigue produciendo inflorescencia cada tres hojas) dependiendo de las variedades, pudiendo llegar en estas últimas, a 10 m de longitud en un año (Pérez, 2017).

Su morfología cuenta con un sistema radicular pivotante profundo y poco ramificado. Sus tallos y ramas son de consistencia herbácea que tienden a desarrollarse de forma rastrera o semi-erecta, por lo cual requiere de guías, denominadas tutores, para su producción (SAGARPA, 2017). La ramificación es simpodial, con lo que los ejes sucesivos se desarrollan a partir de la yema axilar del eje precedente y la yema terminal da lugar a las inflorescencias. Sus hojas son compuestas, imparipinadas con siete a nueve folíolos. La inflorescencia es un dicasio compuesto generalmente por cuatro a doce flores (Martínez, 2012).

El fruto es una baya que puede ser de forma globular, ovoide o aplastada, dependiendo de su variedad, y cuyo peso oscila entre 5 y 500 g. Contiene una alta cantidad de vitaminas y minerales, un bajo contenido calórico y se caracteriza por tener un alto contenido de agua, que oscila entre un 90 y un 94%. Además, contiene relevantes contenidos de azúcares solubles (fructosa, glucosa y sacarosa), ácidos orgánicos (cítrico y málico) y licopeno. Su semilla, cuyas dimensiones son de 3 a 5 mm de diámetro, tiene forma lenticular y se constituye principalmente del embrión, el endospermo y la cubierta seminal (Martínez, 2012; Nuez, 2001).

El proceso de producción de esta hortaliza se inicia con la germinación de las semillas en almácigos o charolas germinadoras. La temperatura óptima oscila entre los 20 y 25°C y a completa oscuridad, ya que algunas variedades presentan fotoblastismo negativo. (SAGARPA, 2010).

La nutrición constituye una de las prácticas de manejo indispensables para la producción de jitomate. Las dosis de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en cultivos protegidos varían de 275 y 750 kg ha⁻¹ N, 150 y 400 kg Ha⁻¹ P y 450-1200 kg ha⁻¹ durante todo el tiempo de producción (Hernández *et al.*, 2009).

El trasplante de las plántulas al sitio definitivo se realiza aproximadamente entre 25 y 35 días de iniciado el proceso de germinación, dependiendo de la calidad y vigor de la planta (FAO, 2013). Posterior al crecimiento, la planta debe de ser tutorada para evitar daños a los tallos, flores o frutos. El tutoreo se lleva a cabo a partir de los primero 0.20 a 0.25 cm de crecimiento del tallo (Pérez, 2017). A medida que se desarrolla el cultivo, es necesaria la realización de podas debido a que, si se presenta un crecimiento rápido de algún órgano, puede competir con las hojas por nutrimentos que fácilmente se pueden translocar, lo que puede provocar senescencia foliar y reducción en su capacidad fotosintética. El crecimiento resultante de una poda es bastante rápido debido a que se altera momentáneamente la relación de la zona radical con la parte aérea de la planta (Pérez, 2017).

Si la siembra es en campo abierto, el propio viento o la macrofauna del lugar pueden ayudar a llevar a cabo el proceso de polinización. Si la producción se lleva a cabo bajo cubierta plástica, es necesario la incorporación de insectos polinizadores, o mediante el uso de sopladores de hojas, cuidando no provocar daños a los órganos del cultivo en general (Martínez, 2012).

La cosecha de los frutos se realiza a partir de diez o doce semanas después del trasplante. Esta cosecha es de forma escalonada y se realiza a medida que los frutos comienzan a madurar. Debido a que se tratan de frutos climatéricos, éstos pueden cosecharse cuando su madurez es muy temprana (determinada principalmente por una coloración verde en toda la superficie del fruto) o cercano a llegar a su madurez fisiológica (de al menos un 80% de la superficie del fruto de una coloración roja brillante (Pérez, 2017).

1.2 Requerimientos ambientales del cultivo.

1.2.1 Luz

Aunque el jitomate es un cultivo insensible al fotoperiodo, la cantidad de luminosidad tiene un efecto directo sobre los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta. Valores de radiación total diaria en torno a 0.5 MJ m² son los umbrales considerados mínimos para la floración y cuajado de fruto, siendo preferible mayor iluminación en menor periodo de tiempo que iluminaciones más débiles durante más tiempo (Chávez-García, 2013).

1.2.2 Temperatura

La temperatura es el principal factor climático que influye en la mayoría de los estados de desarrollo y procesos fisiológicos de la planta. En un invernadero, cuando se produce un aumento de temperatura, ésta provoca en la planta una intensificación de todos los procesos biológicos y térmicos bien definidos. La temperatura óptima para el crecimiento está entre 21 y 27° C, y para el cuajado de frutos durante el día está entre 23 y 26 °C y durante la noche entre 14 y 17 °C (Jaramillo *et al.*, 2007).

1.2.3 Humedad

Cuando la humedad relativa en el invernadero es alta, favorece el desarrollo de

enfermedades como *Phytophthora infestans*, *Botrytis cinerea* y *Erwinia carotovora*, y se presentan desórdenes que afectan los frutos, como son: maduración desuniforme, grietas o rajaduras radiales o concéntricas; malformaciones y frutos huecos. Además, se dificulta la fecundación por la compactación del polen y las flores pueden caerse (Salinas-Navarrete, 2010). La humedad relativa ideal para el desarrollo del cultivo de tomate debe estar entre un 65 y un 75% para su óptimo crecimiento y fertilidad (Jaramillo *et al.*, 2007).

1.2.4 Suelo

La planta de jitomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura arcilla y ricos en materia orgánica. No obstante, se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego (Martínez, 2012).

1.3 Importancia del jitomate en México

El jitomate es una de las hortalizas con mayor relevancia en la economía del país ya que representa el 21.55% de la producción total de hortalizas a nivel nacional; en el 2017, México se convirtió en el décimo productor a nivel mundial de esta hortaliza, con una producción total de 3,469,707 toneladas (t), de las cuales, 1,596,571 t fueron exportadas a países como Estados Unidos, Canadá y Japón, dejando un saldo balanza de 1,578.8 millones de dólares a la derrama económica del país (SIAP, 2018). Este volumen de exportación representó el 24% de las exportaciones agrícolas totales, siendo México el principal exportador de jitomate a nivel mundial (CIMA, 2018).

La superficie total destinada al cultivo de tomate rojo registra una tendencia decreciente durante la última década. En 1980, año a partir del cual se tienen registros, se sembraron 85,500 hectáreas (ha), en 2000 se sembró un área de 75,900 ha y en 2015 se sembraron 50,596 ha. Sin embargo, esta disminución de superficie no significó un decrecimiento en el volumen de producción, esto debido a que se adoptaron nuevas tecnologías para el cultivo, siendo un pilar principal la implementación de una agricultura protegida (malla sombra e invernadero) que permitieron incrementar los rendimientos del cultivo (FIRA, 2016).

La superficie protegida para la siembra de jitomate se vio incrementada de 395 ha en 1980, a 13,747 ha en 2015. El incremento en la superficie con infraestructura de agricultura protegida se atribuye principalmente al éxito en la cosecha de jitomate de calidad de exportación que se destina al mercado de los Estados Unidos (FIRA, 2016).

En 2019, los principales estados productores de jitomate fueron San Luis Potosí con 318,680 t, Michoacán con 212,467 t y Zacatecas con 163,671 t. En este sentido, el Estado de México ocupa el noveno lugar en producción con 93,142 t, lo cual representó el 4.9% de la producción total de jitomate (SIAP, 2020).

El consumo local del jitomate también es de alta importancia en México, pues según datos del SIAP en 2018, el consumo anual per cápita es de 15.2 kg. Si bien su consumo en fresco es predominante, es también utilizado como producto industrializado para la elaboración de pastas, salsa, puré y jugos. Estos han cobrado importancia en los últimos años gracias a los avances tecnológicos para su procesamiento, así como los gustos y costumbres de las nuevas generaciones (Vázquez-Huerta *et al.*, 2014).

Los jitomates son también una fuente de moléculas bioactivas, especialmente carotenoides, de los cuales destaca el licopeno, lo que les confiere no sólo un alto

valor nutrimental, sino también propiedades benéficas para la salud por su amplia actividad antioxidante, que aporta un importante valor añadido desde el punto de vista del consumidor (Colle *et al.*, 2010).

1.4 Parámetros de calidad de frutos de jitomate

La norma mexicana “NMX-FF-031-1997. “Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Hortalizas frescas. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)” considera los siguientes parámetros de calidad en frutos de jitomate:

1.4.1 Madurez

El fruto debe de presentar un punto de madurez fisiológico mínimo, que es cuando los frutos presentan el color, la forma, el tamaño y textura característicos de la variedad, esto puede ser verificado sensorialmente.

1.4.2 Consistencia y firmeza

La consistencia de los frutos puede ser “compactos” o bofos”. En los primeros, la placenta (arilo) llena todas las cámaras o gajos, mientras que los segundos, la placenta o arilo no llena todas las cámaras o gajos. Asimismo, los frutos pueden ser duros (cuando a una presión manual mantienen su forma); firmes (cuando a la misma presión sufren cierta deformación) y suaves (cuando a la misma presión cambian completamente su forma).

1.4.3 Color

La coloración que presenta la epidermis del jitomate indica su etapa de maduración. El jitomate debe de presentar cualquiera de los siguientes seis colores, los cuales se verifican visualmente:

- a) Verde: Significa que la epidermis está completamente verde. El matiz puede variar entre verde claro y oscuro.

- b) Quebrando: Significa que hay una interrupción distinta en el color de verde hasta amarillo, rosado o rojo en no más del 10% de la superficie de la epidermis.
- c) Rayado (Rayando): Significa que entre el 10% y el 30% de la superficie del jitomate muestra un cambio definido del color verde hasta el amarillo, rosado o rojo, o una mezcla de estos.
- d) Rosa: Significa que entre el 30% y 60% de la superficie del jitomate muestra un color rojo o rosado
- e) Rojo claro: Significa que entre el 60% y 90% de la superficie de la epidermis tiene color rosado-rojizo o rojo.
- f) Rojo: Significa que más del 90% de la superficie del jitomate presenta una coloración roja.

2.- El nitrógeno en el cultivo de jitomate

2.1 Importancia del nitrógeno en el cultivo de jitomate

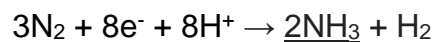
La nutrición mineral es uno de factores críticos para un correcto desarrollo del cultivo de jitomate. La cantidad y tipo de nutrimentos suministrados al cultivo pueden influir no solo en su rendimiento, sino en su contenido nutrimental, sabor y calidad de fruto. El jitomate requiere de al menos 12 nutrimentos, también conocidos como “elementos esenciales”, los cuales son nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo), aunque de todos ellos, el N y P son los que toman mayor relevancia durante el crecimiento del cultivo y desarrollo de fruto de jitomate (Sainju *et al.*, 2013).

El N es, después del agua, el factor de crecimiento más importante para las plantas cultivadas. Se encuentra presente en casi 80% de la atmosfera terrestre; su forma más estable (nitrógeno molecular o N₂) no es aprovechable por las plantas

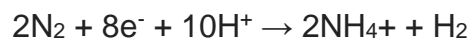
Aunque el N no está presente en las moléculas de licopeno u otros carotenoides presentes en los frutos de jitomate, si participa en la síntesis de estas moléculas bioactivas. La biosíntesis del licopeno y otros carotenoides provienen del ácido mevalónico y del Acetil Coenzima A (AcCoA); en este sentido, el N es componente estructural de la AcCoA; además de que el N juega un rol importante en el metabolismo y conversión energética. Por tanto, la capacidad antioxidante de los frutos de jitomate es fuertemente afectada por la fertilización nitrogenada (Zhang *et al.*, 2016).

2.2.- Dinámica del nitrógeno en los suelos agrícolas

Algunos microorganismos fijadores de N en los suelos, como bacterias de los géneros *Azotobacter*, *Azomonas*, *Azospirum*, o fijadores simbióticos de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* o *Azorhizobium*, capturan el N₂ atmosférico y lo convierten en amoníaco (NH₃) mediante el uso del complejo nitrogenasa (Dinitrogenasa y Dinitrogenasa-reductasa), como se muestra con la reacción global:

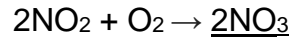


Algunas especies de microorganismos del suelo son capaces de fijar amonio (NH₄⁺) directamente del N₂ mediante la siguiente reacción:



El NH₃ puede ser oxidado por bacterias de los géneros *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* o *Nitrosolobus* en NO₂ (liberando moléculas de agua durante el

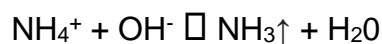
proceso), y éste puede ser oxidado nuevamente a NO_3 por bacterias de los géneros *Nitrobacter* o *Nitrococcus* (Cerón y Aristizábal, 2012).



Sin embargo, ambas formas aprovechables del N sufren pérdidas considerables en el suelo pues no son fácilmente retenidas. Las mayores pérdidas de N se deben a la remoción por cosechas, a la volatilización y a la lixiviación. En caso de un exceso de humedad, el nitrógeno mineral (NO_3^-) puede lixiviarse más allá del alcance de las raíces de los cultivos. Adicionalmente, bajo ciertas condiciones, algunas formas inorgánicas de nitrógeno se pueden convertir a gases y perderse hacia la atmósfera. Las principales rutas son la desnitrificación y la volatilización (Galloway *et al.*, 2004; Morales-Morales *et al.*, 2019).

La desnitrificación es el proceso opuesto a la fijación del N, en donde NO_2 y NO_3^- son reducidos a óxido nítrico (NO) y óxido nitroso (N_2O), que finalmente se transforman en nitrógeno molecular (N_2), lo cual implica una pérdida de N del suelo a la atmósfera y, por ende, a una contaminación ambiental. Los organismos más activos en la desnitrificación son las bacterias de los géneros *Alcaligenes*, *Bacillus* y *Pseudomonas* (Galloway *et al.*, 2004; Morales-Morales *et al.*, 2019).

Por otra parte, la volatilización implica la producción de amoníaco (NH_3) el cual es un gas tóxico que se dispersa a la atmósfera desde las soluciones acuosas:



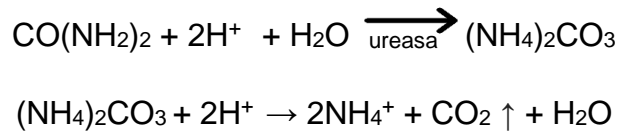
Este equilibrio depende del pH de la solución del suelo; en suelos con un pH por encima de 5 las pérdidas gaseosas aumentan. Es por ello por lo que la volatilización ocasiona mermas significativas en suelos secos, ácidos y calcáreos. La pérdida de N por volatilización de NH_3 puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales. La gasificación del amoníaco es una importante vía de dispersión de N en fertilizantes nitrogenados que poseen urea en su formulación y son aplicados sobre la superficie del suelo (Morales-Morales *et al.*, 2019).

