

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Caracterización De Autotetraploides De *Physalis peruviana*, Obtenidos Mediante  
El Uso De Mutagénicos Químicos

Por:

**MAURICIO MENDOZA GONZALEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Caracterización De Autotetraploides De *Physalis peruviana*, Obtenidos Mediante  
El Uso De Mutagénicos Químicos

Por:

**MAURICIO MENDOZA GONZALEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

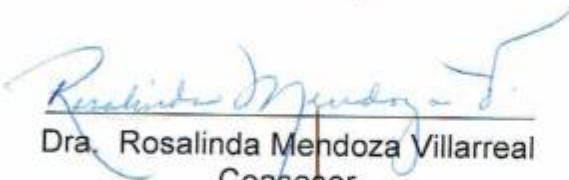
Aprobada por el Comité de Asesoría:



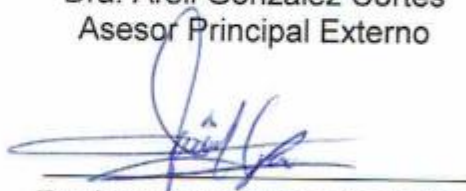
Dr. Valentín Robledo Torres  
Asesor Principal



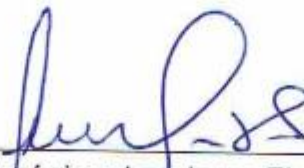
Dra. Areli González Cortés  
Asesor Principal Externo



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Coasesor



Dr. Armando Hernández Pérez  
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2023

## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M. Mendoza', written over a horizontal line.

Mauricio Mendoza Gonzalez

## AGRADECIMIENTOS

Le doy mi eterno agradecimiento a Dios, por estar siempre presente en cada instante de mi vida, por darme mi vida, salud, fortaleza y esperanza, a pesar de haber sido años difíciles hizo posible éste logro.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme brindado muchas oportunidades para realizar mi licenciatura en una de las instituciones más grandiosas.

A todos mis profesores que me han venido formando, dándome el conocimiento y consejos necesarios para llegar hasta aquí. Al M.C. Jasiel Noé Juárez Rábago por asesorarme, compartir experiencias, orientarme y apoyarme en el presente trabajo.

Al Dr. Valentín Robledo Torres por brindarme la oportunidad de realizar el presente trabajo, por sus enseñanzas en el transcurso de la carrera, apoyarme, motivarme, orientarme y compartirme experiencias.

A mí sensey de Karate Francisco Eduardo Landeros Ibarra, a su esposa María de Jesús Rodríguez Jaramillo y a sus hijos Eduardo, Misael y monse, por haberme brindado su conocimiento, amistad, compañía y cariño, también son como mi familia.

A mis padres, ser el motivo para seguir luchando para lograr mis metas, por el gran apoyo y amor que me han brindado.

A mi hermano Gilberto Mendoza González, además de ser mi hermano es mi amigo, le expreso mi más grande gratitud por haberme acompañado, compartido experiencias, consejos, apoyado e impulsado a terminar mi carrera.

A mi familia, abuelos, hermanos, cuñados, tíos, primos, sobrinos, por darme ánimos y el aliento necesario para seguir adelante en todo este proceso.

A mi novia Anahi Gonzalez Raymundo, por estar acompañándome en los momentos buenos y malos de mi vida A mis amigos José Manuel Ocampo, Franklin Guillén, Juan Carlos Rincón, Manuel Becerra, Martin Isidro, Luis Lennin Herrera, Martin Solorsano, José Solorsano, Karla Moreno, Miguel Oseguera, Guadalupe Aguirre, Daniela Fonseca, Gabriela Molina, Alicia, Misael, Eliberto, Yamilet, Lizbeth, Bellaner.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	III
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<i>Objetivo</i>	2
<i>Hipótesis</i>	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
<i>Generalidades del cultivo</i>	3
Antecedentes.	3
Importancia.	3
Taxonomía y origen.	4
Clasificación Científica.	4
Descripción Botánica.	5
Planta.	5
Raíz.	5
Tallo.	5
Hojas.	5
Flor.	5
Fruto.	6
<i>Requerimientos Edafoclimáticos</i>	6
Hábitat.	6
<i>Requerimientos de Hídricos</i>	7
<i>Requerimientos de Suelo</i>	7
<i>Requerimientos Climáticos</i>	7
Luz.	8
Temperatura.	8
Viento.	8

<b>Contenido Nutraceutico</b>	<b>9</b>
<b>Manejo del Cultivo</b>	<b>9</b>
Marcos de Plantación.	9
Siembra y Trasplante.	10
Tutotado.	10
Poda.	11
Riego y Fertilización	12
Enfermedades.	13
Plagas.	15
<b>Cosecha y Rendimiento</b>	<b>15</b>
<b>Agricultura Protegida</b>	<b>16</b>
<b>Situación en México</b>	<b>17</b>
<b>Duplicación Cromosómica</b>	<b>17</b>
<b>Mejoramiento genético de <i>P. peruviana</i> L</b>	<b>18</b>
<b>Agentes antimitóticos</b>	<b>18</b>
La colchicina.	18
Mecanismo de acción.	19
Aplicación.	19
La orizalina.	20
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.</b>	<b>22</b>
<b>Ubicación del Experimento</b>	<b>22</b>
<b>Material Vegetal</b>	<b>22</b>
<b>Descripción de los tratamientos</b>	<b>22</b>
<b>Aplicación de los tratamientos</b>	<b>23</b>
<b>Establecimiento y manejo</b>	<b>23</b>
Siembra.	23
Establecimiento del Cultivo Bajo Invernadero.	23
Trasplante.	24
Manejo Sanitario.	24
Manejo Nutricional.	24
<b>Análisis citogenético</b>	<b>25</b>
<b>Variables evaluadas</b>	<b>25</b>
<b>Análisis Estadístico</b>	<b>29</b>

<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	<b>30</b>
<b>Variables Agronómicas</b>	<b>30</b>
-Porcentaje de supervivencia de la semilla a los tratamientos bajo estudio.	30
-Diámetro basal del Tallo (DBT) y Primera Bifurcación del tallo (DBiT).	31
-Peso de fruto (sin cáliz).	32
-Diámetro Polar del Fruto (sin cáliz).	34
-Contenido de Clorofila.	35
-Sólidos Solubles Totales.	36
-Ancho de hoja.	37
-Diámetro de Flor.	39
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>41</b>
<b>LITERATURA CITADA.</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Cuadro 1.</b> Reportes de la composición nutricional de ( <i>Physalis peruviana</i> L.) por cada 100g de muestra (Díaz <i>et al.</i> , 2015).	<b>9</b>
<b>Cuadro 2.</b> Tratamientos aplicados a <i>Physalis peruviana</i> .	<b>22</b>
<b>Cuadro 3.</b> Porcentaje de supervivencia de la semilla a la exposición a los mutagénicos en <i>Physalis peruviana</i> .	<b>30</b>
<b>Cuadro 4.</b> Análisis de la varianza de para la variable DBT en plantas diploides y tetraploides de uchuva de uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> L) obtenidas mediante el uso de mutagénicos químicos.	<b>32</b>
<b>Cuadro 5.</b> Análisis de la varianza de para la variable DBIT en plantas diploides y tetraploides de uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> L) obtenidas mediante el uso de mutagénicos químicos.	<b>32</b>
<b>Cuadro 6.-</b> Análisis de la varianza de peso promedio de fruto en un estudio de evaluación de un diploide y cuatro tratamientos de uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> L).	<b>33</b>
<b>Cuadro 7.-</b> Análisis de la varianza de diámetro polar del fruto en un estudio de evaluación de un diploide y cuatro tratamientos en uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> L).	<b>34</b>
<b>Cuadro 8.-</b> Análisis de la varianza de contenido de clorofila en un estudio de evaluación de un diploide y cuatro tratamientos en uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> L).	<b>36</b>
<b>Cuadro 9.-</b> Análisis de la varianza de sólidos solubles totales de un diploide y tetraploides de Goldenberry ( <i>Physalis peruviana</i> L) obtenidos mediante mutagénicos químicos.	<b>36</b>
<b>Cuadro 10.-</b> Análisis de varianza en el ancho de hoja de tetraploides de goldenberry obtenidas mediante la aplicación de mutagénicos químicos.	<b>38</b>
<b>Cuadro 11.-</b> Análisis de varianza de tamaño de flor en un estudio de evaluación de cuatro tratamientos en uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> L).	<b>39</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Porcentaje de emergencia de <i>P. peruviana</i> en cada uno de los tratamientos bajo estudio.	<b>25</b>
<b>Figura 2.</b> Diámetro de base del Tallo (D.B.T) y Primera Bifurcación del Tallo (D.Bi.T) de <i>P. peruviana</i> .	<b>26</b>
<b>Figura 3.</b> Peso de frutos por planta (sin cáliz) de <i>P. peruviana</i> .	<b>26</b>
<b>Figura 4.</b> Diámetro polar del fruto (sin cáliz) de <i>P. peruviana</i> .	<b>27</b>
<b>Figura 5.</b> Medición de clorofila por planta de <i>P. peruviana</i> .	<b>27</b>
<b>Figura 6.</b> Medición de Grados Brix de <i>P. peruviana</i> .	<b>28</b>
<b>Figura 7.</b> Ancho de hoja de <i>P. peruviana</i> .	<b>28</b>
<b>Figura 8.</b> Diámetro de flor de <i>P. peruviana</i> .	<b>29</b>
<b>Figura 9.</b> Peso promedio de fruto con la misma letra fueron significativamente iguales (Tratamiento 5, diploide). Líneas verticales en cada barra corresponden a la desviación estándar.	<b>33</b>
<b>Figura 10.</b> Diámetros promedios con letras iguales en cada barra no son estadísticamente diferentes (Tukey $P \leq 0.05$ ), Las líneas verticales en cada barra corresponden a la desviación estándar.	<b>34</b>
<b>Figura 11.</b> Promedios de los sólidos solubles totales con letras iguales en cada barra no son significativamente diferentes. Las líneas verticales en cada barra corresponden a la desviación estándar.	<b>36</b>
<b>Figura 12.</b> Ancho de hoja de plantas de Goldenberry tetraploide, obtenidas por uso de mutagénicos químicos. Líneas verticales en cada barra muestran la desviación estándar.	<b>38</b>
<b>Figura 13.</b> Diámetro promedio de flor de plantas de Goldenberry tetraploide, obtenidas por uso de mutagénicos químicos. Líneas verticales en cada barra muestran la desviación estándar.	<b>40</b>

## RESUMEN

Frente a la creciente demanda de fármacos antineoplásicos a partir de productos naturales, El Golden Berry (*Physalis peruviana* L.) es un cultivo alternativo de alto potencial, porque produce frutos de calidad nutricional y medicinal, por su eficiencia en el tratamiento del cáncer, la reducción de efectos secundarios y la especificidad para las células tumorales (Joshua & Leland, 2002). Al igual que su alto valor en el mercado de exportación que tiene este cultivo. La duplicación cromosómica ha sido planteada como una estrategia que permita aumentar la producción. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de dos agentes mutagénicos en la duplicación cromosómica de *P. peruviana*. El estudio se realizó en invernadero en Saltillo, Coahuila, México. El Golden berry se manejó a 4 tallos y riego por goteo. Las semillas de *P. peruviana* se sometieron a diferentes concentraciones de colchicina (0.12% y 0.16%) y a diferentes concentraciones de Orizalina (0.06% y 0.08%) con un tiempo de exposición de 24 horas. Después del tratamiento con sustancias antimitóticas, las semillas fueron inoculadas en charolas de germinación. Después de 55 días en charolas las plántulas fueron trasplantadas en camas de siembra dentro del invernadero, con un arreglo experimental completamente al azar. El nivel de ploidía de la planta se evaluó mediante tinción de cromosomas en meiosis en botones florales, los cuales se colectaron entre las 7 y 9 horas del día, con un tamaño ecuatorial de entre 3.5 y 5.5 mm. Los tratamientos con orizalina (0.06% y 0.08%) causaron un menor porcentaje de supervivencia y efectividad al producir tetraploides. El tratamiento con colchicina (0.16%) fue más eficaz en la inducción de plantas tetraploides, que pueden emplearse en programas de mejoramiento genético.

**Palabras clave:** Golden Berry, células tumorales, duplicación cromosómica, sustancias antimitóticas.

## INTRODUCCIÓN

*Physalis peruviana* L., hoy en día se encuentra en casi todos los altiplanos de los trópicos y en varias partes de los subtrópicos, aunque es originaria de los Andes Peruanos. Pertenece a la familia de las Solanáceas, tiene distintas denominaciones muy comunes de su región, aunque en el mercado internacional es mejor conocida por el nombre de Golden Berry (Kumar *et al.*, 2018). Según Fischer (2011), en países como India es conocida como; chuchuva en Ecuador uvilla, tepareey makowi, en Perú, kapstachelbeere en Venezuela, aguaymanto y uchuva en Alemania, Fisalis en Italia, Lampiño en Holanda y cape Gooseberry (por Ciudad del Cabo) en los países de lengua inglesa, mientras el género *Physalis* proviene de griego "*Physsa*" (vejiga o ampolla) (Fischer y Miranda, 2012).

Fischer *et al.* (2014) indica que la planta presenta un exquisito sabor y aroma en sus frutos ya sea fresco o deshidratado, debido a esto es muy apreciado en distintos mercados de Europa, Estados Unidos y Canadá, por lo que su cultivo representa para los pequeños productores una alternativa viable con excelentes oportunidades de exportación.

Gastelum (2012) menciona que el cultivo *P. peruviana* posee características nutricionales y propiedades medicinales, por las cuales la hacen una alternativa de producción para la economía de muchos países, es una especie de importancia económica por el contenido de minerales y vitaminas presentes en el fruto, elementos indispensables para el desarrollo humano. Según Kumar *et al.*, (2019) es una excelente fuente de vitamina C, provitaminas A, también del complejo de vitamina B y por su alto contenido de vitaminas, minerales y fibra, la uchuva recientemente se ha incluido en la lista de los "Superfrutos" (Superfruit, 2011).

Lee *et al.*, (2015) mencionan que las hibridaciones entre especies muy relacionadas están limitadas en su capacidad para crear nuevas y diversas variedades de cultivos, la inducción de mutaciones es la alternativa para provocar cambios que, de manera natural, se tardaría demasiado tiempo en aparecer o que, por los efectos directamente vinculados al azar, éstos no aparecerían (Salas, 2015; Dayton, 2012).

La mejora por mutación tiene la ventaja de mejorar un defecto en un cultivar elite, sin perder sus características agronómicas y de calidad, a diferencia de la hibridación y la selección (Mónica y Seetharaman, 2016). Con un menor tiempo posible se puede cambiar una o varias características específicas de una variedad (Datta, 2014). Lee (2015) menciona que se puede mejorar la resistencia al estrés abiótico, el valor nutricional, los parámetros físicos del grano, alterar el tamaño de la planta, la época de floración, el color de la fruta y cosecha, sin perturbar ninguna de las bondades preexistentes en las variedades (Aruldoss *et al.*, 2015).

Robledo Torres *et al.* (2011), mencionan que el mejoramiento genético por duplicación de cromosomas ha logrado poblaciones de autotetraploides en las que se observa un aumento en el ciclo de vida y altura de planta, también un aumento en la cantidad de frutos por planta, en el peso, en el diámetro ecuatorial de fruto, mayor cantidad de vitamina C y sólidos solubles. Mutagénicos químicos tales como Etilmetanibiosulfanato (EMS), Ázida de sodio (NaN<sub>3</sub>), N-nitroso-N-metilurea (NMU) y colchicina han sido utilizados para desarrollar nuevos rasgos en los cultivos (Kashind y More, 2016).

## OBJETIVOS

### General

Evaluar el efecto de dos agentes mutagénicos en la duplicación cromosómica de *P. peruviana*.

### Específicos

- Determinar el tratamiento mutagénico más efectivo para la obtención de tetraploides en *Physalis peruviana* L.
- Determinar el nivel de ploidia de las plantas tratadas mediante el conteo de cromosomas meióticos.
- Determinar la mejor concentración de mutagénico (colchicina y orizalina) que maximice la duplicación del número cromosómico de *Physalis peruviana* L.

## HIPÓTESIS

Con relación a los agentes antimutagénicos usados, es posible que la aplicación de la colchicina a una determinada concentración y un tiempo de exposición adecuado duplique el número cromosómico de *P. peruviana* L. Dado que la colchicina es el agente más efectivo como inductor de poliploidía.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Generalidades del cultivo

#### Antecedentes

El fruto de *P. peruviana* se conoce desde la época de los incas, quienes lo utilizaban para autoconsumo, era considerada como maleza, ya que se le desconocía su valor alimenticio y comercial (Fischer *et al.* 2014).

En tiempos más recientes fue descrita en la zona de Tierradentro Departamento del Cauca, Colombia, donde se empezó a cultivar a escala semicomercial y actualmente ocupa una extensa porción de Colombia, que incluye los departamentos de Cauca, Huila, Nariño, Antioquia, Cundinamarca y Boyacá (Madríña Palomino, 2010).

Según Madríña Palomino (2010) hace más de 200 años los españoles la introdujeron en Sudáfrica, inicialmente en el Cabo de Buena Esperanza presentándolo como fruto antiescorbuto. Luego allí el cultivo se extendió a Gran Bretaña, Zimbabue, Kenia, Australia, Nueva Zelanda, Hawái y la India.

#### Importancia

La importancia que tiene *P. peruviana* L. se debe principalmente por las propiedades nutritivas y medicinales (Terán, 2012). Según Fischer y Miranda (2012) el cultivo de la uchuva en la actualidad ha extendido su producción por todo el continente americano tanto a los altiplanos de los países tropicales, como a países del caribe. De igual forma en Sudamérica, países como Perú, Chile, Ecuador y Brasil aumentan

su área de cultivo. Ramadan (2008) menciona que actúa como antioxidante, antiséptico, antiescorbuto, entre otros, también tiene un gran potencial en la industria alimentaria y cosmética.

Actualmente se han empleado extractos de diferentes partes de *P. peruviana* L. en la medicina tradicional, como agente antipirético, anticancerígeno, e inmunomodulador, también para el tratamiento de enfermedades como el asma, hepatitis, malaria, dermatitis y el reumatismo (Yu *et al.*, 2013). Yen *et al.*, (2010) indican que existen algunos compuestos obtenidos casi exclusivamente de *P. peruviana* de tipo witaesteroide (hidroxiwitanolido, witanolidos, physalinas, phygrina), de los cuales el 4  $\beta$  Hidroxiwitanolido E, presenta potente actividad citotóxica frente a líneas celulares de cáncer de pulmón. Medina (2012) describe que tiene una gran actividad hipoglicemiante.

### **Taxonomía y origen**

Douglas (2011) señala que dentro de las angiospermas la familia de las solanáceas está ampliamente distribuidas, con cerca de 400 especies, en las regiones tropicales se presenta mayor riqueza taxonómica, encontrándose cerca de 40 a 50 géneros que son endémicos propios de la zona.

Existen casi 100 especies de plantas del género *Physalis*, el tomatillo *Physalis ixocarpa* y el Goldenberry *P. peruviana* son las más representativas (Cruzat *et al.*, 2010).

### **Clasificación taxonómica.**

Reino: Plantae

División: magnoliophyta

Clase: magnoliopsida

Orden: solanales

Familia: solanaceae

Subfamilia: solanoideae

Género: *Physalis*

Especie: *Physalis peruviana* L. (Schreiber, 2015).

## **Descripción Botánica**

### **Planta**

Dostert (2011) describe a *P. peruviana* como una hierba perenne, 45 a 90 cm de alto, aunque convencionalmente puede alcanzar hasta los 300 cm de alto, tiene un crecimiento indeterminado, ya que los meristemos (vegetativos y reproductivos) se mantienen activos durante todo el año de vida de la planta. Al igual, como crecimiento floral y producción de la fruta tiene lugar concurrente (Ramírez *et al.*, 2013). Ruiz y colaboradores en 2018, mencionan que, a partir del segundo año el arbusto presenta una forma semileñosa que crece 2 o más metros de alto, puede presentarse erecta, postrada o extendida y muchas veces se apoya en otras plantas.

### **Raíz**

La mayoría de las raíces son fibrosas y se desarrollan a una profundidad de 10 a 15 cm, aunque la raíz principal alcanza una profundidad de 50 a 80 cm (Dostert *et al.*, 2011).

### **Tallo**

Ruiz *et al.*, (2018) y Bean (2006), señalan que esta especie presenta tallos erectos, poco ramificado, cilíndrico y densamente pubescentes.

### **Hojas**

Fischer en el 2000, mencionan que, posee hojas simples, alternas, acorazonadas y pubescentes de 5 a 15 cm de largo y 4 a 10 cm de ancho.