2.3.- Urea como fuente de fertilización nitrogenada

De acuerdo con Cantarella y colaboradores (2018) la urea [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] es el principal fertilizante nitrogenado a nivel mundial; tiene ventajas para la industria agrícola, como una alta concentración de N (46% N), y menores costos de producción y comercialización en comparación con otras fuentes de N. Debido a su alta solubilidad, se puede disolver y aplicarse en el agua de riego. En aplicaciones foliares, puede ser absorbida rápidamente por las hojas.

Sin embargo, una vez que la urea entra en contacto con el suelo, la enzima ureasa la hidroliza en carbonato de amonio [$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$]. La hidrólisis de urea, catalizada por la enzima ureasa, es un proceso rápido en el suelo e implica el consumo de protones, lo que aumenta el pH del suelo en el área circundante de los gránulos de fertilizante. (Cantarella *et al.*, 2018).

De acuerdo con Manunza y colaboradores (1999) la ureasa es una metaloenzima dependiente de níquel, presente en una amplia variedad de plantas, hongos y bacterias presentes en los suelos. La ureasa cataliza la hidrólisis de urea a amonio y carbonato; este último, en suelos alcalinos, se descompone espontáneamente para dar un segundo ion NH_4^+ y CO_2 como se observa en las siguientes reacciones:



Posterior a este proceso, el N es susceptible a pérdidas gaseosas por volatilización de NH_3 (Witte, 2011).



Las cantidades de pérdidas de N como NH_3 varían en función de las condiciones ambientales y del suelo. La hidrólisis de la urea tiende a ser alta en suelos húmedos, especialmente a altas temperaturas; por el contrario, la urea aplicada a suelos secos tiene una hidrólisis lenta, lo que permite más tiempo para reducir las pérdidas por volatilización mediante la incorporación del suelo con medios mecánicos, lluvia o riego (Cantarella *et al.*, 2018).

Una estrategia para adicionar urea a las plantas cultivadas e incrementar su rendimiento, consiste en usar fertilizantes de liberación lenta. La industria de fertilizantes ha desarrollado un tipo especial de urea que evita, o al menos reduce, las pérdidas y minimiza la contaminación ambiental (Trenkel, 2010).

2.4.- Urea NBPT como alternativa en la fertilización nitrogenada

La fertilización nitrogenada debe de considerar las visiones agronómica y ambiental como el rendimiento del cultivo y una menor incidencia contaminante ambiental para contribuir a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas; en este sentido, los fertilizantes de liberación lenta integran estas dos visiones. El principal proceso de obtención de estos fertilizantes es mediante revestimientos en fertilizantes

convencionales, haciéndolos semipermeables, controlando la penetración del agua, por ende, de la liberación de los nutrientes más solubles (Shavit *et al.*, 2013).

En los últimos años, ha existido un interés en los compuestos que inhiben la ureasa en los suelos. Metales como la plata (Ag), mercurio (Hg), cobre (Cu), cadmio (Cd), cobalto (Co) o zinc (Zn), o compuestos como el ácido bórico, son conocidos por inhibir la hidrólisis de la urea, sin embargo, el compuesto que más exitosamente se posicionó en el mercado es el N-(n-butil) triamida tiofosfórica (NBPT), el cual comenzó a comercializarse en Estados Unidos a mediados de los noventa. En la actualidad, diferentes marcas de NBPT son comercializados como aditivos de la urea en muchos países del mundo (Ramspacher, 2018).

El modo de acción del NBPT se basa en bloquear tres sitios activos de la enzima ureasa, formando un enlace de naturaleza tridentada, con dos centros de níquel y un oxígeno del puente carbamato que une ambos metales, reduciendo la probabilidad de que la urea alcance el átomo de níquel (Cantarella *et al.*, 2018).

El uso de la urea NBPT (triamida N-n-butil tiofosfórica) disminuye la tasa de volatilización del amoníaco e incrementa la disponibilidad del nutrimento para la planta; en este sentido, la urea NBPT puede reducir la pérdida de amoníaco entre un 50% y 60% en comparación con la urea no revestida (Lema *et al.*, 2017).

Li *et al.* (2015) reportaron en trigo de invierno, que altas cantidades de NH_3 volatilizado oscilaron entre 11 y 25% de urea simple aplicada en suelos del norte y noroeste de China; sin embargo, cuando utilizaron urea revestida con NBPT las pérdidas de NH_3 disminuyeron 83% en comparación con la urea convencional.

Barbieri *et al.* (2010) en un experimento en maíz sembrado en Balcarce, Argentina, determinaron que la volatilización de NH_3 fue mayor en urea respecto a urea NBPT.

No obstante, no se incrementó significativamente el rendimiento, contenido de N en grano, ni en la eficiencia en el uso de nitrógeno

Vivian *et al.* (2018) en experimentos de maíz realizados en Tennessee, concluyeron que aplicando 150 kg ha^{-1} de urea recubierta con polímero, el rendimiento de grano se acrecentó en promedio en 2 t ha^{-1} respecto a la urea convencional.

Comparado con la urea convencional, estudios de campo evidencian un incremento sustancial en la producción, lo que indica que es una opción viable para acrecentar el rendimiento de las cosechas por unidad de superficie. Al liberar de manera gradual el fertilizante al suelo, las pérdidas por volatilización de gases nitrogenados tóxicos y la lixiviación de nitratos disminuyen, fomentando la agricultura sostenible y la conservación del ambiente (Morales-Morales *et al.*, 2019).

Los inhibidores de ureasa retrasan la hidrólisis de la urea en el suelo y, de esta manera, disminuyen la intensidad de que se incremente el pH del suelo y la concentración de $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ en el área circundante del gránulo de fertilizante, reduciendo así el efecto tóxico de la alta concentración de amoníaco. El NBPT puede ser absorbido por las plantas y cambiar algunas vías metabólicas reduciendo la actividad de la ureasa y la actividad de la glutamina sintetasa, que están asociadas con la asimilación de N. Por lo tanto, el NBPT puede causar un amarillamiento transitorio de las puntas de las hojas causado por la toxicidad de la urea poco después de la aplicación. Sin embargo, las plantas en general se recuperan rápidamente y no se han reportado efectos adversos sobre el crecimiento (Trenkel, 2010; Artola *et al.*, 2011; Cantarella *et al.*, 2018).

3.- El fósforo en el cultivo de jitomate

3.1.- Importancia del fósforo en el cultivo de jitomate

El fósforo (P) es uno de los elementos principales que requieren todas las especies vivas para crecer y desarrollarse. El P no existe naturalmente como elemento libre porque es demasiado reactivo, por ende, se combina rápidamente con otros elementos como el oxígeno (O) o hidrógeno (H). Cuando el fósforo se encuentra oxidado en la mayor medida posible, el producto es ortofosfato (PO_4^{3-} ; P_i) en donde cuatro átomos de oxígeno se han unido a un átomo de fósforo. En un pH neutro, el ion P_i se presenta como una mezcla de hidrogenofosfato (HPO_4^{2-}) o dihidrogenofosfato (H_2PO_4^-); en esta última forma es la que el P_i es normalmente transportada a las células de las plantas. (McDonald *et al.*, 2001).

En plantas, el P se encuentra principalmente en forma de ésteres de fosfato, incluidos los azúcares fosfatados, los cuales juegan un rol importante en la fotosíntesis, la respiración y en el metabolismo secundario. El P en forma de otras moléculas como ATP y ADP, ácidos orgánicos fosforilados, así como el fósforo inorgánico (P_i), también tienen un rol importante en el metabolismo energético de las células. La forma orgánica de mayor interés para la planta es el ácido fítico y las sales del ácido fítico (fitatos), que se sintetizan a partir de alcohol cíclico mio-inositol por esterificación de los grupos hidroxilos con fosfatos, imprescindibles en la germinación de semillas (Fernández, 2007; Hopkins y Hüner, 2008).

El P interviene en muchas de las reacciones que utilizan energía dentro de la célula ya que forma parte integral de las moléculas que acumulan energía como el adenosin trifosfato (ATP). Estas moléculas se forman como resultado de la fotosíntesis y son utilizadas en la respiración de la planta. Por consiguiente, es de vital importancia para la generación de células nuevas; por ejemplo, la producción de raíces al inicio de los ciclos vegetativos. Compuestos análogos al ATP, como el uracilo trifosfato (UTP), guanina trifosfato (GTP) y citosina trifosfato (CTP), se requieren en las síntesis de azúcares, fosfolípidos y ácidos ribonucleicos (RNA) (Fernández, 2007).

Es de destacar el papel auxiliar que el P inorgánico desempeña en la planta, al formar parte de los compuestos orgánicos en los distintos ciclos metabólicos y de muchas reacciones enzimáticas claves, es tanto un sustrato como un producto final. Además, ejerce una función control en los procesos de fotosíntesis y metabolismo de carbohidratos, así como interviene en la maduración de los frutos (Fernández, 2007).

A pesar de su amplia importancia en el metabolismo de las plantas, el Pi es uno de los nutrientes menos disponibles en muchos de los ecosistemas acuáticos y terrestres. La mayor parte del Pi que se encuentra en la corteza terrestre se encuentra en forma de minerales insolubles que en gran medida no está disponible para las plantas (McDonald *et al.*, 2001).

Es ampliamente aceptado que el Pi es el único nutriente que contienen fósforo para el óptimo desarrollo y crecimiento de las plantas; no obstante, una forma reducida del Pi conocida como fosfito (H_2PO_3^- ; Phi) ha sido utilizada para mejorar el rendimiento en varias especies de cultivos; sin embargo, el uso extensivo del Phi y sus productos relacionados en la agricultura han aumentado considerable controversia en el mundo científico, principalmente si se trata o no de una forma aprovechable de P para los cultivos (McDonald *et al.*, 2001).

3.2 Uso de los fosfitos en la producción agrícola.

Los fosfitos (Phi) son una forma reducida de los fosfatos (Pi), derivados del ácido fosforoso H_3PO_3^- , que regularmente se combinan con cationes no metales como potasio, sodio, calcio o amonio. La diferencia química entre fosfato (H_2PO_4^-) y fosfito (H_3PO_3^-) es un átomo de oxígeno el cual es sustituido por otro de hidrógeno (Figura 2). La sustitución del oxígeno da lugar a profundas diferencias en la manera en que los fosfatos y fosfitos se comportan en los organismos vivos (Yañez-Juárez *et al.*, 2018).

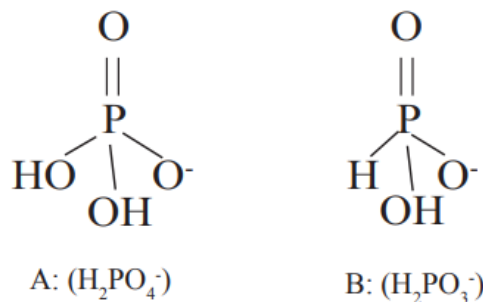


Figura 2.- Estructura del grupo fosfato (A) y fosfito (B) (Yañez-Juarez *et al.*, 2018)

El fosfito de potasio pertenece al grupo químico de los fosfanatos, categoría toxicológica III de bajo impacto ambiental; es decir, que la aplicación del fosfito de potasio es poco peligrosa al hombre, a los animales y al ambiente, y es comercializado como fertilizante y fungicida (Barpen, 2004).

Los fosfitos han sido ampliamente estudiados como una alternativa para el control de organismos fitoparásitos. Los niveles de eficacia de los fosfitos en el control de organismos fitoparásitos varían dependiendo del ión unido al fosfito (fosfito de potasio, fosfito de calcio, entre otros), el método de aplicación (vía foliar o radical), el organismo fitopatógeno y la planta hospedante (Monsalve *et al.*, 2012; Yañez-Juárez *et al.*, 2018).

Los fosfitos son considerados como bioestimuladores de la Resistencia Sistémica Adquirida (SAR); al entrar a las células del tejido vegetal, activan mecanismos bioquímicos y estructurales de defensa como la producción de polisacáridos, fitoalexinas o proteínas relacionadas con la patogénesis “PR”) que restringen la penetración y supervivencia de los patógenos (Monsalve *et al.*, 2012; Yañez-Juárez *et al.*, 2018). Por ejemplo, Wu *et al.* (2018) demostraron cambios significativos en la metabolómica de las hojas de papa (*Solanum tuberosum* L.) al entrar en contacto con aplicaciones de Phi encontraron cambios en la concentración de productos intermediarios del metabolismo de azúcares, así como del ciclo del ácido cítrico; de igual manera, encontraron niveles más altos de compuestos como ácido

clorogénico, ácido caféico o ácido salicílico, los cuales tienen funciones en el mecanismo de defensa de las plantas (Figura 3).

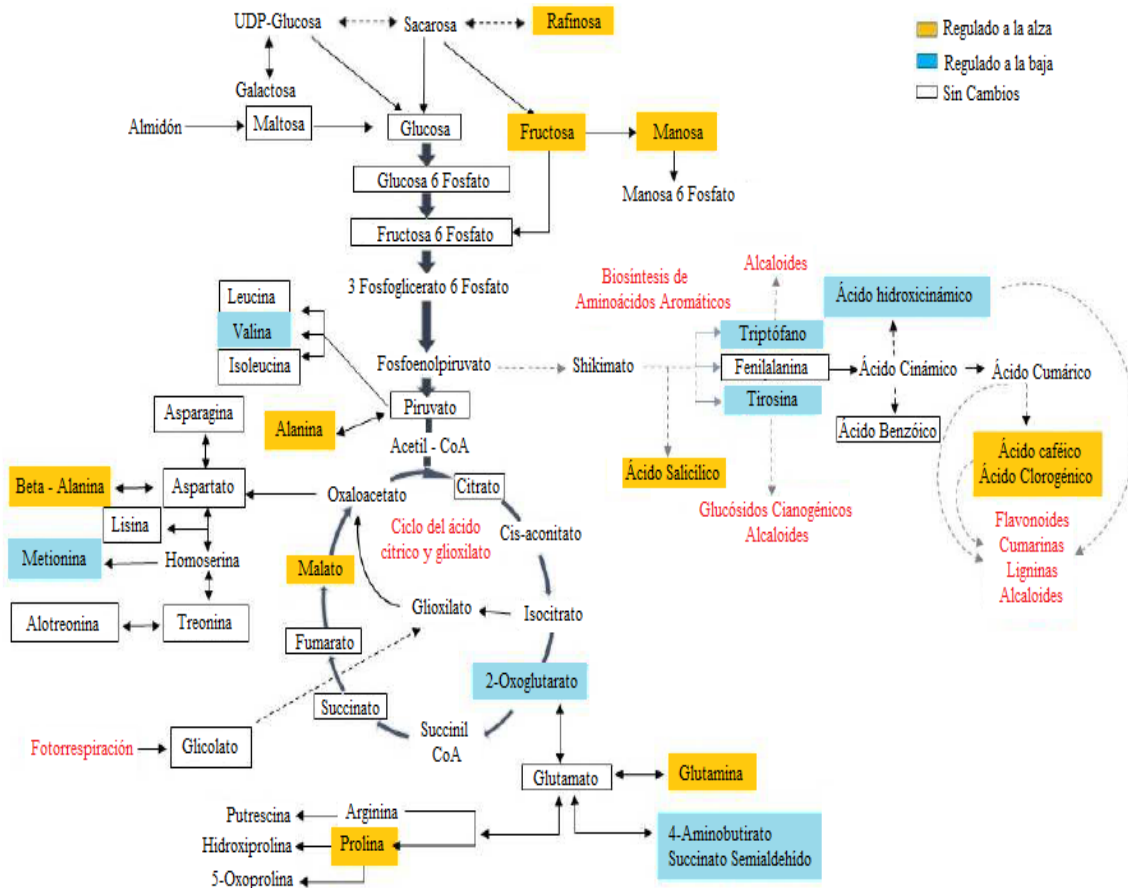


Figura 3. Principales metabolitos identificados en la metabolómica de muestras de hojas de papa y alteración en su abundancia en las plantas tratadas con Phi. Destacados en cuadros amarillos están los metabolitos que muestran un aumento de más de 1.3 veces en abundancia en las plantas tratadas con Phi, mientras que en cuadros azules están los que muestran una disminución de más de 1.3 veces en abundancia. Los metabolitos en cuadros blancos fueron identificados pero su abundancia no cambió en las plantas tratadas con Phi en comparación con los controles (Wu *et al.*, 2018).