### **Flor**

*P. peruviana.*, presenta flores acampanadas de color amarillo, pequeñas, axilares y hermafroditas, presenta un pedúnculo floral de 10 a 13 mm de largo, con un cáliz anchamente campanulado, en la floración tiene un tamaño de 15 a 18 mm de largo y pubescente en la cara exterior, en la fructificación es acrescente, de color verde a beige, ovoide, con 5 a 10 nervios sobresalientes y algo rojizos, 8 a 10 mm de largo

y 3 mm de ancho, laxamente pubescente en la cara exterior, las flores se disponen verticalmente erectas o algo inclinadas (Dostert *et al.*, 2012). La presencia de la corola es amarilla, con cinco maculas purpuras, en la garganta de tubo de la corola, 1 – 1.8 cm de largo y 1.2 – 2 cm de ancho, con anillo denso de tricomas debajo de las maculas. Doster y colaboradores (2012), también mencionan que, las flores presentan filamentos y anteras de color azul a purpura y las anteras de 2.5 a 3 mm de largo. El ovario es verde con un anillo o disco en base, estilo purpura con estigma claviforme. Hassanien (2011) menciona que, el Golden Berry florece bien en tierras protegidas, suelo bien drenado, pleno sol o sombra ligera

### **Fruto**

Moya León (2012) describe al fruto como una baya con un diámetro aproximado de 2 cm y un peso 4 y 5 g, es de color naranja-amarillo, presentando una cubierta lisa y brillante, en la parte interior se encuentra una pulpa jugosa con una gran cantidad de semillas muy pequeñas. El fruto se encuentra cubierto por el cáliz en forma de vejiga o acampanado, que lo protege frente a patógenos y condiciones extremas y también puede servir como empaque natural (Fischer *et al.*, 2014).

### **Requerimientos Edafoclimáticos**

Este cultivo tiene una amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas y puede responder a campo abierto o en invernadero (Fischer, Almanza-Merchan & Miranda, 2012).

### **Hábitat**

Toapanta (2011) menciona que, *Physalis peruviana L.*, es originaria de los Andes Sudamericanos, encontrándola en estado silvestre o asilvestrado en alturas intermedias en zonas tropicales y subtropicales entre los 1500 y 3000 msnm. En otros países como Ecuador se adaptan mejor en zonas con alturas entre 1800 y 2800 msnm, en la región interandina, aunque a nivel del mar 72 msnm se puede desarrollar bien (Dostert *et al.*, 2012).



## **Requerimientos Hídricos**

Según Fischer y Miranda (2012), mencionan que, se necesita de un suministro de agua constante para el desarrollo vegetativo y reproducción de la planta, debido a que tiene un crecimiento indeterminado y en especial para llenado de fruto, por tal razón, el requerimiento necesario es de 1000 a 1800 mm de precipitación bien distribuida durante el año, los rangos óptimos de humedad relativa (HR) para un buen desarrollo están entre 70% y 80%.

La muerte del sistema radical puede presentarse en suelos encharcados durante más de 4 días. Aldana y García (2012) encontraron que plantas de uchuva, con el encharcamiento durante 6 y 8 días fueron muy afectadas, presentando los valores más bajos en diámetro de tallo, número de nudos, altura de planta, número de hojas, área foliar y peso seco de los órganos de la planta, presentando síntomas muy marcados de marchitamiento, comparado con las plantas encharcadas durante 0, 2 y 4 días. Fischer y Melgarejo (2013) mencionan que el rajado del fruto es un problema que se presenta principalmente en épocas de abundantes lluvias (alta precipitación) después de una época seca.

Las hojas y cáliz perforados por la granizada afecta drásticamente al fruto de la planta, por lo que, debe ser recuperada a través de poda y aplicaciones con fungicidas, mientras que frutos dañados por los impactos de los granizos no tienen un valor comercial. Los fuertes vientos son otro factor que disminuye el crecimiento, deshidrata el suelo y las plantas (Fischer y Miranda, 2012).

## **Requerimientos de suelo**

Angulo (2011) recomienda suelos con una estructura granular y una textura franco-arenoso o arcilloso, enriquecidos con aplicaciones de materia orgánica (MO) para tener un rango óptimo de pH entre 5,5 y 6,5. Según Almanza (2012) niveles freáticos mayores a 1 m son óptimos para el cultivo Miranda *et al.* (2010) Se considera como una especie con resistencia media a la salinidad.

## Requerimientos Climáticos

### Luz

La planta de uchuva presenta tallos más cortos, con hojas más pequeñas y gruesas al exponerse a altas radiación ultravioleta y por bajas temperaturas, a consecuencia el primer pico de producción se retrasa comparado con cultivos establecidos en zonas más bajas (Fischer y Miranda, 2012).

Fischer y Melgarejo (2013) mencionan que *P. peruviana* se desarrolla mejor en campo abierto, a comparación de condiciones de intensidad lumínica reducida (por ejemplo, bajo invernadero) el crecimiento es demasiado exuberante. La iluminación óptima durante el año están entre 1500 a 2000 horas de luz directa, para tener un mejor tamaño, calidad y maduración del fruto (Mora *et al.*, 2006).

### Temperatura

En Colombia, la planta crece bien con una temperatura promedio anual entre 13 y 16°C (Fischer y Miranda, 2012),

La temperatura óptima requerida para *P. peruviana*, ronda en los 21°C, aunque tiene un amplio rango de tolerancia que está entre 5 a 35°C. La floración es afectada a temperaturas superiores a las mencionadas, mientras que las heladas dañan el tejido en crecimiento (López *et al.*, 2016).

### Viento

Según Fischer y Miranda (2012), en sitios con viento fuerte, es necesario la siembra de barreras naturales de algunos frutales (como por ejemplo el peral o la feijoa), sauces, acacias o cipreses, entre otros, la elección de las plantas de protección depende de la adaptación a las condiciones agroecológicas de la región (Fischer y Miranda, 2012).

## Contenido Nutracéutico

El fruto de *P. peruviana*, presenta sabor agridulce, con alto contenido nutricional como; provitaminas A, vitaminas del complejo B, C y una cantidad extraordinaria de

elementos como el fósforo, hierro, entre otros componentes de importancia (Fischer *et al.*, 2014). En la Tabla 1 se muestra el contenido nutricional por 100 gramos de producto.

**Cuadro 1.** Reportes de la composición nutricional de (*Physalis peruviana* L.) por cada 100g de muestra (Díaz *et al.*, 2015).

Parámetros	ICBF	FAO
Humedad (g)	85.00	85.90
Energía (Kcal)	60	56
Proteína (g)	1.50	1.50
Lípidos (g)	0.50	0.50
Carbohidratos Totales (g)	12.30	11.40
Cenizas (g)	0.80	0.70
Calcio (mg)	9.00	9.00
Fósforo (mg)	21.00	21.00
Hierro (mg)	1.70	0.40
Niacina (mg)	0.80	0.80
Riboflavina (mg)	0.17	0.17
Tiamina (mg)	0.01	0.01
Vitamina C (mg)	20.00	20.00
Vitamina A (µg)	520.00	520.00

## Manejo del Cultivo

### Marcos de plantación

Dostert *et al.*, (2012) mencionan que, en general a campo abierto son recomendadas distancias de 3x3 o 2x3 m entre plantas y entre surcos (Zapata *et al.*, 2002) en condiciones de producción más intensiva, varían de 40 a 80 cm entre las plantas y de 50 a 90 cm entre surcos, dependiendo del lugar.

Fischer y Miranda (2012), recomiendan distancias entre plantas e hileras de 2 a 3 m para tener una mejor sanidad y para un mejor manejo, para una densidad de 1660 plantas/ha sembrado de 3 m entre hileras x 2 m entre plantas. En Colombia las distancias de siembra más utilizadas son de 2.5 x 2.5 m hasta 3 x 3 m, mientras que en lugares con una mayor humedad se recomienda distancias altas para favorecer

la sanidad del cultivo (Angulo, 2011). Fischer y Miranda (2012) recomiendan que, en lugares con pendiente se debe utilizar el trazado en tresbolillo o a curvas de nivel para facilitar los manejos.

### **Siembra y trasplante**

Aunque se puede hacer siembra directa en el suelo, lo más recomendable es obtener las plantas de semillero, debido que las semillas son muy pequeñas, luego que las plantas tengan una altura de 20 a 25 cm debe trasplantarse en camas de siembra o macetas (lugar definitivo) (Dostert *et al.*, 2012).

### **Tutorado**

Según Angulo (2011), para que la planta se mantenga erguida y tenga mejor aireación, mejor entrada de luz y para realizar el manejo del cultivo es indispensable el tutorado, el mismo dependerá de la topografía, densidad de siembra, materiales disponibles y sus costos, entre los más usados está el de sistema de colgado en doble línea, y la espaldera doble, donde las ramas cuelgan en forma de “V” (Ruiz *et al.*, 2018).

Fischer y Miranda (2012) indican que los diferentes tipos de soportes como los sistemas en “V” bajo, alto o triple T, en la actualidad se utiliza en la mayoría de las plantaciones, uno de los más sencillos consiste en el amarre de las ramas laterales productivas con hilo grueso a dos alambres galvanizados (calibre 12 o 14) distanciados por un 1 m y ubicados a una altura de 1,8 m a 2,0 m, los soportes van colocados en cada extremo de cada surco, seguidos por varas cada 3 o 4 m dentro de la hilera (Angulo, 2011). El sistema de conducción en V invertido y en triangulo aumentan la productividad del cultivo de *P. peruviana*, a comparación con la espaldera vertical (Lima *et al.*, 2010). Angulo (2011) recomienda que el sistema de colgado en V, para favorecer el aprovechamiento de luz, una mayor productividad y calidad de los frutos, sin embargo, Angulo (2011) no recomienda este tipo de sistema en sitios con fuertes corrientes de aire para evitar la fricción del alambre con las ramas.

## **Poda**

*P. peruviana*, es una planta que tiene un crecimiento indeterminado, como la mayoría de las especies solanáceas, el crecimiento de ramas y de los frutos compiten por los fotoasimilados (Fischer *et al.*, 2011), la poda está estrictamente relacionada con la producción y depende indispensablemente del número y estado fitosanitario de las ramas productivas (Fischer, 2012). La poda es una práctica para reducir el crecimiento total de la planta y controlar la producción de los frutos (Myers, 2003). Arjona y Santinoni (2007) mencionan que el tipo de poda depende principalmente del estado fenológico de la planta.

Criollo *et al.*, (2013) mencionan que, para la poda de formación, en sitios con aumento de la precipitación y cambio climático, se recomienda eliminar los chupones que se produjeron en la base del tallo principal, para permitir la bifurcación apical natural del tallo vegetativo y para el desarrollo de unas cuatro ramas generativas principales con sus respectivas ramas reproductivas laterales.