Asimismo, los fosfitos tienen una acción directa en los patógenos debido a que, al entrar en contacto con los microorganismos, afecta su crecimiento y reproducción, al influir en la expresión de genes que codifican la síntesis de compuestos indispensables en la estructura y fisiología celular. Por ejemplo, en oomycetes, la

aplicación de fosfitos inhibe la fosforilación oxidativa del metabolismo, en el micelio inhiben el crecimiento y cambian la composición de la superficie, incrementan la actividad de la ruta de las pentosas fosfato e inhiben enzimas reguladas alostéricamente por el fosfato (Yañez-Juárez *et al.*, 2018; García-Velasco *et al.*, 2020).

Por otra parte, el uso de los fosfitos en la agricultura como fuente de nutrición en plantas puede ocurrir si estos se aplican al suelo y entran en contacto con microorganismos que tienen la capacidad de oxidarlos a fosfatos (Yañez-Juárez *et al.*, 2018). Cuando el Phi es suministrado en formas en las que pueda estar en contacto con bacterias, ya sea en asociación con sistemas radiculares o directamente en el suelo, la oxidación de fosfitos a fosfatos puede ocurrir.

Varias especies de *Bacillus* pueden oxidar el fosfito e hipofosfito (H₂PO₂) a fosfato. Además, se ha reportado que varias cepas de laboratorio comunes, incluida *Escherichia coli*, son capaces de oxidar los fosfitos. La oxidación microbiana del fosfito es posible gracias a la acción de la enzima fosfito deshidrogenasa (PTDH), como se aprecia en la figura 4 (Relyea y Van der Donk, 2005).

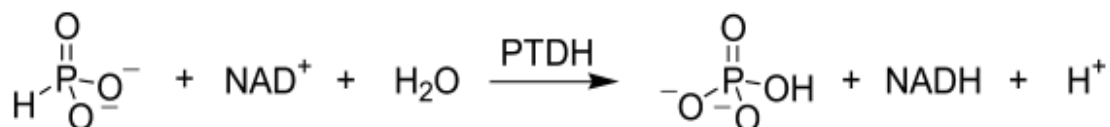


Figura 4. Reacción de oxidación de fosfito a fosfato mediante la enzima PTDH (Relyea y Van der Donk, 2005).

Mediante este método indirecto, el Phi puede convertirse en un nutrimento fosfatado aprovechable para las plantas. Sin embargo, las tasas de oxidación son bajas, dependiendo principalmente del tipo de suelo (McDonald *et al.*, 2001).

Lovatt y Mikkelsen (2006) afirman que los efectos negativos en el crecimiento de las plantas observados en muchos estudios son resultado de un uso inapropiado de los fosfitos, por ejemplo, como fuente primaria de P o aplicaciones en cantidades

excesivas. Ya que el fosfito es químicamente diferente al fosfato, estas diferencias deben de ser tomadas en consideración para evitar efectos fitotóxicos.

Los efectos de Phi en los cultivos dependen en gran medida del estado de los niveles de Pi de las plantas. Los efectos deletéreos de Phi en plantas no son evidentes en plantas con suficiente Pi, pero las plantas fertilizadas con Pi suficiente para aproximadamente el 80-90% de su crecimiento máximo aún pueden estar en riesgo de sufrir el efecto. El efecto negativo de Phi se vuelve más pronunciado en condiciones de deficiencia de Pi. Por lo tanto, Phi no debe aplicarse a plantas en condiciones no óptimas de Pi (Thao y Yamakawa, 2008).

4.- El manejo poscosecha de jitomate

4.1 Importancia del manejo poscosecha de jitomate

La utilización de productos agroquímicos con tecnologías nuevas no busca solamente tener cultivos de jitomate con alto rendimiento, sino reducir la incidencia contaminante hacia el ser humano y el ambiente, además de obtener frutos de buena calidad. Un jitomate de buena calidad debe tener aspecto fresco, con características propias de la variedad, y madurez adecuada según el tipo o variedad. Debe presentar uniformidad de color, ser firme al tacto, estar bien desarrollado y formado; estar limpio y libre de pudriciones, libre o con manifestación leve de defectos de origen climático (granizo, quemaduras de sol, daño por frío), mecánico, entomológico, genético y fisiológico (Alarcón, 2013).

Las pérdidas poscosecha en tomates pueden ser cuantitativas o cualitativas. Aunque el énfasis en la investigación de cultivos en la actualidad está aumentando, pasando de la cantidad a la calidad del producto, todavía hay poca mejora en la calidad de las variedades de tomate producidas comercialmente, lo que resulta en abundantes pérdidas cualitativas. Sin embargo, la pérdida cualitativa en la

producción de tomate puede tener un impacto negativo en muchos parámetros como la aceptabilidad del consumidor, el estado nutricional de las frutas y los ingresos económicos de los productores (Arah *et al.*, 2015).

Debido al alto contenido de humedad de los frutos, estos presentan una alta tasa de degradación metabólica a temperatura ambiente; por esto, la rápida maduración después de la cosecha, aunado con el reblandecimiento y deterioro durante el almacenamiento, representan un problema mayor durante la conservación del fruto. En países tropicales, cerca del 40% al 50% de las pérdidas postcosecha ocurren entre la cosecha, el transporte, la venta y el consumo del jitomate fresco debido al limitado tiempo de almacén (Zekrehiwot *et al.*, 2017).

Dependiendo de la distancia del mercado, el propósito del uso, de la localización del área de producción o del interés particular del productor, los jitomates pueden ser cosechados en diferentes etapas de maduración desde estados maduros-verdes hasta estados completamente maduros. Una vez cosechados, es recomendable minimizar la respiración y tasa de respiración utilizando diferentes métodos. El almacenamiento con bajas temperaturas es un método recomendado, pero poco factible para productores de baja escala o aquellos en países en desarrollo (Zekrehiwot *et al.*, 2017).

No obstante, las cualidades poscosecha de los tomates dependen no solo de los métodos de manejo y tratamiento poscosecha, sino también de muchos factores previos a la cosecha, como las condiciones genéticas y ambientales. Muchas pérdidas de calidad poscosecha son el resultado de muchos factores previos a la cosecha. Las prácticas agronómicas, como los tipos de nutrientes, el suministro de agua y los métodos de cosecha, son factores que influyen en la calidad del tomate tanto antes como después de la cosecha (Arah *et al.*, 2015).

Un alto suministro de nitrógeno de aproximadamente 250 kg ha⁻¹ puede afectar algunas características importantes de la calidad de las frutas, como los sólidos solubles totales, la glucosa, la fructosa y el pH. Un suministro de formas reducidas

de nitrógeno, como el amonio, puede resultar en mejores sabores de frutas (Arah *et al.*, 2015). Por otro lado, un nivel óptimo de P en toda la zona de la raíz es esencial para su desarrollo y mejorar la obtención de nutrientes y agua por parte de la planta (Abu-Alrub *et al.*, 2019)

4.2 Uso de recubrimientos comestibles en el manejo poscosecha de jitomate

En años recientes, el desarrollo de películas comestibles (PC) y recubrimientos comestibles (RC) aplicados a productos hortofrutícolas tanto frescos como mínimamente procesados, ha generado recientes avances respecto al efecto sinérgico de los componentes sobre la vida de anaquel de dichos alimentos (Quintero *et al.*, 2010). El uso de una PC o RC en aplicaciones alimentarias y en especial en productos altamente perecederos, como los pertenecientes a la cadena hortofrutícola, se basa en ciertas características tales como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto barrera frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua, a microorganismos y su aceptabilidad sensorial (Rojas-Graü *et al.*, 2009).

El uso de RC también ha recibido mayor atención en los últimos años debido al creciente interés por reducir la contaminación ambiental causada por plásticos, la necesidad de extender la vida de anaquel de los alimentos y la creciente demanda de alimentos más saludables y ecológicos (Zekrehiwot *et al.*, 2017).

Existen tres categorías de recubrimientos comestibles según la naturaleza de los componentes utilizados para su preparación, los hidrocoloides incluyen alginatos, proteínas y polisacáridos; lípidos que contienen ácidos grasos o ceras; y compuestos preparados combinando sustancias de las otras dos categorías (Sharma *et al.*, 2018).

Los RC actúan como una barrera semipermeable en contra del O₂, CO₂, la humedad y el movimiento de solutos, reduciendo así la tasa de respiración, la pérdida de agua y la reacción de oxidación, lo que ayuda al fruto a mantener su calidad interna y su apariencia. (Zekrehiwot *et al.*, 2017).

De acuerdo con Ali *et al.* (2013) la aplicación de RC en jitomate disminuye la acumulación de O₂ se aumenta la concentración de CO₂, con lo cual se incrementa la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), lo cual conduce a una acumulación de compuestos fenólicos.

4.3 El alginato de sodio en el manejo poscosecha del jitomate

Los alginatos han adquirido importancia en los últimos años. Éstos tienen la capacidad de actuar como agentes formadores de películas comestibles aplicadas a frutas mínimamente procesadas, con el fin de mantener los atributos de frescura por un mayor tiempo. Los alginatos son una familia de polisacáridos lineales conteniendo cantidades variables de ácido β-D manurónico (M) y ácido α-L gulurónico (G). Estos se agrupan en secciones constituyendo homopolímeros tipo bloques G (-GGGG-), bloques M (-MMMM-) o bloques de heteropolímeros alternados (-MGMG-), como se aprecia en la figura 5 (Avedaño-Romero *et al.*, 2015).

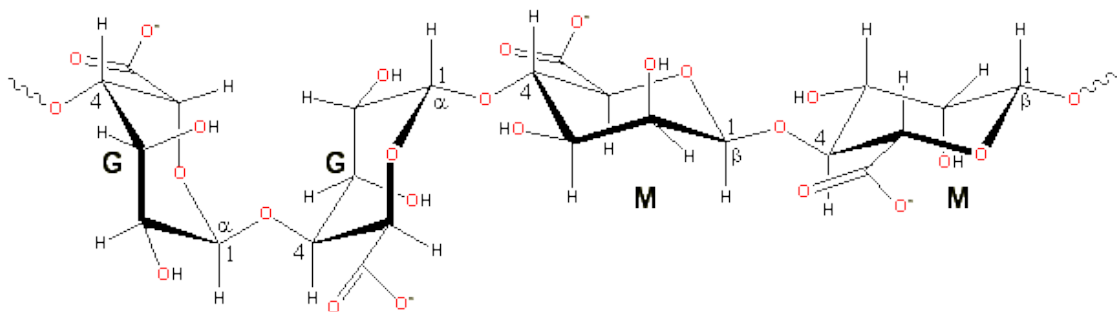


Figura 5. Estructura del alginato (Avedaño-Romero *et al.*, 2013).

El alginato de sodio posee una característica funcional especial y hace referencia a su capacidad para formar geles irreversibles e insolubles en agua después del entrecruzamiento de sus unidades de ácido gulurónico a través de las uniones de los grupos carboxilo con los iones calcio (Méndez-Reyes *et al.*, 2014). Al adicionar iones de Ca_2 , el alginato sufre cambios conformacionales, dando lugar al modelo de gelificación del alginato conocido como “caja de huevo” [Figuras 6 y 7] (Avendaño-Romero *et al.*, 2013).

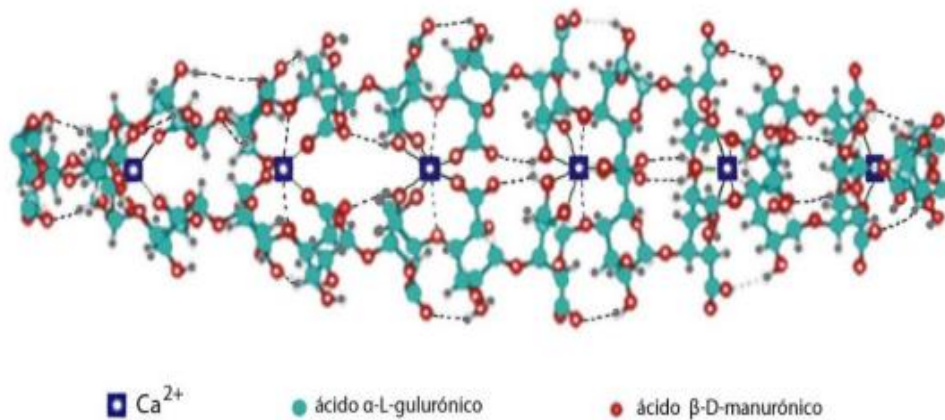


Figura 6. Modelo tridimensional de “caja de huevo” que describe la estructura del alginato (Avendaño-Romero *et al.*, 2013)

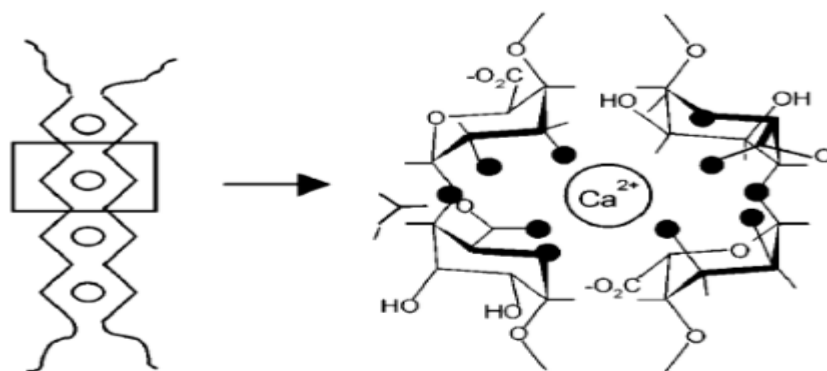


Figura 7. Modelo bidimensional de “caja de huevo” que describe la estructura del alginato (Méndez-Reyes *et al.*, 2015)

Las películas comestibles a partir de alginato poseen un amplio número de aplicaciones en el campo alimentario siendo su biodegradabilidad, biocompatibilidad, baja persistencia en el ambiente y grado de compatibilidad con diferentes sustancias sus principales características de innovación que han interesado en el campo a la investigación (Méndez-Reyes *et al.*, 2015).

Existen diferentes estudios que indican la seguridad del uso de los alginatos en los alimentos. Los alginatos de sodio, potasio, calcio y amonio son aditivos alimenticios reconocidos como inocuos y seguros según la Food and Drug Administration de los Estados Unidos. Los límites de ingesta diaria de ácido algínico y de sus sales derivadas es de 50 mg/kg de peso corporal (FAO, 2011).

II.- PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

La producción de jitomate involucra la adición de una gran cantidad de fertilizantes, principalmente nitrogenados y fosfatados, para garantizar rendimientos redituables para los productores, así como para la obtención de frutos de buena calidad. Asimismo, una vez cosechados los frutos, estos deben de pasar por procesos poscosecha para extender su vida útil.

Sin embargo, existen factores que pueden afectar la nutrición del cultivo y, por consiguiente, disminuir la producción de jitomate. La falta de respuesta de los cultivos a la nutrición nitrogenada puede estar relacionada a problemas en la absorción del nutriente debido al momento, forma de aplicación, tipo de fertilizante, cantidad disponible de nitrógeno inicial en el suelo y el contenido de humedad de este. La pérdida de N por volatilización de amoníaco es la principal causa de la baja eficiencia de la urea y de contaminación ambiental.

Por otra parte, el fósforo es uno de los nutrientes menos disponibles en los suelos; se encuentra principalmente en forma de minerales insolubles que en gran medida no se encuentran disponibles para las plantas, por lo que es necesario su adición a los sistemas agrícolas en forma de fertilizante; no obstante, niveles excesivos de fósforo que se filtran en los ríos y océanos causan un crecimiento excesivo de algas, las cuales disminuyen el oxígeno del agua mientras se descomponen. La disminución del oxígeno causa daños a los ecosistemas marinos y provoca muerte de cantidades grandes de peces y otros organismos.

Debido a lo anterior, el uso excesivo de fertilizantes para obtener cultivos con altos rendimientos y frutos de buena calidad puede traer consigo daños a los ecosistemas marinos y terrestres.

Por otra parte, los jitomates al ser frutos climatéricos pueden ser cosechados en distintas etapas de maduración; sin embargo, debido al alto contenido de humedad de los frutos, estos presentan una alta tasa de degradación metabólica a temperatura ambiente, lo cual puede generar pérdidas poscosecha entre la cosecha, el transporte, la venta y el consumo de la hortaliza en fresco. Existen tratamientos poscosecha de los frutos para extender su vida útil, sin embargo, algunos de ellos resultan también contaminantes al medio ambiente, tales como las atmósferas controladas y las cubiertas plásticas.

III.- JUSTIFICACIÓN

La urea NBPT es un fertilizante revestido con un polímero inhibidor de la enzima ureasa, el cual disminuye la tasa de volatilización del amoníaco e incrementa la disponibilidad del nitrógeno para los cultivos hasta en un 60% en relación con los fertilizantes nitrogenados no revestidos. Así mismo, los fosfitos se han utilizado en la agricultura como bioestimuladores de cultivos y como control de organismos

fitoparásitos. Si bien los iones de fosfito no pueden ser utilizados como nutrimento por las plantas, estos pueden ser oxidados a una forma aprovechable para las plantas si son aplicados directamente en el suelo. El uso de estos agroquímicos con tecnologías nuevas no busca solamente tener cultivos de jitomate de alto rendimiento, sino reducir la incidencia contaminante hacia el ser humano y el ambiente, además de obtener frutos de buena calidad.

Por otra parte, una vez obtenidos los frutos de buena calidad, es necesario reducir las pérdidas poscosecha de los frutos; en este sentido, los recubrimientos comestibles a base de alginato de sodio actúan como una barrera en contra del O₂, CO₂ y humedad, ayudando a los frutos a mantener su calidad interna y su apariencia; además de que el uso de RC ayuda a reducir la contaminación ambiental causada por plásticos.

IV.- HIPÓTESIS

- El uso de urea recubierta con el polímero NBPT permitirá un mejor aprovechamiento del N en forma de nutrimento, ya que la capacidad de lenta liberación de esta urea reducirá las pérdidas de N por lixiviación y volatilización y, por el contrario, habrá mayor disponibilidad de nitratos y amonio, utilizables para los cultivos.
- La aplicación de fosfito de potasio como forma de fertilización previa a la siembra permitirá una mayor disponibilidad de P aprovechable para las plantas como al ser oxidado a fosfato por la microbiota del suelo.
- Con la aplicación de Urea NBPT y fosfito de potasio adicionados a un plan de fertilización en el cultivo de jitomate cv “Sun” se mejorarán los componentes del rendimiento, el rendimiento y la calidad de los frutos

- La aplicación de un recubrimiento comestible a partir de alginato de sodio incrementará la vida útil poscosecha del fruto, debido a sus propiedades como barrera semipermeable que reducen la tasa de maduración de los0 frutos; asimismo, por las características inodoras, incoloras e insípidas del alginato, las cubiertas no afectarán los parámetros de calidad de los frutos.

V.- OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Implementar el uso de urea de lenta liberación (NBPT) y fosfito de potasio en el manejo agronómico para la producción de jitomate; asimismo, aplicar un recubrimiento comestible a base de alginato de sodio para incrementar la vida útil poscosecha de los frutos de jitomate.

5.2 Objetivos específicos

- Estimar la tasa de asimilación neta, índice de área foliar, rendimiento y componentes del rendimiento de jitomate bajo condiciones de invernadero en función de tres niveles de Urea NBPT y cuatro niveles de Fosfito de Potasio.
- Evaluar la aplicación de recubrimientos comestibles de alginato de sodio en jitomates tratados con diferentes niveles de urea NBPT y fosfito de potasio en los factores de calidad de jitomate.
- Analizar los factores de calidad (tamaño, forma, color, textura, sólidos solubles y acidez titulable) de los frutos cosechados de jitomate tratados con un recubrimiento comestible de alginato de sodio, con frutos cosechados no tratados.

VI.- MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Manejo del cultivo

El presente trabajo se efectuó bajo condiciones de invernadero en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en El Cerrillo Piedras Blancas, Estado de México, a 18 km al norte de la Ciudad de Toluca, a 19° 14' de latitud norte y 92° 42' de longitud oeste, a una altitud de 2 611 m.

Se estableció un experimento completamente aleatorizado con arreglo factorial de 3x4, teniendo tres niveles de aplicación de urea NBPT (0, 40 y 80 kg ha⁻¹) y cuatro niveles de fosfito de potasio (0, 4, 5 y 6 l ha⁻¹), los cuales fueron suplementados directamente al suelo previo a la siembra del cultivo; dicha actividad se denomina fertilización de fondo. Todos los tratamientos siguieron un plan de fertilización adaptado de las recomendaciones de Haifa-Group (2014) tal como se muestra en la siguiente tabla:

| Etapa de cultivo | Días después del trasplante | Kg ha ⁻¹ | | | | |
|------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | | Nitrato de Amonio | Fosfato Monoamónico | Nitrato de Potasio | Nitrato de Calcio | Sulfato de Magnesio |
| Siembra | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Vegetativo | 2 -14 | 24 | 3 | 28 | 4 | 0 |
| Floración | 16 – 30 | 26 | 3 | 30 | 4 | 6 |
| Amarre | 31 – 40 | 18 | 3 | 20 | 4 | 0 |
| Crecimiento | 41 – 60 | 71 | 10 | 83 | 8 | 6 |
| Cosecha | 61 – 65 | 59 | 3 | 20 | 4 | 0 |
| Cosecha | 66 - 120 | 38 | 59 | 452 | 50 | 50 |

| | | | | | | |
|---------|-----------|-----|-----|------|-----|-----|
| Cosecha | 121 - 170 | 26 | 39 | 309 | 35 | 31 |
| Cosecha | 171 - 210 | 20 | 31 | 248 | 27 | 35 |
| Total | | 285 | 151 | 1192 | 136 | 128 |

Tabla 1. Manejo de fertilización de jitomate (elaboración propia con base en Haifa-Group, 2014).

La siembra se estableció en charolas de unicel de 200 cavidades y se trasplantaron cuando las plántulas presentaron la segunda hoja verdadera totalmente expandida. El trasplante se estableció a doble hilera con una distancia de 15 cm entre plantas. Se utilizaron 135 plantas como unidad experimental para la toma de muestras y análisis.

6.1.1 Metodología de medición de las variables de campo

Para la medición de las variables a evaluar en campo se utilizaron las siguientes metodologías:

- Para el índice de verdor se utilizó un medidor SPAD Minolta 502; realizando en primera instancia una medición con la placa de calibración y posteriormente promediando mediciones de hojas basales, medias y apicales. Los resultados fueron expresados en unidades SPAD.
- Para la cantidad de clorofila, se sustituyeron las unidades SPAD en la variable x de la ecuación $0.2317e^{0.0406x}$ propuesta por Jiang y colaboradores (2017). Los resultados fueron expresados en miligramos de clorofilas totales por gramo de peso fresco [$mg\ g^{-1}$].
- Para el índice de área foliar (IAF), se midió primero el área foliar utilizando un Integrador de área foliar Li-Cor 3100, la densidad de plantas cultivadas (DP) y el área sembrada (AS); y posteriormente dichos valores se sustituyeron en la siguiente fórmula:

$$IAF = \frac{(AF)(DP)}{AS}$$

Los resultados fueron expresados sin unidades.

- Para la tasa de asimilación neta (TAN) se obtuvieron los valores de IAF y peso seco (PS) de plantas utilizando una estufa industrial, dejando las plantas a 50 °C durante 6 días hasta que no presentaron variaciones en su peso. Posteriormente se sustituyeron dichos valores en la siguiente ecuación

$$TAN = \left(\frac{PS_2 - PS_1}{(AF_2 - AF_1)} \right) \left(\frac{\ln AF_2 - \ln AF_1}{t_1 - t_2} \right)$$

Donde t es una variable de tiempo entre las primeras y las segundas mediciones de PS y AF. Los resultados fueron expresados en $g\ cm^2\ d^{-1}$

- Para el peso de 5 frutos se utilizó una balanza digital, y los resultados fueron expresados en g .

6.2 Manejo poscosecha

6.2.1 Selección del material vegetal

Debido al brote de la pandemia del COVID-19, cuyo primer caso registrado en México fue del 27 de febrero de 2020, hubo una suspensión general de labores a nivel nacional, lo cual imposibilitó que se llevara a cabo la fase del manejo poscosecha del cultivo utilizando el material vegetal de la fase de campo. Sin embargo, se realizaron adecuaciones para establecer el experimento poscosecha en instalaciones caseras, y se obtuvieron frutos de productores del municipio de

Villa Victoria, Estado de México, cuyo manejo de cultivo fue similar al utilizado en el presente experimento en campo, el cual utiliza el plan de nutrición de Haifa Group.

Se obtuvieron 90 frutos en 3 etapas de madurez; verde, quebrando y rojo, cada etapa de madurez constó de 30 frutos. Todos los frutos se seleccionaron con las siguientes características: libres de daños mecánicos o microbiológicos, firmes, con la coloración correspondiente a su grado de madurez y con un tamaño entre 59 y 70 mm de diámetro ecuatorial.

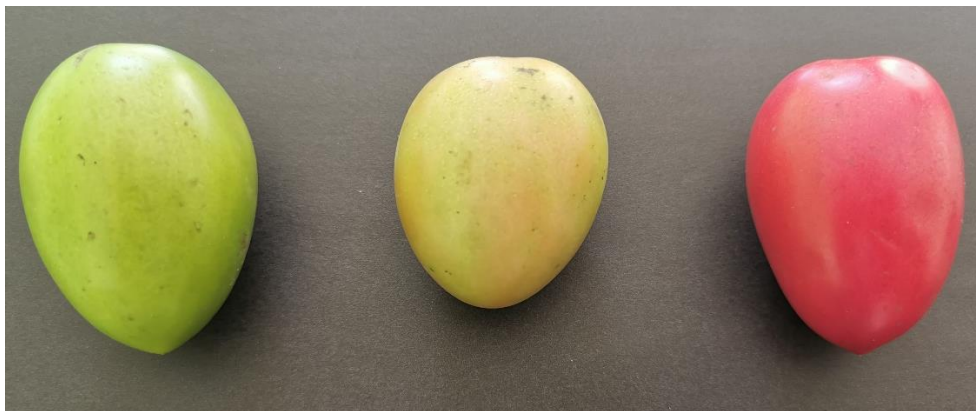


Figura 8. Fotografía de los frutos cosechados en los estados de madurez verde, quebrando y rojo.

Todos los frutos fueron lavados y desinfectados utilizando una solución de 10 ml de hipoclorito de sodio diluidos en 1 l de agua. A la mitad de los frutos de cada grupo de madurez se les aplicó un recubrimiento comestible de alginato de sodio.

6.2.2 Aplicación del recubrimiento comestible

Para la aplicación del recubrimiento comestible se seleccionaron al azar 15 frutos de cada estado de madurez. Se prepararon 2 soluciones para la formación de los recubrimientos; la primera solución consistió en 10 g de alginato de sodio diluidos en 1 l de agua de clorada utilizando una batidora de inmersión hasta que la disolución fuera homogénea, posteriormente se dejó reposar la solución dentro de un refrigerador casero durante 24 horas. La segunda solución fue preparada

diluyendo 20 g de lactato de calcio en 1 l de agua de clorada, utilizando también una batidora de inmersión hasta lograr una solución homogénea, dicha solución se dejó reposar por 1 hora.

La formación del recubrimiento comestible se realizó mediante el método de inmersión, el cual consiste en tomar el fruto de jitomate y sumergirlo en primera instancia en la solución de alginato de sodio durante 10 segundos. Inmediatamente, se sumergió el fruto en la solución de lactato de calcio durante 120 segundos para que se formara el recubrimiento. Una vez retirados los frutos de la solución de calcio, se dispusieron en una malla a temperatura ambiente durante 2 horas, para evitar el exceso de humedad en los recubrimientos.

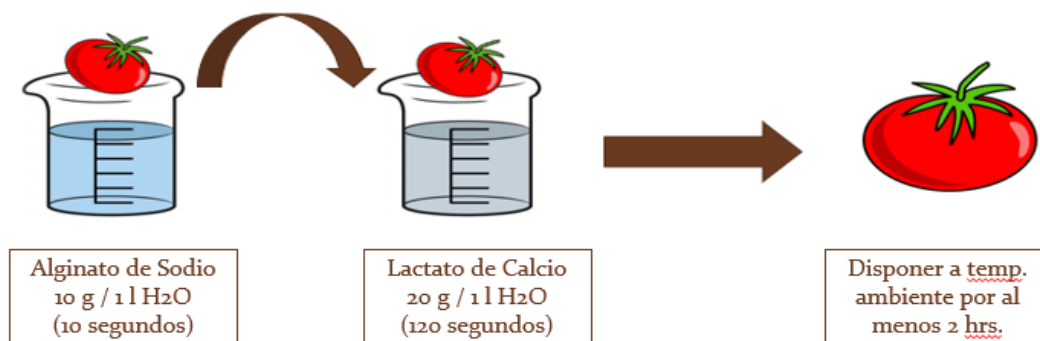


Figura 9. Diagrama de la aplicación del recubrimiento comestible de alginato de sodio en frutos de jitomate

6.2.3 Metodología de medición de las poscosecha

Para la medición de las variables a evaluar durante el manejo poscosecha, se utilizaron las siguientes metodologías:

- Para la medición de la firmeza se utilizó un esclerómetro de frutas analógico Thincol modelo GY-3. Se utilizó el cabezal #1 para las mediciones, penetrando suavemente el fruto hasta que se introdujera completamente el

esclerómetro hasta el tope del cabezal. Los resultados fueron expresados en **kg/cm²**.