Según Fischer (2000) antes de la bifurcación natural, que sucede entre 8 y 12 nudos, se recomienda despuntar el tallo principal, a los 30 o 45 días después del trasplante induciendo el crecimiento de ramas laterales basales, se recomienda solamente para regiones donde presenta una humedad relativa óptima (Angulo, 2011). Según Arjona y Santinoni (2007), la capacidad vegetativa y reproductiva de la planta depende genéticamente de la especie y variedad y el manejo del fruticultor.

Fischer y Miranda (2012) mencionan que en la poda sanitaria y de mantenimiento es necesario eliminar chupones basales, todas ramas secas, las hojas y cálices enfermos o atacados por plagas, con esta poda se tiene un incremento en la entrada de luz y aire, favoreciendo la producción en las ramas nuevas de la planta y estado fitosanitario de la misma, según Angulo (2011), debe realizarse cada 45 a 60 días.

Para tener un óptimo estado fitosanitario de la planta, especialmente del sistema radical, es recomendable la nutrición y efectuar la poda de renovación entre unos 18 y 24 meses después de la plantación a unos 15 a 20 cm de la base de la planta (Fischer y Miranda, 2012).

## Riego y fertilización

Para que la planta de *P. peruviana* tenga un buen crecimiento es necesario de riegos precisos y constantes, dependiendo de la evapotranspiración registrada, ya que los riegos influyen en la calidad de los frutos, cuando se presenta la combinación de un abundante suministro de agua (encharcamientos) y una fertilización deficiente (deficiencia de Calcio) se presenta el problema de rajado de fruto (Herrera *et al.*, 2010). Es recomendable aplicar riego dos veces por semana cuando se presentan épocas secas (Angulo, 2011). Sin embargo, se sugiere la instalación de tensiómetros para evitar el rajado de los frutos en variedades susceptibles.

Fischer y Miranda (2012) mencionan que, para favorecer el desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta es necesario una precipitación de 1000 a 2000 mm, de forma distribuida lo largo del año.

Según Romo (2018) para el plan de fertilización se debe basar en un análisis de suelo y de la calidad del agua de riego. Al pasar 30 días después trasplante puede comenzar a aplicarse la fertilización química, se recomienda aplicar 80 a 120 gramos por planta (g/planta) de un fertilizante como el 10-30-10 (N, P, K) y 150 a 200 g/planta del mismo a los tres meses después de la siembra, en plena producción, la fertilización habrá que aplicarse cada 2 meses y cambia a 200 o 250 g/planta de 10-30-10 (N, P, K) (Patiño *et al.*, 2014).

Cada aporte nutricional está basado en el análisis de suelo y agua, y también de la etapa de desarrollo de la planta. Se recomienda al momento de la siembra, una aplicación de 2 a 4 kg de MO (materia orgánica) por planta, utilizando materiales como compost o gallinaza descompuesta, procediendo en el primer mes después de la siembra suministrar un fertilizante compuesto (10-30-10 o 13-26-6, N, P, K; 150 g/planta) y en el cuarto mes 100 g/planta (Angulo, 2011). Fischer y Miranda (2012) recomiendan suministrar fertilizantes que contengan alto contenido de Fósforo en la prefloración y es indispensable aplicar Potasio a partir del cuajado para tener una buena formación y un buen tamaño de los frutos.

Es recomendable la aplicación de elementos menores cada 5 o 6 meses (30 g/planta), con el fin de mejorar la calidad de los frutos y un buen desarrollo de la planta (Angulo, 2011). En *P. peruviana*, la carencia de nitrógeno influye mucho en la disminución de la producción, mientras que, su deficiencia se manifiesta en las hojas con un color verde pálido y venas rojizas, disminuyendo la cantidad y el tamaño de los frutos, debido a que las plantas desarrollan un menor número y longitud de ramas (Fischer y Angulo, 1999). Sin embargo, es recomendable hacer un análisis foliar y de suelo cada ciclo de cultivo, para suministrar los nutrientes correctamente, pues esto depende de la fenología, del lugar y condiciones de plantación. Así, por ejemplo, se reportan en investigaciones hechas en México que, la planta de uchuva crece y se desarrolla apropiadamente con la solución nutritiva Steiner al 50 y 75% de concentración (Osorio *et al.*, 2013; Carpio *et al.*, 2018).

Cooman *et al.*, (2005) mencionan que, el rajado de fruto está influenciado por los nutrientes Calcio y Boro, ya que encontraron la ausencia de los dos elementos de manera simultánea incrementa en un 6% y que la ausencia de uno de los dos elementos en la fertilización aumenta en un 3% esta adversidad.

Torres (2013), reportó plantas que presentaban en algunos frutos cálices deformes que no cubren la totalidad del fruto, debido a la deficiencia de Ca (Calcio) en plantas que crecieron en suelos con una textura liviana se presentó particularmente en frutos de la parte superior de la planta y presentando también manchas necróticas en su ápice, similares a los que muestra el tomate por deficiencia de Calcio, esto se puede prevenir con aplicaciones de CaO (Óxido de calcio), según el análisis de suelo y utilizando fertilizantes de rápida disponibilidad como el nitrato de Calcio.

### **Enfermedades**

Según Fischer y Miranda (2012) las enfermedades económicamente importantes para el cultivo de *P. peruviana*, de las cuales se menciona el marchitamiento vascular por *Fusarium oxysporum* Schlecht, son causantes de daños más severos y de un descenso en la producción. Galindo y Pardo (2010) mencionan que, para prevenir esta enfermedad se recomienda tener semillas y plántulas sanas que estén libres del hongo y es de suma importancia establecerlas en suelos no infestados,

debido a que el hongo penetra las raíces de manera directa, también entra a las raíces por heridas o a través punto de formación de las raíces laterales. El hongo es capaz de desarrollar estructuras de resistencia a muchos fungicidas utilizados comúnmente, como las clamidosporas, dificultando el control químico (Rodríguez *et al.*, 2011).

Otra enfermedad que es muy frecuente en ambientes que presentan alta humedad y temperatura baja, es la “muerte descendente” por *Phoma sp.* Los síntomas se manifiestan como lesiones de color amarillo a cobrizo sobre tallos, peciolo, ramas, cáliz y frutos (Fischer y Miranda, 2012). Según Angulo (2011) la presencia del hongo es más frecuente en cultivo con pobre drenaje y mal tutorados, esta enfermedad se puede prevenir y controlar con un apropiado manejo de poda, para tener una buena circulación del aire dentro del cultivo y también es recomendable la aplicación de fungicidas de acción preventiva y curativa.

*Cercospora physalidis* Ell, es una enfermedad conocida como mancha de la hoja y del capacho, se presenta frecuentemente en épocas de verano en áreas de menor altitud (Galindo y Pardo, 2010). Según Fischer y Miranda (2012) se presenta en climas en los que se alternan periodos cortos de lluvias y días secos. Angulo (2011) indica que los primeros síntomas se manifiestan en las hojas como pequeñas áreas necróticas, en forma angular y en el cáliz se presenta la mancha con un borde más definido con centros de color grisáceo (Fischer y Miranda, 2012). Si se presentan las condiciones climáticas descritas se recomienda la aplicación de fungicidas preventivos y en caso de infestación, aplicar fungicidas curativos.

Angulo (2011) reporta otras enfermedades que son de menor incidencia como la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), “damping off” (*Pythium sp.*), *Alternaria sp.*, la pudrición algodonosa (*Sclerotinia sclerotiorum*), moho gris (*Botrytis cinérea*), las bacterias *Ralstonia solanacearum*, y *Xanthomonas sp.*, entre algunos virus, como por ejemplo el enrollamiento de las hojas.



## **Plagas**

Las plagas, económicamente importantes para el cultivo de uchuva, se encuentra las larvas de *Heliothis sp.* Los daños más graves son al perforar los frutos, aunque inicialmente las larvas pueden alimentarse de los cogollos. Fischer y Miranda (2012) recomiendan monitorear las plantas revisando los capachos y frutos, el control debe ser dirigido a los primeros instantes larvales e implementar el uso de trampas tanto de luz como de feromonas y la eliminar las plantas huéspedes.

Pulguilla *Epitrix cucumeris*, es un coleóptera que se presenta comúnmente en climas secos, se alimenta de los brotes tiernos y en las hojas causa perforaciones de diferente tamaño (Fischer y Miranda, 2012). Se puede controlar de forma preventiva por medio de labores culturales, con un buen desyerbe y una adecuada aplicación de riego, en caso de poblaciones altas se recomienda la aplicación de insecticidas selectivos.

*Aculops lycopersici*, es la especie de Ácaro que más ataca las plantas de *P. peruviana*, los ácaros se presentan especialmente en la fase productiva, atacan el cáliz provocando una coloración rojiza y un arrugamiento afectando la calidad del fruto (Jerez, 2015). Según Fischer y Miranda (2012) las temperaturas elevadas y poca humedad relativa benefician el desarrollo de la plaga. Las poblaciones de estas plagas disminuyen en temporada de invierno y las lluvias actúan como un controlador natural.

## **Cosecha y rendimiento**

Según Fischer y Miranda (2012) el fruto de Uchuva necesita entre 60 a 80 días para su desarrollo dependiendo las condiciones agroecológicas. La producción inicia entre 4 y 7 meses después de la siembra, los frutos son cosechados de forma manual, cuando el cáliz se torna de un color amarillo que es simultáneamente con la coloración del fruto (Fischer y Miranda, 2012; Romo, 2018). La producción puede ser constante hasta 10 a 12 meses y después se reduce. Galvis *et al.* (2005) recomiendan cosechar preferiblemente 2 o 3 veces por semana durante el pico de

producción, en las horas frescas de la mañana evitando la lluvia, para evitar la incidencia de las enfermedades fungosas.

El rendimiento puede variar de forma considerable de un lugar a otro, por ejemplo, en Colombia que es el primer productor mundial de uchuva, se alcanza rendimientos de 14.5 a 32.5 toneladas por hectárea (t/ha) en campo abierto, Mientras tanto, la producción en invernadero se reporta hasta 60 t/ha (Angulo, 2005; Fischer *et al.*, 2014). Por otra parte, en Perú que es su lugar de origen, se reporta una baja producción y rendimiento de Golden Berry de aproximadamente 7 t/ha a campo abierto, al igual Chile se estima un promedio nacional de 6 t/ha, mientras que, en Ecuador se producen alrededor de 13.6 t/ha con un sistema semi-tecnificado; (Cruzat *et al.*, 2010; Fischer *et al.*, 2014). Por su parte en México, ensayos en invernadero y sustrato han reportado de 45 a 60 t/ha (Sabino-López *et al.*, 2018; Aguilar-Carpio *et al.*, 2018).