- Para la pérdida fisiológica del peso se utilizó una balanza digital, siguiendo la metodología descrita por Zekrehiwot y colaboradores (2017). Los valores de peso de los frutos se registraron desde el día cero, previo a la aplicación de los recubrimientos comestibles, y posteriormente se tuvieron registros en intervalos de 5 días. Después, la pérdida de peso porcentual se calculó utilizando la siguiente ecuación

$$PP (\%) = \frac{Pi - Pf}{Pi} (100\%)$$

Donde *PP* es la pérdida de peso, *Pi* es el valor del peso inicial y *Pf* es el valor de peso final del periodo indicado. Los resultados se muestran como % acumulado de peso perdido.

- El contenido de sólidos solubles totales de la pulpa de los jitomates fue determinado utilizando un refractómetro analógico. Se obtuvo pulpa directamente de los frutos y se hicieron 3 mediciones por cada fruto, registrando el promedio de los valores obtenidos. Los resultados se expresaron en °**Brix**.
- Para la determinación de la acidez titulable se utilizó la metodología descrita por Zekrehiwot *et al.*, (2017). Se obtuvieron 5 ml de jugo de los frutos y se dispusieron en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Posteriormente, se adicionaron 10 ml de agua destilada. A la solución, se le adicionó NaOH al 0.1N mientras se agitaba la solución hasta presenciar un cambio de color constante. Se registró el gasto de NaOH y se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ \u00c1cido} = \frac{(ml \text{ NaOH})(No. de la base en mol por litro)(0.0064)}{\text{Volumen de la muestra en ml}}$$

Los resultados se expresaron en % de \u00c1cido c\u00edtrico

- La incidencia microbiol\u00f3gica fue calculada como el n\u00famero de frutos infestados mostrando cualquier s\u00edntoma de enfermedad, del n\u00famero total de frutos almacenados. Se utilizaron 5 frutos para la medici\u00f3n de la incidencia microbiol\u00f3gica, seg\u00fan la metodolog\u00eda descrita por Hossain *et al.*, (2010). El c\u00e1lculo de la incidencia se bas\u00f3 en la siguiente ecuaci\u00f3n:

$$\text{Incidencia Microbiol\u00f3gica (\%)} = \frac{\text{No. de frutos infectados}}{\text{No. total de frutos almacenados}} (100)$$

Los resultados se expresaron en % de frutos infectados.

VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Productos publicados resultado de la investigación.

7.1.1 Artículo publicado “Urea NBPT, una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales” en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

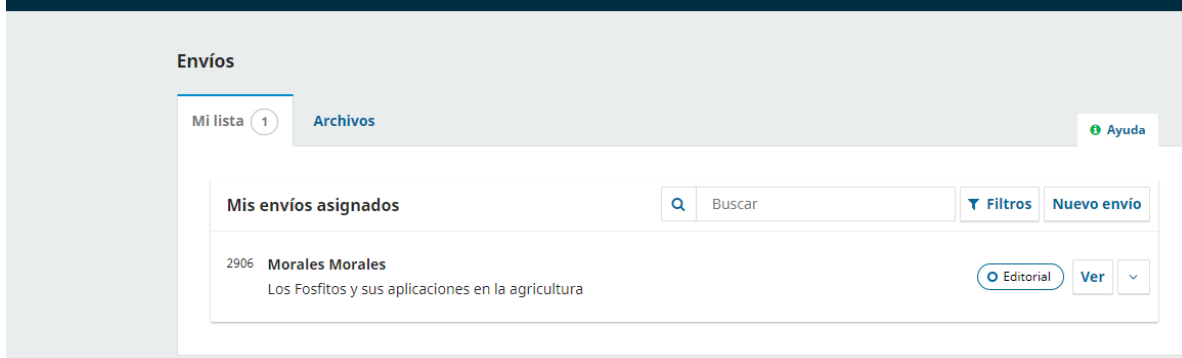
Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales

Edgar Javier Morales-Morales¹
Martín Rubí-Arriaga²
José Antonio López-Sandoval²
Ángel Roberto Martínez-Campos³
Edgar Jesús Morales-Rosales^{2§}

¹Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-Universidad Autónoma del Estado de México-*Campus* Universitario El Cerrillo. Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. CP. 50200. (emoralesm374@gmail.com). ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento-*Campus* Universitario El Cerrillo. Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. CP 50200. (mrubia@uaemex.mx; jalopezsa@uaemex.mx). ³Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales-*Campus* Universitario El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. CP. 50200. (amartinezc@uaemex.mx).

§Autor para correspondencia: ejmoralesr@uaemex.mx.

7.1.2 Artículo aceptado “Los fosfitos y sus aplicaciones en la agricultura” en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas



7.2 Pruebas de normalidad

Previo a la realización del análisis estadístico, todos los datos de cada variable fueron sometidos a una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Las siguientes variables necesitaron transformación de datos para ajustarse a una distribución normal:

- SPAD (Logaritmo Natural)
- Clorofila (Logaritmo Natural)
- Área Foliar (Logaritmo Decimal)
- Índice de Área Foliar (Logaritmo Decimal)

Por otra parte, las variables “tasa de asimilación neta”, “peso de 5 frutos” y “tamaño del fruto” cumplieron con una distribución normal.

7.3.- Resultados de pruebas en campo

7.3.1 Índice de verdor y clorofila

La clorofila es el más importante pigmento para el metabolismo fotosintético de las plantas. El contenido de clorofila total es uno de los principales índices que refleja la capacidad de fotosíntesis de la hoja y el estado de salud de los cultivos. La forma

tradicional de medir el contenido de clorofila generalmente implica extraerla del tejido de la hoja con solventes orgánicos como la acetona, etanol o dimetilformamida (Jiang *et al.*, 2017). Sin embargo, existen otros métodos para cuantificar las cantidades de clorofila en hojas; uno de ellos es el uso del medidor de clorofila SPAD Konica Minolta, siendo una herramienta de diagnóstico simple y portátil que mide el verdor o el contenido relativo de clorofila en las hojas, expresado en unidades SPAD.

Todos los tratamientos tuvieron una respuesta positiva en cuanto al índice de verdor y contenido total de clorofilas en relación con el testigo. A medida que se fueron incrementando las dosis de N, los valores de índice de verdor y contenido de clorofilas se fueron incrementando [Tabla 2 y Tabla 3], siendo el tratamiento 11 (80 kg de N y 5 l de Phi) el que tuvo los valores más altos; sin embargo, dosis más altas de P pueden evitar que se alcancen estos valores y, por el contrario, se disminuyan. Este efecto de niveles altos de P también se puede apreciar en los tratamientos cuyas dosis de N son de 40 kg, ya que cantidades mayores a 5 l de Phi disminuyen las cantidades de clorofilas totales.

| UNIDADES SPAD | | | | | | | |
|---------------|-------|---|----------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| TRAT | DOSIS | | Días después de la siembra | | | | |
| | N | P | 15 *** | 30 *** | 45 *** | 60 *** | 75 *** |
| 1 | 0 | 0 | 60.10h | 61.46h | 65.92g | 66.95f | 67.42e |
| 2 | 0 | 4 | 60.49h | 63.14g | 68.72f | 68.75e | 69.42d |
| 3 | 0 | 5 | 60.71fh | 63.15g | 68.83f | 69.88de | 70.42d |
| 4 | 0 | 6 | 61.46fgh | 67.50f | 69.26f | 71.18d | 75.53c |
| 5 | 40 | 0 | 61.54fgh | 68.69ef | 74.88cd | 74.55c | 75.53bc |
| 6 | 40 | 4 | 62.30def | 70.20de | 76.51c | 76.83b | 77.12bc |
| 7 | 40 | 5 | 62.64efg | 70.21de | 76.52c | 76.79b | 76.83bc |
| 8 | 40 | 6 | 63.30cde | 70.71cd | 72.82e | 73.72c | 74.24b |
| 9 | 80 | 0 | 64.50bcd | 72.30c | 74.46de | 76.98b | 77.03bc |
| 10 | 80 | 4 | 65.20abc | 76.32a | 80.75a | 80.92a | 81.32 ^a |
| 11 | 80 | 5 | 65.51ab | 76.87ab | 79.17ab | 79.62a | 80.31ab |
| 12 | 80 | 6 | 66.59a | 78.4b | 78.61b | 79.41a | 79.52ab |

Tabla 2. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable SPAD. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

El tratamiento testigo [dosis de 0 N y 0 P adicional al plan de fertilización] tuvo una respuesta similar en cuanto a índice de verdor y clorofilas totales hasta los 30 días después de la siembra, con respecto a los tratamientos que no contaron con fertilización de N adicional [tratamientos 2, 3 y 4]. Posterior a los 45 días, se aprecian diferencias significativas sobre estas variables hasta concluido el experimento; este aumento es de casi un 18.44% en el tratamiento que presentó las mayores concentraciones de unidades SPAD y clorofilas (tratamiento 11) con respecto al testigo. Esto se puede deber a que, en los primeros 30 días del cultivo, las concentraciones de N permiten tener cantidades similares de clorofila en las hojas, sin embargo, los tratamientos con P adicional, después de 45 días, mostraron mayor cantidad de verdor y clorofilas, posiblemente debido a un mejor metabolismo energético en estos tratamientos, así como una mayor concentración de enzimas que intervienen en la síntesis de clorofilas, como la glutamil-tRNA sintetasa.

| | | CLOROFILA $mg\ g^{-1}$ | | | | | |
|-----------|-------|--|----------|----------|---------|---------|--------------------|
| | | Días después de la siembra | | | | | |
| TRAT | DOSIS | | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 |
| | N | P | *** | *** | *** | *** | *** |
| 1 | 0 | 0 | 2.659g | 2.810g | 3.370g | 3.513f | 3.317e |
| 2 | 0 | 4 | 2.702fg | 3.005g | 3.741f | 3.778e | 3.882d |
| 3 | 0 | 5 | 2.726fg | 3.009fg | 3.790f | 3.955de | 4.045d |
| 4 | 0 | 6 | 2.809efg | 3.591efg | 3.857f | 4.171e | 4.974bc |
| 5 | 40 | 0 | 2.819efg | 3.768ef | 4.838d | 4.780c | 4.975bc |
| 6 | 40 | 4 | 2.907def | 4.008de | 5.176c | 5.244b | 5.306b |
| 7 | 40 | 5 | 2.947de | 4.008de | 5.177c | 5.235b | 5.247b |
| 8 | 40 | 6 | 3.043cd | 4.087cd | 4.455e | 4.623c | 4.720c |
| 9 | 80 | 0 | 3.179bc | 4.350c | 4.763de | 5.270b | 5.280b |
| 10 | 80 | 4 | 3.270abc | 5.588a | 6.148a | 6.190a | 6.302 ^a |
| 11 | 80 | 5 | 3.311ab | 5.252b | 5.766ab | 5.871a | 6.09 ^a |
| 12 | 80 | 6 | 3.460a | 5.137b | 5.638b | 5.824a | 5.847 ^a |

Tabla 3. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable clorofila. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

El N en plantas es el elemento más importante en la nutrición de las plantas, tanto en aspectos morfológicos como fisiológicos. Santos *et al* (2008) menciona que más del 50% del N es utilizado en el aparato fotosintético, siendo componente principal de las moléculas de clorofila. Por otra parte, el P forma parte de moléculas energéticas como el ADP y ATP que participan en el metabolismo de las plantas, asimismo, si bien el P no forma parte estructural de las moléculas de clorofila, si forma parte de las enzimas glutamil-tRNA sintetasa, glutamil-tRNA reductasa y glutamil-tRNA aminotransferasa, las cuales forman parte en la biosíntesis de las clorofilas.

La capacidad fotosintética de las plantas, el índice de verdor y el contenido de clorofilas están intrínsecamente relacionadas con el contenido de N y P disponible en las plantas. Según Quintana *et al.*, (2017) ante exceso de fósforo los contenidos de clorofila tienden a reducirse drásticamente debido a la ocurrencia de un antagonismo con aniones como el NO_3^- , por lo que se tiende a una menor producción de clorofilas y de biomasa foliar y, por el contrario, se da un incremento en la biomasa radicular. Por otra parte, Singh *et al.* (2017) sugieren que, en bajas concentraciones de P, la disminución en el contenido de clorofilas se produce como un mecanismo para evitar el exceso de captación de luz, en pro de proteger el fotosistema II (PSII) del daño lumínico.

La cantidad de clorofila en las hojas no solo dependerá de los suministros de N que se le aplique al cultivo, sino también a la disponibilidad de P que las plantas puedan tener; a medida que van incrementando las dosis de N, las concentraciones de clorofilas tienden a ser más altas, sin embargo, tanto bajos suministros como excesos de P pueden afectar la acumulación de clorofilas totales. En este sentido, con mayores suministros tanto de N como de P incrementaron el número de clorofilas sin llegar a un exceso de nutrientes que pudiera afectar la producción de clorofilas.