### **Agricultura Protegida**

La agricultura protegida es cualquier estructura cerrada, donde se tiene las condiciones óptimas para los cultivos fuera de estación y puedan lograr su máximo potencial genético, haciendo un uso eficiente de los recursos, aumentando la producción para satisfacer la creciente demanda de alimentos, equilibrando los factores involucrados, ya sean sociales, económicos o ambientales (FAO, 2016).

Debido el cambio climático y otros factores que se relacionan con éste (calentamiento global, temperaturas extremas, sequias, etc.), existe la necesidad de lograr la transformación para una agricultura sostenible, pero a su vez es un gran desafío, aunque las prácticas agrícolas sostenibles ya existen desde el punto de vista económico, pero deben superarse otros obstáculos que impiden adoptarlas (FAO, 2016).

Cada vez existen más consumidores informados y más exigentes, debido a que la industria de la agricultura es dinámica, cada vez es de mayor exportación y de competencia mundial, con una tendencia a productos más saludables, inocuos y

naturales, los alimentos ofrecidos deben de ser de calidad, de acuerdo al gusto del consumidor y a las normas existentes (SENASICA, 2010).

### **Situación en México**

Existe más de 51,179 hectáreas bajo agricultura protegida en México, de las cuales alrededor de 12,694 son de invernadero y el resto corresponden a malla sombra y macrotúnel, entre otras estructuras, gran parte de ésta es destinada a cultivos hortícolas (SIAP, 2015). Según Castellanos y Borbón (2011) la agricultura protegida en el país se ha desarrollado rápidamente, ya que hace posible el desarrollo de regiones agrícolas donde existen las condiciones ideales para establecer estructuras de protección (invernaderos, malla sombra, túneles) para los cultivos (Juárez *et al.*, 2011). Teniendo un aumento 132 hectáreas en 2003 en sus inicios, a más de 42 mil a finales de 2017 (AMHPAC, 2019).

### **Duplicación cromosómica**

Jones *et al.*, (2008) mencionan que al aumentar el número de cromosomas a veces se mejorara la expresión de la concentración, producción y la mejora cualitativa de ciertos metabolismos secundarios, relacionados principalmente al aumento del tamaño de los órganos productores y se atribuye principalmente a la multiplicación del genoma. Wallart y colaboradores (2000), obtuvieron con colchicina tetraploides de *Artemisia annua* ( $2n = 36$ ) y la producción de artemisina, el cual es un metabolito secundario, útil en el tratamiento de la malaria, logrando obtener producciones de 3 a 6 veces mayores que las logradas de los clones diploides. También se obtuvieron tetraploides estables en cultivos in vitro de *Aloe annua* con la colchicina (De Jesús González y Weathers, 2003). En poliploides de especies de plantas medicinales tales como *Trigonella foenum graecum*, *Bidens tripartita*, *Calendula officinalis* y *Silybum marianum*, se obtuvo un aumento de metabolitos secundarios (Maruska *et al.*, 2010).

Ranney en (2006) menciona que la poliploidía es un fenómeno donde las plantas duplican el número de cromosomas, este mecanismo ha desempeñado un papel importante en la evolución y la especiación de las plantas. Mientras que, Sattler *et al.* (2016), describen a la poliploidía como un método de mejora muy importante, puesto que los organismos poliploides tienen mejores características como; mayor rendimiento, mejor calidad del producto, aumento en la tolerancia al estrés biótico y abiótico, en comparación de los individuos diploides de la misma especie.

### **Mejoramiento Genético de *P. peruviana* L.**

Fita *et al.* (2008) mencionan que se puede mejorar la eficiencia de los programas de mejora y aumentar la variación disponible para el mejorador con ayuda de las nuevas biotecnologías. La selección asistida por marcadores moleculares está entre las primeras técnicas de mejora, seguida por otras como; la selección in vitro, el cultivo de polen y anteras y la micropropagación. Mientras que, dentro de las técnicas que aumentan la variación somaclonal y la hibridación interespecífica está el rescate de embriones (Prohens y Sepulveda, 2014).

### **Agentes Antimitóticos**

#### **La colchicina**

La colchicina es un alcaloide descubierto por Pelletier y Caventou en 1819, se extrae de las semillas y bulbos del cólquico (*Colchicum autumnale*) y plantas de *Gloriosa superba* (López *et al.*, 2014). Según Parra (2002) tiene una fórmula química  $C_{22}H_{25}NO_6$  con peso molecular de 399.45 y su nombre químico es (S)-N (5.6.7.9-1, 2, 3, 10-tetrametoxi-9 oxobenzo (a) heptalen-7-ilo) acetamida,

Lewis (2009) describe a la colchicina como un polvo de color blanco cristalino a amarillo claro, inodora y al contacto con la luz se torna de un color oscuro. Esta sustancia es extremadamente tóxica y cancerígena, probablemente la dosis letal en

humanos es menor a 5 mg/kg. Debido a su fotosensibilidad se almacena en recipiente ámbar, la estructura química puede verse afectada a la exposición prolongada de la luz perdiendo sus propiedades. Es muy soluble en alcohol y agua, su punto de fusión es 155 a 157 °C lo que permite su esterilización en autoclave.

### **Mecanismo de acción**

Blakeslee (1937) menciona que la colchicina ha sido utilizada desde 1937 para producir plantas poliploides, este alcaloide interviene en la estructura de las fibras del huso mitótico, adhiriéndose a la tubulina de los microtúbulos e impidiendo su autoensamblaje, provocando que no se separen los cromosomas hacia los polos y se detiene la metafase. En consecuencia, afecta sólo a las células que se encuentran en división celular (Olmos *et al.*, 2010). Por ello, se produce el desensamblado de los microtúbulos en las células que fueron tratadas con colchicina, modificando radicalmente la localización del retículo y del aparato de Golgi. Por tanto, el aparato de Golgi, no se encuentra unido a ningún otro orgánulo, se fragmenta para formar vesículas pequeñas que se dispersan en todo el citoplasma, mientras que, el retículo endoplasmático, que se encuentra conectado a la envoltura nuclear, se colapsa hacia el centro de la célula. Olmos *et al.* (2010) mencionan que cuando la colchicina se elimina del medio, mediante el lavado, se reinicia la síntesis de tubulina por el descenso de tubulina libre en el medio, reapareciendo los microtúbulos en aquellas células, por consiguiente, los orgánulos vuelven a recuperar sus posiciones originales debido al impulso de proteínas motoras a lo largo de microtúbulos neoformados (Alberts *et al.*, 2006).

### **Aplicación**

Según Barboza (2014) la colchicina debe aplicarse a los tejidos en proceso de multiplicación por división celular, tales como; yemas laterales de las plantas, meristemas, en semillas en germinación, plantas jóvenes o raíces. Para que la colchicina sea efectiva debe de tener contacto íntimo con la mayor cantidad de

células en división. Olmos *et al.* (2010) mencionan que el tratamiento puede realizarse con una solución acuosa o en pastas con agar, lanolina o en soluciones en glicerina, se aplica sobre los meristemas o se sumergen las raíces, dejando fuera la parte aérea. También por absorción de la solución a través de los tallitos decapitados, sobre los que se vierte o puede hacer llegar al interior de la planta por microinyección con la dosis deseada. Por otra parte, se puede obtener un gran número de doble haploides al tratar los callos con colchicina antes de ser trasladados al medio de regeneración, pero la mayoría de las plantas obtenidas tienen la desventaja de presentar mosaicos cromosómicos.

Según Barrera (2010) la colchicina provoca cambios en las plantas tratadas; como desarrollo de hipocotíleos cortos e hinchados con crecimiento lento y cotiledones anchos y gruesos, se presenta disminución de la altura de la planta, bajo porcentaje de sobrevivencia de plántulas tratadas, hojas más gruesas y verdes con mayor área foliar, aumento en el tamaño de estomas, incremento en el número de cloroplasto, aumento en el tamaño de la flor y tamaño de semilla, aumento diámetro del polen, al igual provoca una disminución en la producción de polen y pérdida de fertilidad en progenitores, entre otros.

### **La Orizalina**

La Orizalina (Bencenosulfonamida, 4-(dipropilamino)-3,5-dinitro) con fórmula  $C_{12}H_{18}O_6S$  y un peso molecular de 346.4 g/mol (Morejohn *et al.*, 1987). Es una sustancia química utilizada como herbicida de la clase dinitroanilinos, tiene más afinidad por los dímeros de la tubulina vegetal, produciendo fuertes anomalías, especialmente en regiones de la planta donde se tiene una elevada actividad meristemática (por ejemplo, los ápices de las raíces) (López *et al.*, 2014).

Allum *et al.* (2007) menciona que este herbicida presenta afinidad por la alfa-tubulina (< 500 nM) interrumpe la mitosis inhibiendo la polimerización de los microtúbulos, ya que inhibe de forma específica el ensamble de la tubulina de las células vegetales. Sin embargo, la Orizalina no tienen tanta solubilidad en agua como la

colchicina ( $> 1.5 \text{ M}$ ) (Morejohn *et al.*, 1987). Las plantas tratadas con Orizalina a concentraciones micromolares, tienen respuestas similares a las plantas tratadas a concentraciones milimolares de colchicina (Quader y Filner, 1980).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del Experimento

El presente experimento se llevó a cabo en el campo experimental del Departamento de Horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, cuya ubicación geográfica se encuentra a 25° 23´ latitud norte y 101° 80´ longitud oeste, con una altitud sobre el nivel del mar de 1785 m, presenta una temperatura media anual de 19.8°C, una precipitación de 443.5 mm, clima templado semiseco e invierno extremoso.

### Material Vegetal

Planta de Golden Berry (*Physalis peruviana* L.) ecotipo colombiano, caracterizada por tener hojas pequeñas, frutos de coloración naranja y un mayor contenido de azúcares, aunque más pequeños, que los ecotipos africanos de Sudáfrica y Kenia, que tienen mayor número de cromosomas.

### Descripción de los Tratamientos

El experimento tuvo 5 tratamientos, 9 repeticiones, 1 plantas por repetición, tomando 9 plantas como parcela útil, dando un total de 45 plantas. Se distribuyeron en parcelas por surco, surco 1 para colchicina 0.12%, surco 2 colchicina al 0.16%, surco 3 orizalina al 0.06% y surco 4 para orizalina al 0.08% y surco 5 diploide. Los tratamientos se muestran en el cuadro 2.

**Cuadro 2.-** Tratamientos aplicados a *Physalis peruviana*.

Tratamientos	
<b>T1</b>	Colchicina al 0.12%.
<b>T2</b>	Colchicina al 0.16%.
<b>T3</b>	Orizalina al 0.06%.
<b>T4</b>	Orizalina al 0.08%
<b>T5</b>	Diploide



## **Aplicación de los Tratamientos**

Se utilizaron cuatro cajas de Petri de plástico, en cada una se le colocó papel filtro y se agregaron 100 semillas de Golden Berry, a las que se les aplicó agua destilada, se llevaron a germinación a 28°C por 15 días en una incubadora. Pasados los 15 días y después de haber obtenido el 100% de germinación en las cuatro cajas petri, a cada caja se agregaron 5 mililitros de los tratamientos con mutagénicos, y después de ser expuestas por 24 horas, las semillas se lavaron con agua corriente por 5 minutos hasta retirar por completo los agentes químicos, posteriormente las semillas se transfirieron de las cajas Petri a charolas de germinación, y ahí permanecieron hasta alcanzar el desarrollo para trasplante (dos pares de hojas verdaderas).

## **Establecimiento y Manejo**

### **Siembra**

La siembra de la semilla de Golden Berry se llevó a cabo el 15 del mes de mayo de 2020, tuvo lugar en charolas de poliestireno de 200 cavidades, usando un sustrato especial para la germinación: turba (Premier Sphagnum Peat Moss) y perlita mineral (Hortiperl de Termolita) en una proporción 60:40 respectivamente. Las semillas se cubrieron con una fina capa de sustrato húmedo. Se desarrolló la plántula durante 40 días hasta que todas alcanzaran dos pares de hojas verdaderas, se contabilizó el porcentaje de supervivencia a los 30 y 40 días postsiembra y se aplicó solución nutritiva Steiner al 5% durante el desarrollo de las plántulas hasta su trasplante.

### **Establecimiento del Cultivo Bajo Invernadero**

Las plantas se establecieron en un invernadero de tecnología media con cubierta de polietileno, dentro de un módulo de 600 m<sup>2</sup> de superficie; se trasplantó en camas acolchadas con polietileno negro y riego por goteo con cintilla. La temperatura del invernadero osciló de los 18 a 34 °C y la humedad relativa de 45 a 60%.

## **Trasplante**

Las plántulas se trasplantaron a los 55 días después de la siembra (DDS) en 4 camas de 14 m de largo por 0.45 m de ancho, y 0.25 m de altura. Se manejó una distancia entre surcos de 1.20 m y 0.60 m entre plantas, a una hilera con una densidad de 12,173 plantas por hectárea.

## **Tutoreo**

La planta tuvo un tutorado tipo holandés con rafia sujeta a anillos para tutoreo en la base de la planta y atada a ganchos para tutoreo, soportados por alambre galvanizado calibre 10, colocado a 3.5 m sobre la superficie del suelo y fijado a la estructura del invernadero, las plantas fueron manejadas a cuatro tallos, eliminando brotes basales y laterales continuamente, además de las hojas de la parte baja en proceso de senescencia y hojas atacadas por plagas o enfermas.

## **Manejo sanitario**

Se realizaron aplicaciones preventivas de Abamectina a una dosis de  $1.5 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$  para arañita roja (*Tetranychus urticae*). Se presentaron plagas de mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), para su control se utilizó imidacloprid, imidacloprid+deltametrina y lambda cyhalotrina, a una dosis de 0.7, 1.5 y  $0.5 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$  respectivamente.

## **Manejo nutricional**

La solución nutritiva Steiner junto a la aplicación de micronutrientes Fertidrip, se aplicó al cultivo de manera periódica, una vez por semana, se preparó en tanques de 450 L de capacidad cubiertos de la luz solar y se aplicó a través del riego cada tercer día, es decir, un día sí y un día no, esto dependiendo de las condiciones

climáticas y la etapa fenológica de la planta, en días más cálidos, la aplicación fue diaria.

### **Análisis citogenético**

La caracterización citogenética se realizó mediante tinción de cromosomas en meiosis en botones florales, los cuales se colectaron entre las 7 y 9 horas del día, con un tamaño ecuatorial de entre 3.5 y 5.5 mm, se fijaron en solución Farmer y se llevaron a tinción de cromosomas, la cual consistió en , se diseccionó y se extrajo el contenido vegetal, se agregó colorante carmín y se cubrió con un cubre objeto, se realizó un tratamiento térmico con un mechero de alcohol y se procedió a observar al microscopio.

### **Variables evaluadas**

Se evaluaron las siguientes variables en los tratamientos bajo estudio: el día de toma de todos los datos de las variables, fue el 25 de noviembre del 2020.

#### **1. Porcentaje de supervivencia de la semilla a los tratamientos bajo estudio.**

Esta variable fue evaluada en semillas después de la aplicación de los mutagénicos luego de un tiempo de exposición, se realizaron lectura de forma visual (**Figura 1**).



**Figura 1.-** Porcentaje de emergencia de *P. peruviana* en cada uno de los tratamientos bajo estudio.

## 2. Diámetro basal del Tallo (DBT) y Primera Bifurcación del tallo (DBiT).

Con un Vernier monobloque Marca “JIS” modelo (B070.01), se realizaron las lecturas del diámetro del tallo de la parte superior e inferior, los datos se expresaron en milímetros (**Figura 2**).



**Figura 2.-** Diámetro de base del tallo (D.B.T) y primera bifurcación del tallo (D.Bi.T) de *P. peruviana*.

## 3. Peso de fruto (sin cáliz).

Esta variable fue tomada al momento de la cosecha, se pesó cada uno de los frutos de cada planta de cada tratamiento, con ayuda de una báscula de Marca “iitrust” (500-0.01g), el peso de los frutos se expresó en gramos (**Figura 3**).



**Figura 3.-** Peso de frutos por planta de *P. peruviana*.

#### 4. Diámetro polar del fruto (sin cáliz).

Esta variable fue tomada después de ser cosechado el fruto, mediante un Vernier monobloque Marca “JIS” modelo (B070.01), se realizaron las lecturas del diámetro ecuatorial, los datos se expresaron en milímetros (**Figura 4**).



**Figura 4.-** Diámetro polar del fruto (sin cáliz) de *P. peruviana*.

#### 5. Contenido de Clorofila

El contenido de clorofila se realizó con el medidor Minolta SPAD 502 plus en unidades SPAD, la medición se tomó en la hoja del quinceavo entrenudo de la planta con 3 repeticiones por planta y se sacó un promedio (**Figura 5**).



**Figura 5.-** Medición de clorofila por planta de *P. peruviana*.

## 6. Sólidos Solubles Totales

Esta variable se midió colocando una gota en del jugo del fruto, en un refractómetro portátil marca Atago con capacidad de hasta 32 grados Brix (**Figura 6**).



**Figura 6.-** Medición de Grados Brix de *P. peruviana*.

## 7. Tamaño (Ancho) de hoja

Esta variable fue tomada con un flexómetro, se realizaron las lecturas en la parte media a lo ancho de la hoja, los datos se expresaron en milímetros (**Figura 7**).



**Figura 7.-** Ancho de hoja de *P. peruviana*.

## 8. Diámetro de flor

Los datos de esta variable se tomaron con ayuda de una regla de 30 centímetros, se midió el diámetro de la flor abierta y los datos se expresaron en centímetros (**Figura 8**).



**Figura 8.-** Diámetro de flor de *P. peruviana* tetraploide.

## Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, el análisis de varianza (ANVA) fue realizado en cada variable y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), mediante el programa estadístico INFOSTAT.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables Agronómicas

#### Porcentaje de supervivencia de la semilla a los tratamientos bajo estudio

El cuadro 3, muestra los porcentajes de supervivencia de las plantas después de la aplicación de mutagénicos y mediante análisis citogenéticas se confirmaron los números cromosómicos de plantas diploides y con duplicación cromosómica (tetraploides).

El tratamiento con el mayor porcentaje de supervivencia después de la exposición a los mutagénicos se presentó con el tratamiento 1 (colchicina al 0.12%) con un 79% de supervivencia y con un 54.16% de efectividad para producir células tetraploides, sin embargo, en el tratamiento 2 (Colchicina al 0.16%) presentó un mayor porcentaje de efectividad con 66.66%, pero una leve disminución en el porcentaje de supervivencia con 71%. Mientras que, se observó una ligera disminución en el porcentaje de supervivencia en el tratamiento 3 (orizalina al 0.06%) y el tratamiento 4 (orizalina al 0.08%) con valores de 61% y 62% respectivamente. Por otra parte, el porcentaje de efectividad en la duplicación cromosómica para estos mismos tratamientos (3 y 4) tiene valores muy bajos con 34.5% y 8.33% respectivamente. Por lo tanto, se dedujo que los tratamientos de orizalina en estas concentraciones tuvieron menos efectividad al producir células tetraploides en las plantas de *Physalis peruviana*.

**Cuadro 3.** Porcentaje de supervivencia de la semilla a la exposición a los mutagénicos en *Physalis peruviana*.

Tratamientos*	Supervivencia (%)	Tetraploides	Diploides	Efectividad (%)
T1	79	13	11	54.16
T2	71	16	7	66.66
T3	61	9	15	37.5
T4	62	2	22	8.33

T1= Colchicina al 0.12%, T2= Colchicina al 0.16%, T3= orizalina al 0.06%, T4= orizalina al 0.08%.



La colchicina se ha empleado con éxito para producir plantas poliploides en varias especies de orquídeas, incluidas *Phalaenopsis* (Griesbach 1981; Chen *et al.* 2009), *Cattleya* (Silvia *et al.* 2000) y *Dendrobium* (Khosravi *et al.* 2009). Miguel y Leonhardt (2011), en su trabajo se investigó la inducción poliploide *in vitro* de orquídeas usando oryzalin y se encontró que era relativamente baja. La reducción del porcentaje de supervivencia de las plántulas después tratamiento, lo que indica que se correlacionó directamente con el aumento de las concentraciones de colchicina. Estos hallazgos confirman los resultados reportados por Atichart (2013) en *Dendrobium chrysotoxum*, Rodrigues *et al.* (2011) en plátano y Grosser *et al.* (2014) en pummelo.

### **Diámetro Basal del Tallo (DBT) y de Primera Bifurcación del Tallo (DBiT)**

El análisis de varianza para la variable diámetro basal de tallo y para el diámetro de tallo en la primera bifurcación, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos y fueron iguales a los diámetros observados en las plantas sin modificación cromosómica, lo anteriormente indicado se puede afirmar con una confianza del 95% (Cuadro 4 y 5). Al respecto, Preciado y colaboradores en el 2002, mencionan que la importancia fisiológica del área foliar está relacionada con la fotosíntesis y la producción de esqueletos carbonados, los cuales son usados y almacenados en el tallo de la planta. Marzougui *et al.*, (2011) y Barboza (2015), indicaron que plantas con un óptimo nivel de poliploidía, pueden presentar anomalías como enanismo, follaje arrugado y plantas débiles.