7.3.2 Área foliar e Índice de Área Foliar

Varios son los factores que influyen en el rendimiento del jitomate, siendo la radiación interceptada uno de los más relevantes, ya que aporta la energía lumínica para la fotosíntesis. El área foliar (AF) está definida como la superficie total que cubren las hojas y peciolo de una planta, los cuales son los órganos con mayor actividad fotosintéticamente activa de las plantas, y está expresada en mm^2 ; por otra parte, el índice de área foliar (IAF) es un valor adimensional que se obtiene de la AF total de la densidad de plantas sobre una superficie específica.

| | | AREA FOLIAR mm^2 | | | | | | |
|------|----|---|-----------|----------|----------|-----------|----------------------|-----|
| | | Días después de la siembra | | | | | | |
| | | DOSIS | | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 |
| TRAT | N | P | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| 1 | 0 | 0 | 314.03de | 775.99d | 1543.93h | 2394.49i | 3424.13j | |
| 2 | 0 | 4 | 240.12f | 593.10f | 2061.56g | 3216.03h | 4598.92i | |
| 3 | 0 | 5 | 267.97ef | 661.89e | 2259.08f | 3524.16g | 5039.55h | |
| 4 | 0 | 6 | 279.57ef | 690.54e | 2596.22e | 4050.10f | 5791.65g | |
| 5 | 40 | 0 | 345.51cde | 853.38d | 3135.06d | 4890.70e | 6993.69f | |
| 6 | 40 | 4 | 407.31bcd | 1006.05c | 3359.98c | 5241.56d | 7495.44e | |
| 7 | 40 | 5 | 442.67bc | 1044.01c | 3531.27b | 5508.78c | 7877.55d | |
| 8 | 40 | 6 | 406.52bcd | 1004.05c | 3598.04b | 5612.95bc | 8026.51c | |
| 9 | 80 | 0 | 428.65bc | 1058.76c | 3598.36b | 5613.45bc | 8027.23c | |
| 10 | 80 | 4 | 502.31b | 1240.71b | 3609.04b | 5630.11b | 8051.05c | |
| 11 | 80 | 5 | 443.51bc | 1095.50c | 3867.97a | 6040.02a | 8628.64 ^a | |
| 12 | 80 | 6 | 681.73a | 1683.88a | 3891.03a | 6034.01a | 8216.89b | |

Tabla 4. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable área foliar. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$)

De acuerdo con la Tabla 4 y Tabla 5, todos los tratamientos tuvieron una superficie de respuesta mayor en cuanto a los valores de AF e IAF en comparación con el testigo; a medida que se fueron incrementando los valores de N disponible para los tratamientos, hubo incrementos en la expansión foliar, sin embargo, la interacción con el P también fue determinante para incrementar esta expansión. El tratamiento 12 [80 kg N y 6 l Phi] fue el que mostró los valores más altos para AF e IAF,

específicamente respecto al testigo, que solo presentó una expansión foliar del 41.67% del total de este tratamiento. Los valores de AF e IAF se ven incrementados cerca de 2.51 veces más en tratamientos con mayores cantidades de N (80 Kg) y P (4, 5 y 6 l P) con respecto al testigo sin fertilización de fondo.

De acuerdo con Khanzada *et al.*, 2016, el N es el nutrimento que influye de manera más directa en la producción agrícola de forma tanto cualitativa como cuantitativa, debido a que aumenta el área foliar, la expansión foliar, el grosor de las hojas, la producción de biomasa y la duración del área foliar. Las bajas concentraciones de este elemento reducen la producción de materia seca porque disminuye la radiación interceptada por el dosel vegetal y la eficiencia de conversión de esta energía en biomasa, es por ello por lo que los tratamientos con menores cantidades de N disponible se vieron afectados en cuanto a los valores de AF e IAF.

INDICE DE ÁREA FOLIAR

| TRAT | Días después de la siembra | | | | | | |
|------|----------------------------|---|-----------|---------|---------|----------|---------------------|
| | DOSIS | | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 |
| | N | P | *** | *** | *** | *** | *** |
| 1 | 0 | 0 | 0.1844de | 0.4654d | 0.9264h | 1.4367i | 2.0545j |
| 2 | 0 | 4 | 0.1420f | 0.3558f | 1.2369g | 1.9296h | 2.7593i |
| 3 | 0 | 5 | 0.162ef | 0.3971e | 1.3554f | 2.1145g | 3.0237h |
| 4 | 0 | 6 | 0.1677ef | 0.4143e | 1.5577e | 2.4300f | 3.4749g |
| 5 | 40 | 0 | 0.2073cde | 0.512d | 1.8830d | 2.9344e | 4.1962f |
| 6 | 40 | 4 | 0.2444bcd | 0.6036c | 2.0139c | 3.1448d | 4.4973e |
| 7 | 40 | 5 | 0.2656bc | 0.6264c | 2.1187b | 3.3052c | 4.7265d |
| 8 | 40 | 6 | 0.2439bcd | 0.6024c | 2.1588b | 3.3677bc | 4.8159c |
| 9 | 80 | 0 | 0.2572bc | 0.6352c | 2.1590b | 3.3681bc | 4.8163c |
| 10 | 80 | 4 | 0.3013b | 0.7444b | 2.1650b | 3.3780b | 4.8306c |
| 11 | 80 | 5 | 0.2661bc | 0.6573c | 2.3200a | 3.6204a | 5.1771 ^a |
| 12 | 80 | 6 | 0.409a | 1.0103a | 2.3346a | 3.6351a | 4.9301b |

Tabla 5. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable índice de área foliar. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

Asimismo, Kareem *et al.*, (2020), menciona que el área foliar en jitomate se ve parcialmente afectada por la aplicación de fertilizantes fosfatados; debido a que

puede haber una disminución de este valor a medida que hay menor suministro de P en jitomate. Este efecto puede atribuirse al efecto beneficioso del fósforo sobre la división celular y la formación de carbohidratos en la metabolómica de la planta, ya que es constituyente de las moléculas energéticas de ATP y ADP, además forma parte de las coenzimas NAD y NADP y se encuentra en fuertes concentraciones en tejidos meristemáticos, por lo que participa activamente en la formación y expansión de las hojas.

Al igual que en los valores de índice de verdor y clorofilas totales, no se nota una mayor cantidad de valores de AF e IAF hasta después de los 45 días después de la siembra en los tratamientos que no tienen fertilización nitrogenada adicional con respecto al testigo; de hecho, en los primeros 30 días los valores del testigo fueron mayores. Esto puede deberse a que, en el testigo, la función de los meristemas apicales se veía parcialmente disminuida en relación con los tratamientos 2, 3 y 4, aunque estos tenían una mayor producción de hojas, su expansión no logró valores mayores a los del testigo hasta después de los 45 días.

Cabe resaltar que, a una mayor expansión foliar y, por ende, una mayor AF, permite una mayor captación de radiación solar; no obstante, valores muy altos de AF e IAF implicaría un sombreado de las hojas más superiores sobre las hojas más basales, por lo que la tasa de fotosíntesis en éstas se vería reducida.

7.3.3 Tasa de asimilación neta

El crecimiento es una aproximación explicativa e integral que se manifiesta como un aumento irreversible de la masa de un organismo vivo, órgano o célula. El crecimiento vegetal se puede analizar mediante el cálculo de índices de eficiencia, los cuales se pueden determinar con el peso seco de la planta completa o en diferentes partes de ésta. (López-Sandoval *et al.*,2020).

La tasa de asimilación neta (TAN) es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, ya que mide la ganancia neta de fotoasimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo. Este índice registra la velocidad de la fotosíntesis neta en un lapso cronológico y se debe conocer el cambio de los valores del área foliar y el peso seco de la planta, expresado en $\text{g cm}^2 \text{d}^{-1}$ (Morales-Rosales *et al.*, 2011).

TASA DE ASIMILACIÓN NETA ($\text{g cm}^2 \text{d}^{-1}$)

| TRAT | Días después del trasplante | | | | | |
|-----------|-----------------------------|---|----------|----------|-----------|---------------------|
| | DOSIS | | 15 | 30 | 45 | 60 |
| | N | P | *** | *** | *** | *** |
| 1 | 0 | 0 | 0.0078c | 0.0072e | 0.0112f | 0.0103de |
| 2 | 0 | 4 | 0.0085c | 0.0078e | 0.0132f | 0.0107cde |
| 3 | 0 | 5 | 0.0084d | 0.0084de | 0.0124f | 0.0094e |
| 4 | 0 | 6 | 0.0089c | 0.0087de | 0.0121f | 0.0126cde |
| 5 | 40 | 0 | 0.009c | 0.0117cd | 0.0179cd | 0.0135bcd |
| 6 | 40 | 4 | 0.0089c | 0.0121cd | 0.0172de | 0.0136bcd |
| 7 | 40 | 5 | 0.0094c | 0.0138c | 0.0138ef | 0.0145abc |
| 8 | 40 | 6 | 0.0101bc | 0.0193b | 0.0193bce | 0.0138bcd |
| 9 | 80 | 0 | 0.0147a | 0.0249a | 0.0249a | 0.0178 ^a |
| 10 | 80 | 4 | 0.0139ab | 0.0212ab | 0.0212abc | 0.0181 ^a |
| 11 | 80 | 5 | 0.0154a | 0.0221ab | 0.0210ab | 0.0173ab |
| 12 | 80 | 6 | 0.0144a | 0.0237a | 0.0237a | 0.0169ab |

Tabla 6. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable tasa de asimilación neta. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

Los valores de TAN se vieron influenciados principalmente por las dosis de fertilización nitrogenada; es decir, a medida que se incrementaban las dosis de N disponible para los tratamientos, se observan incrementos en los valores de TAN; a los 30 días, los valores de TAN de los tratamientos con 80 kg N superaban casi 3 veces a los tratamientos con 0 N, mientras que a los 45 días los valores eran casi el doble. Si bien el P también juega un papel importante en el metabolismo energético de las plantas, es el N el determinante en los valores de TAN.

La tasa de asimilación neta (TAN) es una medida de la eficiencia del follaje, que es la principal fuente de fotoasimilados para la producción de materia seca. Como se

mencionó anteriormente, es el N el principal determinante en la expansión foliar y el grosor de las hojas, además de ser componente estructural de las moléculas de clorofila, las cuales son los principales pigmentos fotosintéticos; por lo anterior, el incremento de las dosis de N en cultivos permite tener una mayor eficiencia fotosintética y una mayor cantidad de fotoasimilados, los cuales repercuten en el rendimiento y la calidad de los cultivos.

La TAN generalmente disminuye al avanzar la ontogenia del cultivo, lo cual se debe al sombreado de las hojas superiores sobre las inferiores, a la disminución de la capacidad fotosintética de las últimas hojas formadas y a los efectos de los lugares de demanda sobre la fotosíntesis; sin embargo, en el cultivo de jitomate, y particularmente en la variedad “sun” utilizada en este experimento, esto no ocurre debido al crecimiento indeterminado propio de este cultivar, por lo cual los valores de TAN continuaron incrementándose durante toda la fase experimental, no obstante, a partir de los 60 días se notan disminuciones en los valores debido a labores de manejo de cultivo, enfocadas en la defoliación para destinar mayor cantidad de biomasa a los frutos.

7.2.4 Tamaño de fruto y peso de 5 frutos

El rendimiento de un cultivo está determinado por la capacidad de acumular biomasa en los órganos destinados a la cosecha. Mediante el análisis de crecimiento es posible conocer la cinética de producción de biomasa en los vegetales, así como su distribución y eficiencia (López-Sandoval., 2020).

El tamaño del fruto es uno de los principales factores del rendimiento de los jitomates, ya que se puede inferir que, con un mayor tamaño de fruto, podemos obtener mayor peso de los frutos y, por ende, mayor rendimiento.

Los tratamientos en las variables de tamaño de fruto y peso de 5 frutos tuvieron una influencia positiva en relación con la disponibilidad de N y P, siendo en ambos casos el tratamiento 11 (80-500) el tratamiento con mejor respuesta a estas variables, presentando una respuesta del 19.37% superior con respecto al testigo; como se aprecia en las tablas 7 y 8. No obstante, al incrementar los valores de P, tanto los valores del tamaño como los valores de peso de los frutos empiezan a mostrar un declive cuantitativo.

TAMAÑO (mm)

| TRAT | Días después de la siembra | | | | | | |
|------|----------------------------|---|-----------|----------|----------|---------|--------------------|
| | DOSIS | | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 |
| | N | P | *** | *** | *** | *** | *** |
| 1 | 0 | 0 | 54.40ef | 53.53g | 51.60i | 52.43f | 52.00g |
| 2 | 0 | 4 | 54.23ef | 53.33g | 55.90gh | 52.57f | 53.07fg |
| 3 | 0 | 5 | 57.46cde | 56.70ef | 54.60h | 55.57ef | 56.83e |
| 4 | 0 | 6 | 57.86bcde | 58.20cde | 58.43ef | 57.97de | 58.43de |
| 5 | 40 | 0 | 53.37f | 54.27fg | 54.80h | 58.00de | 55.80ef |
| 6 | 40 | 4 | 58.67bce | 60.23bcd | 61.67bcd | 61.87bc | 61.93bc |
| 7 | 40 | 5 | 63.76a | 62.40ab | 63.90ab | 65.20ab | 64.17ab |
| 8 | 40 | 6 | 61.67ab | 62.17ab | 63.27bc | 61.13cd | 64.00ab |
| 9 | 80 | 0 | 56.57b | 57.87de | 57.97fg | 57.67de | 58.53de |
| 10 | 80 | 4 | 61.30abc | 61.47ab | 60.60de | 62.17bc | 60.90cd |
| 11 | 80 | 5 | 65.06a | 64.00a | 66.00a | 66.80a | 65.50 ^a |
| 12 | 80 | 6 | 61.17abc | 60.76bc | 61.40cd | 61.07cd | 62.36bc |

Tabla 7. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable tamaño de fruto. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

Estos resultados coinciden con los reportados por Abu-Alrub y colaboradores (2019), en donde evaluaron diferentes dosis de N (0, 300, 600 y 900 kg ha⁻¹) y P (0, 200 y 400 kg ha⁻¹) en el rendimiento de jitomate en los Emiratos Árabes Unidos, siendo el tratamiento con 600 unidades de N y 200 de P el que presentó mayores rendimientos. Asimismo, a medida que se iban incrementando las dosis de nutrimentos, tanto de N y P, los rendimientos comenzaban a disminuir.

Nawaz *et al.*, (2012) observaron rendimientos máximos en jitomate de 28.4 ton ha⁻¹ cuando aplicaron 150 kg ha⁻¹ de N y 100 kg ha⁻¹ de P. Abu-Alrub *et al.*, (2019) mencionan que se deben de aplicar balances apropiados de nutrimentos para alcanzar los rendimientos óptimos en cultivos.

| PESO DE 5 FRUTOS (g) | | | | | | | |
|----------------------|----------------------------|---|--------|--------|--------|--------|---------|
| TRAT | Días después de la siembra | | | | | | |
| | DOSIS | | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 |
| | N | P | *** | *** | *** | *** | *** |
| 1 | 0 | 0 | 778g | 892e | 950e | 942d | 822f |
| 2 | 0 | 4 | 957df | 922e | 967de | 936d | 959e |
| 3 | 0 | 5 | 914f | 918e | 991de | 920d | 923e |
| 4 | 0 | 6 | 952f | 932e | 1023d | 1054bc | 924e |
| 5 | 40 | 0 | 1032e | 1011d | 1012de | 1120ab | 1074d |
| 6 | 40 | 4 | 1165bc | 1123b | 1239a | 1109b | 1187b |
| 7 | 40 | 5 | 1111cd | 1293a | 1201ab | 1192a | 1165bc |
| 8 | 40 | 6 | 1204b | 1102bc | 1274a | 1102b | 1129bcd |
| 9 | 80 | 0 | 1062de | 1035cd | 1023d | 1089bc | 1134bcd |
| 10 | 80 | 4 | 1129cd | 1239a | 1094c | 1085bc | 1130bcd |
| 11 | 80 | 5 | 1301a | 1237a | 1238a | 1120ab | 1295a |
| 12 | 80 | 6 | 1084de | 1039cd | 1147bc | 1029c | 1134cd |

Tabla 8. Efecto de las dosis de urea NBPT y Phi en la variable peso de 5 frutos. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

Una vez alcanzado el punto máximo de los valores de nutrición, una adición de cantidades más altas de N y P denotan un decrecimiento en cuanto a los rendimientos del jitomate. Esto puede ser debido a que la disponibilidad de los nutrientes incide en una mayor cantidad de fotoasimilados que se destinan a la producción de biomasa vegetativa, no reproductiva, como se nota en los valores de área foliar, índice de área foliar y tasa de asimilación neta. Una mayor cantidad de N y P induce producción de fotoasimilados destinados a los componentes vegetativos, reduciendo paulatinamente la cantidad de estos destinados a los frutos, y por consecuencia, disminuyendo su peso y rendimiento.