En la variable diámetro basal del tallo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, todos los valores oscilan entre 2.40 a 2.73 cm, lo que indica que ninguno de los tratamientos evaluados tuvo un efecto significativo sobre esta variable. Mientras que en el diámetro de la primera bifurcación del tallo los resultados nos indican que el mayor diámetro de la primera bifurcación en *P. peruviana*, se obtuvo con el tratamiento 4 (Orizalina al 0.08%) con 2.73 cm, seguido por el tratamiento 2 (Colchicina al 0.16%) con 2.56 cm, luego el tratamiento 1 (Colchicina al 0.12%) con 2.51 cm, pero no hubo diferencias significativas entre estos tratamientos.

**Cuadro 4.** Análisis de la varianza de para la variable DBT en plantas diploides y tetraploides de uchuva (*Physalis peruviana* L.) obtenidas mediante el uso de mutagénicos químicos.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-valor	Pr > F
Tratamientos	4	0.481	0.120	1.22NS	0.321
Error	34	3.357	0.099		
Total	38	3.838			
C.V.(%)	12.54				

CV= coeficiente de variación; NS = No significativo.

**Cuadro 5.** Análisis de la varianza de para la variable DBIT en plantas diploides y tetraploides de uchuva (*Physalis peruviana* L.) obtenidas mediante el uso de mutagénicos químicos.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-valor	Pr > F
Tratamientos	4	0.344	0.086	1.54NS	0.211
Error	34	1.893	0.056		
Total	38	2.237			
CV(%)	9.37				

CV= coeficiente de variación: NS = No significativo.

### **Peso promedio de fruto (sin cáliz)**

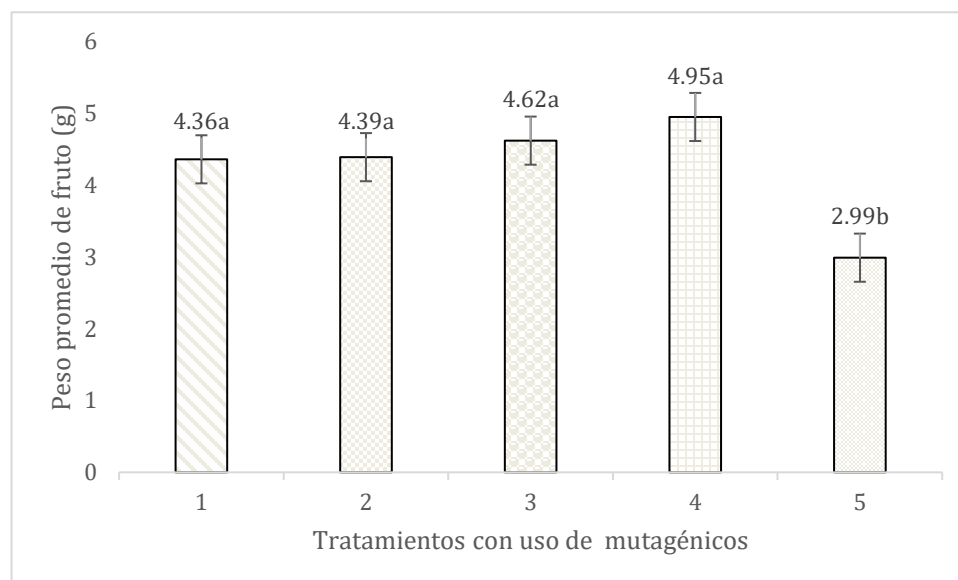
El ANVA aplicado a la variable antes citada muestra diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ), indicando que la aplicación de mutagénicos si afecto el peso promedio de fruto (Cuadro 6). Al realizar la comparación de medias se observa que el tratamiento 4 fue el que presento el mayor peso promedio de fruto, superando significativamente al tratamiento 5 (diploide) en 65.6%, sin embargo, los tratamientos tetraploides fueron iguales significativamente (Figura 9)

Los resultados coinciden con los obtenidos por Rodríguez & Bueno (2006) encontraron en *Physalis peruviana* que el diámetro y peso seco de los frutos, así como la altura de planta y área foliar parecen estar altamente correlacionados con el nivel de ploidía.

**Cuadro 6.** Análisis de la varianza de peso promedio de fruto en un estudio de evaluación de un diploide y cuatro tratamientos de uchuva (*Physalis peruviana* L.).

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-valor	Pr > F
Tratamientos	4	16.987	4.247	28.24**	< 0.0001
Error	34	5.114	0.150		
Total	38	22.101			
CV (%)	9.33				

CV= coeficiente de variación; \*\* = significativo ( $p < 0.01$ )



**Figura 9.** Peso promedio de fruto con la misma letra fueron significativamente iguales (Tratamiento 5, diploide). Líneas verticales en cada barra corresponden a la desviación estándar.

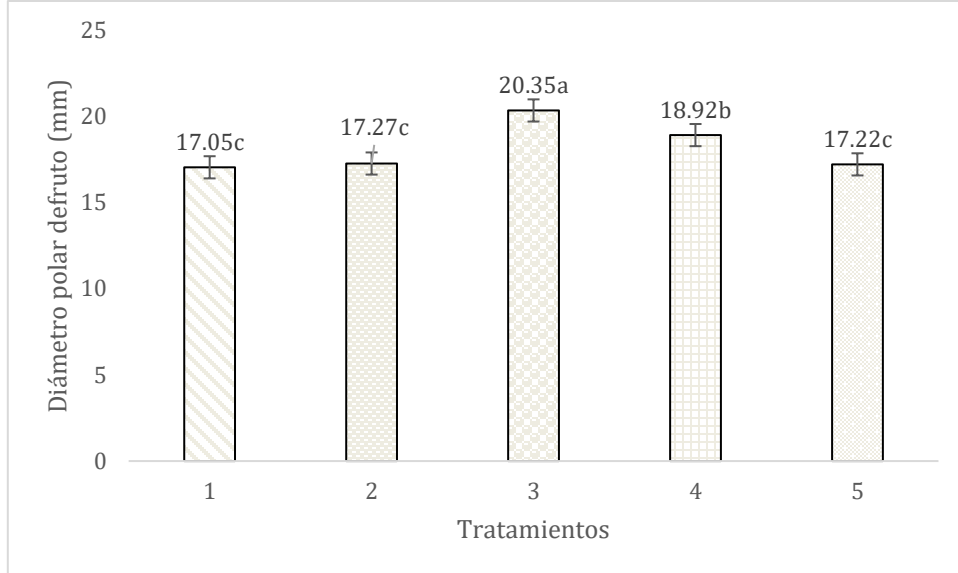
### Diámetro Polar del Fruto (sin cáliz)

El análisis de varianza aplicado al diámetro polar del fruto exhibió diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 7). Con el tratamiento de colchicina al 0.12% se obtuvieron más plantas tetraploides, así mismo con la orizalina al 0.06% se indujo el mayor diámetro polar de los frutos de Golden Berry, reflejando una media de 20.35 mm mostrando un efecto beneficioso en los frutos obtenidos de estos tratamientos como se observa en la Figura 10. Mientras que los tratamientos 1, 2 y 5 fueron los que manifestaron el menor peso de fruto. Ramírez *et al.*, 2013 indican que el tamaño de las células de los poliploides y de manera específica las células oclusivas tienen núcleos con una dotación duplicada de cromosomas lo cual induce células más largas y más anchas.

**Cuadro 7.** Análisis de la varianza de diámetro polar del fruto en un estudio de evaluación de un diploide y cuatro tratamientos en uchuva (*Physalis peruviana* L.).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-valor	Pr > F
Tratamientos	4	70.468	17.617	23.98**	< 0.0001
Error	34	24.979	0.734		
Total	38	95.447			
CV (%)	4.75				

CV= coeficiente de variación. \*\* = significativo ( $p < 0.01$ )



**Figura 10.** Diámetros promedios con letras iguales en cada barra no son estadísticamente diferentes (Tukey  $P \leq 0.05$ ), Las líneas verticales en cada barra corresponden a la desviación estándar.

### Contenido de Clorofila en Hoja

Los resultados obtenidos del análisis de varianza de esta variable, muestra que no existe diferencias significativas entre los tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) y un coeficiente de variación de 8.42 %, indicando que los tratamientos están produciendo efectos similares en la variable clorofila (Cuadro 8). Sin embargo, al analizar la prueba de medias de cada tratamiento se observa que el tratamiento diploide (48.61 unidades spad de clorofila) presenta los mayores valores en comparación del resto de los tratamientos. Swaminathan (1969), menciona que la disminución de la clorofila como se observa en plantas tratadas con las dosis de mutágenos puede atribuirse a saturación en los eventos mutacionales que pueden resultar en la eliminación de las células mutantes durante el crecimiento. Un efecto de la colchicina es la generación de quimeras, que consisten en una mezcla de tejido con número normal y duplicado de cromosomas (Barrera, 2010).

**Cuadro 8.** Análisis de la varianza de contenido de clorofila en un estudio de evaluación de un diploide y cuatro tratamientos en uchuva (*Physalis peruviana* L.).

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-valor	Pr > F
Tratamientos	4	102.11	25.53	1.66NS	0.18
Error	34	522.39	15.36		
Total	38	624.50			
CV (%)	8.42				

CV= coeficiente de variación; NS = No significativo.

### Sólidos Solubles Totales

El análisis de varianza de esta variable (Cuadro 9) mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) con un coeficiente de variación de 2.83 %, mostrando que los tetraploides obtenidos por efectos de cuatro tratamientos mutagénicos están produciendo efectos diferentes en la variable.