7.4.- Resultados de pruebas poscosecha

7.4.1 Firmeza de frutos

La firmeza de los frutos es uno de los principales atributos que dictan la vida poscosecha y calidad de los frutos. Está asociada con la susceptibilidad de las paredes celulares de los frutos debido a diferentes factores de manejo poscosecha, como daños mecánicos que puedan romper la epidermis, incidencia microbiológica o pérdida de turgencia a nivel celular.

| FIRMEZA DEL FRUTO (kg/cm^2) | | | | | | |
|---------------------------------|------------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|-------|
| TRAT | Días después del tratamiento | | | | | |
| | Madurez del fruto | Recubierta con alginato | 5 | 10 | 15 | 20 |
| 1 | Verde | Sin recubrir | 4.56bc | 3.93ab | 3.53ab | 3.13a |
| 2 | | Recubierto | 5.13a | 4.13a | 3.86a | 3.30a |
| 3 | Quebrando | Sin recubrir | 4.20cd | 3.60b | 3.03cd | 2.51b |
| 4 | | Recubierto | 4.76ab | 3.76b | 3.30bc | 2.63b |
| 5 | Rojo | Sin recubrir | 3.43e | 3.13c | 2.53e | 1.43d |
| 6 | | Recubierto | 3.93d | 3.16c | 2.83de | 1.86c |

Tabla 9. Efecto de la madurez de fruto y aplicación de un recubrimiento comestible en la variable firmeza. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

Se observan diferencias estadísticas en la firmeza entre los frutos tratados con el RC respecto a los frutos no tratados hasta los 5 días de tratamiento, en donde se destaca el tratamiento 2, el cual presentó una mayor firmeza. A medida que la madurez del fruto avanza, es normal que exista una pérdida de firmeza debido a la degradación de polisacáridos estructurales de la pared celular y a la disminución en la turgencia ocasionado por pérdidas de humedad; no obstante, a partir de los 10 días después de la aplicación del RC, no se observan diferencias estadísticas entre los tratamientos con el mismo nivel de madurez, a excepción del día 20 para los tratamientos 5 y 6 (rojo); debido a lo anterior se destaca que, el efecto de barrera

del alginato ante la preservación de firmeza es de 5 días, pero posterior a ellos, la pérdida de la firmeza es similar de los frutos tratados con aquellos no tratados.

La variación de la firmeza de los frutos sin recubrir se debe principalmente a los diferentes estados de madurez de los frutos, en donde a medida que van alcanzando estados mayores de madurez, menor será la firmeza del fruto. Sin embargo, la firmeza de los frutos fue mejor preservada debido a la aplicación del recubrimiento comestible de alginato, siendo el mejor tratamiento el 2, como se observa en la tabla 9.

El retraso en la pérdida de firmeza de la pared celular podría estar asociada con la disponibilidad limitada de oxígeno en la atmósfera ambiental para el proceso de respiración de los frutos y, por ende, el retraso en la degradación de la pared celular. En general, el efecto combinado de los tratamientos entre un estado de madurez temprana en frutos y la aplicación del recubrimiento mostró un efecto beneficioso en la retención de la firmeza, al menos para los primeros 5 días posteriores a la aplicación del RC.

7.4.2 Pérdida fisiológica de peso

La pérdida de peso es un índice importante sobre la vida de almacenamiento poscosecha de productos frescos. Se atribuye principalmente a la pérdida de agua durante los procesos metabólicos como la respiración y la transpiración; ambos procesos se ven afectados por el entorno de almacenamiento del fruto, por lo que la pérdida de peso es un indicador de cómo se maneja y almacena el producto. Debido a esto, la pérdida de peso es uno de los factores principales en la vida útil y calidad de los frutos de jitomate, y de los cultivos hortícolas en general (Zekrehiwot *et al.*, 2017)

| TRAT | Madurez del Fruto | Días después del tratamiento | | | | |
|------|-------------------|------------------------------|-------|-------|--------|--------------------|
| | | Recubierta con alginato | 5 | 10 | 15 | 20 |
| | | | *** | *** | *** | *** |
| 1 | Verde | Sin recubrir | 3.56c | 9.83c | 14.06c | 17.83ab |
| 2 | | Recubierto | 2.93d | 6.86f | 9.80e | 14.90c |
| 3 | Quebrando | Sin recubrir | 3.93b | 10.9b | 15.90b | 17.43b |
| 4 | | Recubierto | 3.56b | 8.16e | 9.03e | 13.50d |
| 5 | Rojo | Sin recubrir | 5.26a | 13.1a | 18.23a | 19.16 ^a |
| 6 | | Recubierto | 4.23b | 9.13d | 11.13d | 16.63b |

Tabla 10. Efecto de la madurez de fruto y aplicación de un recubrimiento comestible en la variable pérdida fisiológica de peso. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

La pérdida de peso en cultivos perocederos tiene grandes implicaciones económicas, pues la pérdida de humedad de los frutos da como resultado una pérdida de peso del producto que se comercializa.

En general, los frutos recubiertos muestran una menor disminución en la pérdida de peso en relación con los frutos no recubiertos, además, el estado de madurez también tiene influencia en la pérdida de humedad, siendo los frutos en estado de madurez más avanzada los que mayores pérdidas presentan, como se aprecia en la tabla 10.

Cuando se comparan los efectos combinados, los frutos cosechados con un grado verde de madurez y recubiertos con la película de alginato son los que menores pérdidas de humedad mostraron en todos los muestreos.

La pérdida de humedad e intercambio gaseoso de los frutos son controlados por las capas epidérmicas provistas con células oclusivas. La película formada en la superficie de la fruta actúa como una barrera física para reducir la pérdida de humedad. Esta propiedad de barrera también reduce la disponibilidad de oxígeno y, por lo tanto, ralentiza la tasa de respiración y el peso asociado a esta (Abassi *et al.*, 2009)

7.4.3 Sólidos solubles totales y acidez titulable

Los sólidos solubles totales (SST) son un factor importante para considerar con respecto a la aceptación de los frutos hacia el consumidor. Se espera que los valores aumenten durante la maduración y disminuya hacia la senescencia. En frutos climatéricos, también se espera que aumenten los valores de sólidos solubles durante el almacenamiento de los frutos.

| SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (°Brix) | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|------------------------------|-------|--------|--------|-------------------|
| | Madurez del Fruto | Días después del tratamiento | | | | |
| | | Recubierta con alginato | 5 | 10 | 15 | 20 |
| 1 | Verde | Sin recubrir | 3.66d | 4.43bc | 4.83b | 5.13ab |
| 2 | | Recubierto | 3.26e | 4.16c | 4.93ab | 4.80b |
| 3 | Quebrando | Sin recubrir | 4.46b | 4.63b | 4.93ab | 5.20 ^a |
| 4 | | Recubierto | 4.16c | 4.73b | 4.96ab | 5.23 ^a |
| 5 | Rojo | Sin recubrir | 4.80a | 5.13a | 5.16a | 5.33 ^a |
| 6 | | Recubierto | 4.63b | 4.70b | 5.06ab | 5.16 ^a |

Tabla 11. Efecto de la madurez de fruto y aplicación de un recubrimiento comestible en la variable sólidos solubles totales. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

Los valores de SST se vieron incrementados a medida que se tenían estados más maduros de los frutos, sin embargo, los incrementos en SST entre los muestreos son disminuidos cuando los frutos fueron recubiertos con la película de alginato, al menos durante los primeros 5 días para los tratamientos de frutos en estado verde y quebrando, mientras que, para los frutos rojos, hubo diferencias entre los tratamientos hasta los 15 días, como se observa en la tabla 11. Después de los 20 días, los tratamientos de frutos en madurez quebrando y rojo mostraron los mismos valores de SST, mientras que los frutos verdes mostraron valores más bajos, sin embargo, no hay diferencias significativas entre los frutos tratados y los no tratados. Lo anterior quiere decir que, la aplicación del RC ayuda a preservar la producción

de SST dependiendo del estado de madurez, siendo menor la producción hasta los 15 días en frutos rojos, y hasta 5 días en frutos en estado quebrando, o verdes.

| ACIDEZ TITULABLE (%) | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|-------------------------|---------|---------|--------|--------------------|
| TRAT | Días después del tratamiento | | | | | |
| | Madurez del Fruto | Recubierta con alginato | 5 | 10 | 15 | 20 |
| 1 | Verde | Sin recubrir | 0.346c | 0.273bc | 0.203b | 0.173bc |
| 2 | | Recubierto | 0.456a | 0.343a | 0.286a | 0.196b |
| 3 | Quebrando | Sin recubrir | 0.406ab | 0.286b | 0.196b | 0.153c |
| 4 | | Recubierto | 0.393bc | 0.380a | 0.273a | 0.250 ^a |
| 5 | Rojo | Sin recubrir | 0.216d | 0.163d | 0.136c | 0.093d |
| 6 | | Recubierto | 0.270d | 0.236c | 0.213b | 0.163bc |

Tabla 12. Efecto de la madurez de fruto y aplicación de un recubrimiento comestible en la variable acidez titulable. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

Por otra parte, la acidez de los jitomates juega un rol principal en el sabor de los frutos; se trata de una variable tan importante como los sólidos solubles, debido a que su balance determina el sabor de los frutos, y por ende la aceptación del producto.

La acidez de los frutos se vio disminuida a medida que avanzaban sus estados de madurez, excepto a los 5 días después del tratamiento entre los frutos con madurez verde y quebrando, los cuales presentaron una mayor acidez. Sin embargo, los frutos recubiertos mostraron una disminución más desacelerada en los tres estados de madurez, en relación con aquellos frutos no recubiertos, hasta los 20 días después de la aplicación del RC, como se aprecia en la tabla 11.

Lo anterior confirma que el recubrimiento comestible reduce la tasa de metabolismo de ácidos en comparación con los frutos no tratados. Dado a que los ácidos orgánicos, como el ácido málico o cítrico, son sustratos primarios para el

metabolismo de respiración, se espera una reducción de los ácidos en términos de incrementos en la tasa de respiración de las células de las frutas.

7.4.4 Incidencia microbiológica

La aplicación de recubrimientos comestibles redujo la incidencia microbiológica en los frutos de los 3 estados de madurez. A medida que avanzan los estados de madurez en los frutos, hay mayor susceptibilidad de tener incidencia de ataques de microorganismos, sin embargo, la incidencia en frutos recubiertos en madurez verde y quebrando se mantuvo en 0 durante los días 5 y 10 después del tratamiento, y en frutos rojos se mantuvo en 0 y 31.2% durante los mismos días. En este sentido, los frutos recubiertos en los 3 estados de madurez no mostraron diferencias estadísticas significativas después de 20 días de almacenamiento, pero si con los frutos no recubiertos, los cuales todos tuvieron un 100% de incidencia en daños microbiológicos, como se aprecia en la tabla 13.

Como se indicó en las secciones anteriores, la aplicación del recubrimiento retrasó la tasa de pérdida de firmeza debido a la preservación de la integridad de la pared celular. Además, el recubrimiento puede reducir la tasa de respiración y la síntesis de etileno. Estas condiciones en combinación podrían ayudar a la pared celular a tener mayor integridad contra el ataque de patógenos (Zekrehiwot *et al.*, 2017).

INCIDENCIA MICROBIOLÓGICA (%)

| TRAT | Madurez del Fruto | Días después del tratamiento Recubierta con alginato | Días después del tratamiento | | | |
|------|-------------------|---|------------------------------|---------|---------|--------|
| | | | 5 | 10 | 15 | 20 |
| | | | ns | *** | *** | *** |
| 1 | Verde | Sin recubrir | 0.00a | 8.9bc | 62.2ab | 100.0a |
| 2 | | Recubierto | 0.00a | 0.00c | 20.03c | 49.60b |
| 3 | Quebrando | Sin recubrir | 0.00a | 39.96ab | 71.10a | 100.0a |
| 4 | | Recubierto | 0.00a | 0.00c | 28.86c | 41.56b |
| 5 | Rojo | Sin recubrir | 0.00a | 53.3a | 93.33a | 100.0a |
| 6 | | Recubierto | 0.00a | 31.2abc | 37.76ab | 57.76b |

Tabla 13. Efecto de la madurez de fruto y aplicación de un recubrimiento comestible en la variable incidencia microbiológica. Valores medios de tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$).

VIII.- CONCLUSIONES

El uso de la urea NBPT y el fosfito de potasio, aplicados como fertilización de fondo en un plan de nutrición ya establecido, ayuda a mejorar los parámetros fisiológicos de los cultivos, así como el rendimiento y calidad del fruto, debido a que ambos fungen como fertilizantes cuya degradación a moléculas aprovechables por las plantas como nutrimentos se realiza de manera paulatina, por lo que los cultivos tienen una disponibilidad de nutrientes por mayor tiempo.

En la parte de la nutrición y manejo de cultivo, el tratamiento 11 (80-5) es el que mejores resultados mostró no solo a nivel fisiológico, en las variables de índice de verdor, clorofilas totales, área foliar, índice de área foliar y tasa de asimilación neta, sino también en el tamaño y peso de fruto, los cuales son componentes principales del rendimiento del cultivo.

Por otra parte, la aplicación de un recubrimiento comestible de alginato de sodio en frutos de jitomate ayudar a preservar los parámetros de calidad de los frutos en diferentes grados de madurez, en comparación con los frutos que no fueron tratados con estos recubrimientos comestibles; esto, debido a las características de los recubrimientos tales como la formación de una barrera semipermeable que retrasa el intercambio gaseoso y, por ende, la tasa de maduración, así como retrasa la aparición de microorganismos y su incidencia en los frutos. Además, al ser un recubrimiento incoloro, inodoro e insípido, no afecta las características organolépticas de calidad de los frutos, y por el contrario, ayuda a preservarlas por un mayor tiempo,

El grado de madurez también influye en la preservación de estos parámetros de calidad, por lo que el tratamiento 2 (frutos verdes con recubrimiento aplicado) es el que mejores valores obtuvo en las variables firmeza, pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable e incidencia microbiológica.

El uso de urea NBPT y KPhi incorporados a un plan de fertilización ayudan a tener mayores rendimientos y frutos de buena calidad, mientras que la aplicación de un recubrimiento comestible de alginato aplicados a dichos frutos, ayudan a preservar esos parámetros de calidad por una mayor cantidad de tiempo, lo cual incide en el manejo, transporte y comercialización de los frutos.

IX.- BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi N. A., Zafar I., Maqbool M. & Hafiz I. A. 2009. Post harvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating. Pakistan Botanical Society. 41(1):343-357.
- Abu-Alrub, I., Saleh, S. & Aziz-Agawa, A. 2019. Effect of Different Rates of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers on Yield and Quality of Greenhouse Tomato Under the UAE Condition. EC Agriculture 5 (3): 139-146
- Alarcón, A. 2013. Calidad Poscosecha del tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado en sistemas ecológicos de fertilización. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Ali, A., Maqbool, M., Alderson P. G., & Zahid N. 2013. Effect of gum arabic as an edible coating on antioxidant capacity of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit during storage. Postharvest Biology and Technology. 76:119–124. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2012.09.011.
- Arah, I. K., Amaglo, H., Kumah, E. K. & Ofori, H. 2015. Preharvest and Postharvest Factors Affecting the Quality and Shelf Life of Harvested Tomatoes: A Mini Review. International Journal of Agronomy 1(6). <http://dx.doi.org/10.1155/2015/478041>

- Avendaño-Romero, G. C.; López-Malo A & Palou, E. 2013. Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. Temas selectos de Ingeniería de alimentos 7(1): 87-96. Puebla, México.
- Barbieri, P. A., Echeverría, H. E., Sainz, R. H. R. & Maringnolo, M. 2010. Fertilización de maíz con urea deliberación lenta: Pérdida por volatilización y eficiencia en el uso de nitrógeno. Ciencia del Suelo. 28(1):57-66. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672010000100007&lng=es&tlng=es.
- Barpen. 2004. Ficha técnica Agrifos® 400 SL. Disponible en: http://www.ghcia.com.co/plm/source/productos/2418_13_206.htm
- Cantarella, R. H., Otto, J., Aijânio, R. S. & Brito, G. S. 2018. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor. Journal of Advanced Research. 13(1):19-27. DOI: 10.1016/j.jare.2018.05.008
- Chávez-García, M. A. 2013. Efecto de dos coberturas plásticas en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en el municipio de Coatepec Harinas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/40648/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cerón, L. E., & Aristizábal, F. A. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. Revista Colombiana de Biotecnología, 15(1),285-295.. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=776/77624081026>
- CIMA [Centro de Información de Mercados Agroalimentarios]. 2018. Reporte del mercado de tomate rojo. México. Disponible en: https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2019/Reporte_mercado_jitomate_130319.pdf
- Colle, I., Lemmens, L., Tolesa, G., Van-Buggenhout, S., De-Vleeschouwer, K., Van-Loey, A. & Hendrickx, M. 2010. Lycopene degradation and isomerization kinetics during thermal processing of an olive oil/tomato emulsion. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58: 12784-12789. DOI: 10.1021/jf102934u
- Corona, Ismael. 2016. El desarrollo de la agricultura y el impacto que tendría en las finanzas públicas de México. Centro de Estudios de Finanzas públicas. México. Disponible en: https://cefp.gob.mx/formulario/Trabajo_12a.pdf
- Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 49(2): 51-57 Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>
- Galloway, J. N.; Dentener, F. J.; Capone, D. G.; Boyer, E. W.; Howarth, R. W. & Seitzinger, S. P. 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. Biogeochem. 70(2):153-226

- Haifa Group. 2014. Recomendaciones nutricionales para tomate. Disponible en: https://www.haifa-group.com/sites/default/files/crop/Tomate_2014.pdf
- Hopkins, W & Hüner N. 2008. Introduction to Plant Physiology, Fourth Edition. pp 249-250. University of Western Ontario. ISBN:978-0-470-24766-2
- Hernández, I. M., Díaz, C. M., Placeres, V., Veloz, A., Pulido, M.J. & Guerrero B. O. 2009. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate en el suelo Ferralítico Rojo. 44(5): 429-436. Disponible en <https://www.scielo.br/pdf/pab/v44n5/v44n5a01.pdf>
- Hossain, M.T., Hossain, S. M., Bakr, M. A., Rahman, A.K. & Uddin, S.N. 2010) Survey on major diseases of vegetable and fruit crops in chittagong region. Bangladesh Journal of Agricultural Research. 35(3):423-429. DOI: <https://doi.org/10.3329/bjar.v35i3.6449>
- Hurtado, E., González, V. F., Röper, Ch., Bastías, E. & Mazuela, P. 2017 Propuesta para la determinación del contenido de clorofila en hojas de tomate. IDESIA, 35(4):129-130. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v35n4/0718-3429-idesia-35-04-00129.pdf>
- Jaramillo, N. J., Rodríguez, V. P., Guzmán, A. M., Zapata, M. & Rengifo, M. T. 2007. Manual Técnico Buenas prácticas agrícolas -BPA- en la producción de tomate bajo condiciones protegidas 331 p. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/a1374s/a1374s00.htm>
- Jiang, C., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S. & Maruo, T. 2017. A correlation analysis on chlorophyll content and SPAD value in tomato leaves. HortResearch. 71:37-42. DOI:10.20776/S18808824-71-P37
- Kareem, I., Azeez, R., Kareem, S. A., Oladosu, Y., Abdulmalik, S.Y., Eifediyi, E. K., Alasinrin, S. Y. & Olalekan, K. K. 2020. Growth and Fruit Yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under different levels of phosphorus fertilization. Journal of Applied Sciences and Environment Management. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v24i3.16>
- Khanzada, A.; Ali, M.; Hussain, B.; Rajput, A.; Hussain, F. and Ali, U. 2016. Evaluating right timing splitting nitrogen application rates for enhanced growth and yield of sunflower. European Academic Research. 4(7):5986-6007. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/310314135>
- Lema, A. A. C., Basantes, M. E. R. & Pantoja, G. J. L. 2017. Producción de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con urea normal y polimerizada en Pintag, Quito, Ecuador. Agronomía Mesoamericana. 28(1):97-112. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.22705>
- Li, Q., Yanga, A., Wang, Z., Roelckec, M., Chena, X., Zhanga, F., Pasda, G., Zerulla, W., Wissemeyer, A. H. & Liua, X. 2015. Effect of a new urease inhibitor on ammonia volatilization and nitrogen utilization in wheat in north and

northwest China. *Field Crop Res.* 175(1):96-105. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.02.005

- Liljeroth E.; Lankinen Å.; Wiik L.; Burra D.D.; Alexandersson E. & Andreasson E. 2016. Potassium phosphite combined with reduced doses of fungicides provides efficient protection against potato late blight in large-scale field trials. *Crop Protection* 86:42-55. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.04.003>
- Lopez-Sandoval, José A.; Morales-Rosales, Edgar J.; Vibrans, Heike y Morales-Morales, Edgar J. 2020. Tasa De Asimilación Neta Y Rendimiento de Physais bajo cultivo en dos localidades. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(2): 187-197. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.187-197>.
- Lovatt, C. & Mikkelsen, R. 2006. Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do? *Better crops.* 90(4). 11-13.
- Manunza, B., Deiana, S., Pintore, M. & Gessa, C. 1999. The binding mechanism of urea, hydroxamic acid and N-(N-butyl)-phosphoric triamide to the urease active site. A comparative molecular dynamics study. *Spil Biology and Biochemistry*, 31(5), 789-796. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00155-2)
- Martínez, V. 2012. Comportamiento del tomate establecido en diferentes sustratos y láminas de riego. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2236/VICTOR%20MARTINEZ%20DE%20VICENTE.pdf?sequence=1>
- McDonald, A. E., Grant, B. R. & Plaxton W. C. 2001. Phosphite (phosphorous acid): Its Relevance in the Environment and Agriculture, and Influence on the Plant Phosphate Starvation Response. *Journal of Plant Nutrition* 24:1505-1519. DOI: <https://doi.org/10.1081/PLN-100106017>
- Mendez-Reyes, D. A.; Quintero-Cerón, J. P.; Váquiro-Herrera, H. A. y Solanilla-Duque, J. F. 2015. Alginato de sodio en el desarrollo de películas comestibles. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.* 5(2): 089-113. Disponible en: <https://oaji.net/articles/2017/4924-1495547761.pdf>
- Morales, R. E. J.; Morales, M. E. J.; Díaz, L. E.J.; Cruz, A.; Medina, A. N. and Guerrero, M. 2015. Net assimilation rate and sunflower seed yield as a function of urea and slow release urea. *AgroCiencia.* 49(2):163-176. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000200005&lng=es&tlng=.
- Morales-Morales, E. J., Rubí-Arriaga, M., López-Sandoval- J.A., Martínez-Campos, A.R. & Morales-Rosales, E.J. 2019. Urea NBPT una alternativa en la fertilización nitrogenada en cultivos anuales. *Revista Mexicana de Ciencias*

Agrícolas. 10 (8). Disponible en: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/v10n8-015>

- Nawaz, H., Zubair, M & Derawadan, H. 2012. Interactive effects of nitrogen, phosphorus and zinc on growth and yield of Tomato (*Solanum lycopersicum*). African Journal of Agricultural Research 7(26) pp. 3792-3769. DOI: 10.5897/AJAR12.1027
- Notario-Medellin, C. M. & Sosa-Morales, M. E. 2012. El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.): aporte nutrimental, enfermedades poscosecha y tecnologías para su almacenamiento en fresco. Temas selectos de ingeniería de alimentos. 6(1):40-53. Disponible en: [https://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6\(1\)-Notario-Medellin-et-al-2012.pdf](https://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6(1)-Notario-Medellin-et-al-2012.pdf)
- Novoa, M. A.; Miranda, D. y Melgarejo, L. M. Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 12(2) pp. 293-307.
- Nuez, P. 2001. El cultivo del tomate. Ediciones mundi-prensa. Primera Edición 1995. Reimpresión 2001. España. pp. 790-791.
- Padilla, F. M., Peña, F. M., Gallardo, M. & Thompson, R. B. (2014). Threshold values of canopy reflectance indices and chlorophyll meter readings for optimal nitrogen nutrition of tomato. Annals of Applied Biology, 166(2), 271-285. DOI: <https://doi.org/10.1111/aab.12181>
- Pandey, R. 2015. Mineral nutrition in plants. Plant Biology and Biotechnology: Volume I: Plant Diversity, 499 Organization, Function and Improvement. India. DOI: 10.1007/978-81-322-2286-6_20
- Pérez, G. 2017. Comportamiento fenológico y agronómico de la variedad de tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) Sahel bajo condiciones en campo abierto y casa sombra. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila. México. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42226/GADIEL%20P%C3%89REZ%20RODR%C3%8DGUEZ.pdf?sequence=1>
- Prasad, R. & Shivay, Y. S. 2015. Fertilizer nitrogen of the life, agriculture and environment. Indian J. Fert. 11(8):47-53.
- Quintana, W., E. Pinzón y D. Torres. 2017. Efecto de un fosfato térmico sobre el crecimiento y producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. ICA Cerinza. Rev. UDC Act. & Div. Cient. 20(1), 51-59. DOI:10.31910/rudca.v20.n1.2017.62
- Quintero, J. P.; Falguera, V.; y Muñoz, J. A. 2010. Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. Revista Tumbaga 5(1), 93-118. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3628239>

- Ramspacher, A. 2017. Assessment of the global market for slow and controlled release, stabilized and water-soluble fertilizers. Presentaton at IFA strategic fórum 2017. Paris: IFA – International Fertilizer Association.
- Relyea, H. A. & Van der Donk, W. A. 2005. Mechanism and applications of phosphite dehydrogenase. *Bioorganic Chemistry*, (33)3, 171-189. DOI: 10.1016/j.bioorg.2005.01.003
- Rojas-Graü, M. A.; Soliva-Fortuny y R., Martín-Belloso, O. 2009. Edible coatings to incorporate active ingredients to freshcut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 20, 438 – 447.
- Santos, M. A., Rozados, M. J., Quintero, M. F. I., Rozas, V., Lamas, S., Chapela, D. & Fontúrbel, M. T. 2008. Nitrógeno foliar como estimador de clorofila en una población de *Laurus nobilis* del parque nacional de las islas atlánticas, Galicia. *Cuad. Soc. Esp. Cienci. For.* 25: 61-66.
- Sainju, U., Dris, R. & Singh B. 2013. Mineral nutrition of tomato. Agricultural Research Station, Fort Valley University. US
- Salinas-Navarrete J. C. 2010 Polinización de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernaderos en México. 12(1): 12-14.
- SAGARPA [Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación], 2010. Monografía de cultivos “jitomate”.
- SAGARPA [Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación]. 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 del Jitomate Mexicano. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>
- Sharma, P., Shehin, V. P., Kaur, N. & Vyas, P. 2018. Application of edible coatings on fresh and minimally processed vegetables: a review. *International Journal of Vegetable Science*. DOI: <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1510863>
- Shavit, U., Reiss, M. & Shaviv, A. J. 2013. Wetting mechanisms of gel-based controlled-release fertilizers. *J, Controlled Release*. 88(1):71-83
- Singh. S., V. Reddy, D. Fleisher y D. Timlin. 2017. Relationship between photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in soybean under varying phosphorus nutrition at ambient and elevated CO₂. *Photosynthetica* 55(3), 421-433. DOI: 10.1007/s11099-016-0657-0
- SIAP [Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera]. 2018. Atlas Agroalimentario 2012-2017. México. Disponible en www.gob.mx/siap
- SIAP [Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera]. 2020. Boletín Mensual de Producción de Tomate Rojo (Jitomate). Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/539442/Bolet_n_avance_producci_n_tomate_rojo_enero_2020.pdf

- Trenkel, M. E. 2010. Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers. An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. International Fertilizer Industry Association. Paris, France 13(1):133-143
- Vázquez-Huerta, G.; Barrios-Díaz, B.; Barrios-Díaz, J.; Cruz-Romero, W. & Berdeja-Arbeu, R. 2014. Rentabilidad de la producción de jitomate silvestre orgánico (*Solanum lycopersicum* L.) En cubiertas plásticas de bajo costo. Revista Mexicana de Agronegocios, 34(1): 773-783.
- Vivian, Z., Larson, J. A., Yin, X., Savoy, H. J., McClure, A. M., Essington, M. E. & Boyer, C. N. 2018. Profitability of enhanced efficiency urea fertilizers in no-tillage corn production. Agron. J. Abs. -Crop Econ. Prod. Manag. 110(4):1439-1446.
- Witte, C. 2011. Urea metabolism in plants. Plant Sci. 180(3):431-438.
- Yáñez-Juárez, M.G.; López-Orona, C.A.; Ayala-Tafoya F.; Partida-Ruvalcaba L.; Velázquez-Alcaraz T.J. y Medina-López R. 2018. Phosphites as alternative for the management of phytopathological problems. Revista Mexicana de Fitopatología 36(1): 79-94.
- Zekrehwot, A; Yetenayet, B. T. & Mohammed A. 2017. Effects of edible coating materials and stages of maturity at harvest on storage life and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits. African Journal of Agricultural Research. 12 (8), pp. 550-556. DOI: 10.5897/AJAR2016.11648
- Zhang E., Duan, Y., Tan, F & Zhang, S. 2016. Effects on Long-term Nitrogen and Organic Fertilization on Antioxidants Content on Tomato Fruits. Journal of Horticulture. China. DOI: 10.4172/2376-0354.1000172