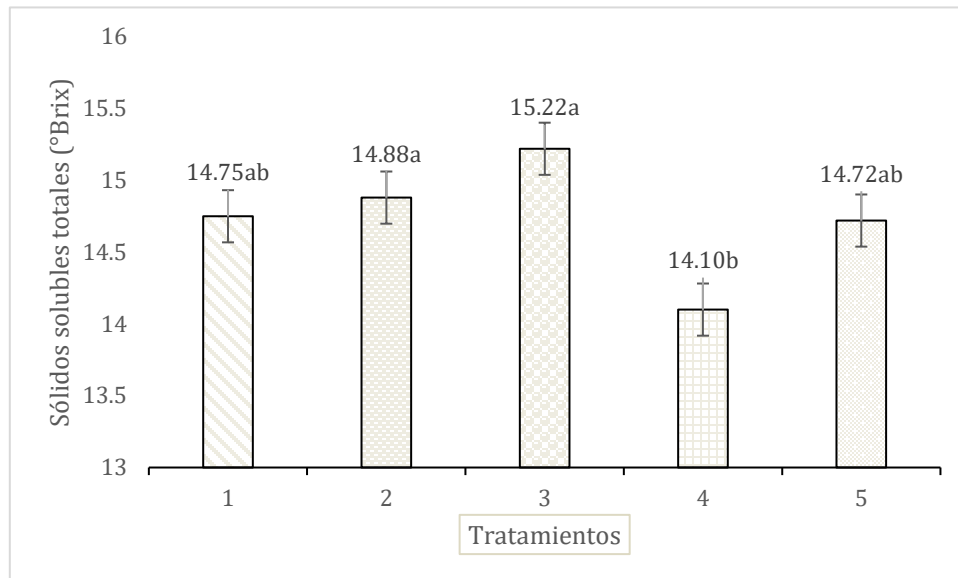
**Cuadro 9.** Análisis de la varianza de sólidos solubles totales de un diploide y tetraploides de Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) obtenidos mediante mutagénicos químicos.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-valor	Pr > F
Tratamientos	4	3.157	0.789	4.47**	0.005
Error	34	6.008	0.176		
Total	38	9.166			
CV (%)	2.83				

CV= coeficiente de variación; \*\* = significativo ( $p < 0.01$ )

Sin embargo, al analizar la prueba de medias se observa que el tratamiento 3 (Orizalina al 0.06%), 1 (Colchicina al 0.12%), 2 (Colchicina al 0.16%) y 5 (población diploide) tienen medias similares, mientras que las plantas tetraploides obtenidas

por el tratamiento 4 (Orizalina al 0.08%) fue el que presentó el menor contenido (14.10 °Brix) de sólidos solubles totales (Figura 11).



**Figura 11.** Promedios de los sólidos solubles totales con letras iguales en cada barra no son significativamente diferentes. Las líneas verticales en cada barra corresponden a la desviación estándar.

Los datos obtenidos en el trabajo de tesis coinciden con (Bejarano y Rodríguez, 2015) quienes encontraron un promedio de 14.83 °Brix en frutos de aguaymanto, pero difieren con los 12.5 y 14.3 °Brix reportados por (Puente, 2011) y los 12.267 °Brix de (Sánchez, 2002).

### Ancho de Hoja

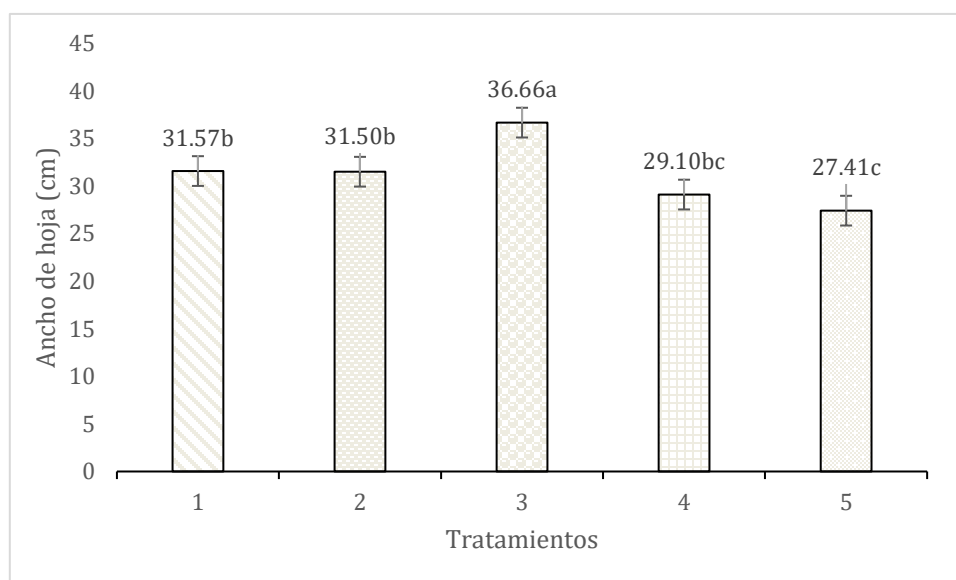
Los resultados del análisis de varianza para la variable ancho de hojas, mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) con un coeficiente de variación de 4.93 %, indicando que el ancho de las hojas de plantas tetraploides obtenidas mediante el uso de mutagénicos químicos exhibieron diferencias significativas en función del tratamiento (Cuadro 10). Sin embargo, al realizar la prueba de medias se observa que el tratamiento 3 (Orizalina al 0.06%) presentó el mayor ancho de hoja, superando en 33.74 % al tratamiento con plantas diploides

que fue el que presento el menor valor (Figura 12). Los resultados coinciden con los obtenidos por Nakamura *et al.* (2007) quienes indican que los tetraploides, comparados con los diploides, son plantas cortas con tallos gruesos y fuertes, hojas más redondas y grandes, baja fertilidad del polen, estomas grandes, flores y granos de polen grandes. Robledo *et al.* (2011) encontró que las plantas tetraploides de *Physalis ixocarpa* mostraron mayores valores en la altura de planta y área foliar en comparación con los diploides.

**Cuadro 10.** Análisis de varianza en el ancho de hoja de tetraploides de goldenberry obtenidas mediante la aplicación de mutagénicos químicos.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-valor	Pr > F
Tratamientos	4	406.77	101.69	41.93**	0.0001
Error	34	82.47	2.425		
Total	38	489.249			
CV (%)	4.93				

CV= coeficiente de variación; \*\* = significativo ( $p < 0.01$ )



**Figura 12.** Ancho de hoja de plantas de Goldenberry tetraploide, obtenidas por uso de mutagénicos químicos. Líneas verticales en cada barra muestran la desviación estándar.



## Diámetro de Flor

Se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos en el tamaño de flor de las plantas donde se aplicaron los tratamientos de mutagénicos químicos (Cuadro 11), lo antes indicado muestra que hubo diferencias significativas en el tamaño de flor de las plantas obtenidas después de usar mutagénicos químicos para la formación de los autotetraploides.

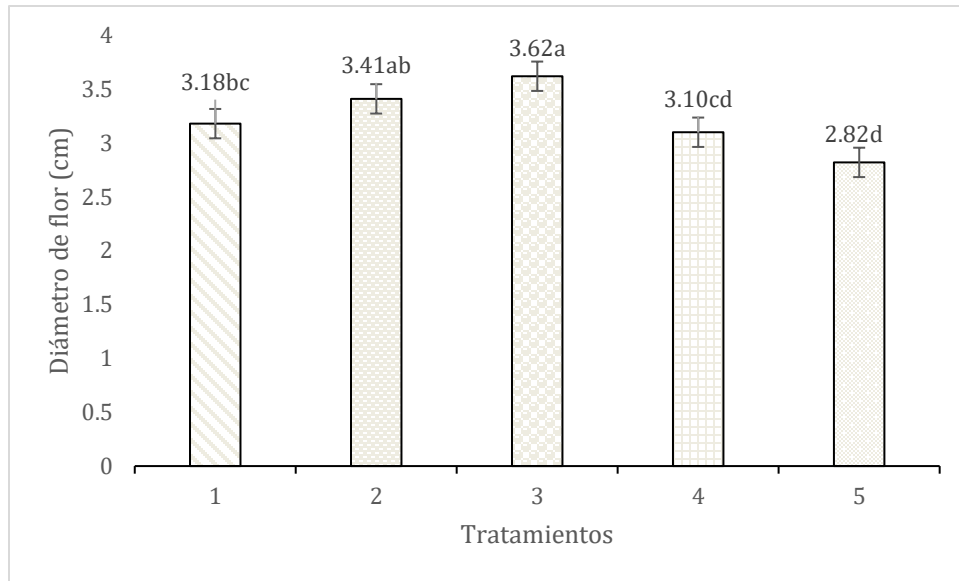
**Cuadro 11.** Análisis de varianza de tamaño de flor en un estudio de evaluación de cuatro tratamientos en uchuva (*Physalis peruviana* L.).

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-valor	Pr > F
Tratamientos	4	3.241	0.810	22.30**	0.0001
Error	34	1.235	0.036		
Total	38	4.476			
CV (%)	5.87				

CV= coeficiente de variación; \*\* = significativo ( $p < 0.01$ ).

Al realizar la comparación de medias se encontró que el tratamiento con orizalina al 0.06% exhibió el mayor diámetro de flor (3.62 cm) y fue significativamente igual al tratamiento con colchicina al 0.16%, mientras que el tratamiento 5 (flores de plantas diploides) fue el que presento el menor diámetro de flor (2.82 cm), el cual fue superado en un 28.36 % por el tratamiento 3 (Figura 13).

Gantait *et al.*, (2011) encontraron que los tetraploides de *Gerbera jamesonii* mostraron al inicio un crecimiento lento, pero luego tuvieron mayor vigor, hojas anchas y engrosadas, además desarrollaron flores más grandes, tallos más largos, y mejoraron la vida de florero.



**Figura 13.** Diámetro promedio de flor de plantas de Goldenberry tetraploide, obtenidas por uso de mutagénicos químicos. Líneas verticales en cada barra muestran la desviación estándar.

## CONCLUSIONES

Las concentraciones de mutagénicos utilizados en el presente trabajo de investigación tuvieron diferente efectividad en la producción de plantas poliploides de *Physalis peruviana*, el tratamiento 2 con colchicina al 0.16% alcanzo una efectividad de 66.66% en la autoploidización.

Las concentraciones de mutagénicos utilizados en el presente trabajo también afectaron el porcentaje de sobrevivencia en las semillas tratadas de *Physalis peruviana*.

La aplicación de soluciones de colchicina en semilla de *Physalis peruviana* si permitió la producción de plantas autotetraploides, con características de peso promedió de fruto, diámetro polar de fruto, contenido de solidos solubles totales, tamaño de hojas y tamaño de flor superiores a las de plántulas diploides.

Por lo tanto, se recomienda la aplicación de colchicina, para tener un mejor resultado en la duplicación de cromosomas en la obtención de plantas autotetraploides.

## LITERATURA CONSULTADA

- Aguilar-Carpio, C., Juárez-López, P., Campos-Aguilar I. H., Alia-Tejacal, I., Sandoval-Villa, M., & López-Martínez, V. (2018). Analysis of growth and yield of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) grown hydroponically under greenhouse conditions. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24(3), 191-202. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.07.024>.
- Amador Cuadra, C. U. (2019). Efecto de la aplicación in vitro de colchicina sobre la morfología y citología en dos especies de quequisque (*Xanthosoma spp*) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria). URI: <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/4038>
- Antúñez-Ocampo, M., Sandoval-Villa, M., Alcántar-González, G., Alvarado-López, J., & Sabino-López, E. (2016). Floración y fructificación de *Physalis peruviana* L. Por la aplicación de amonio y nitrato, edad y vigor de la planta. *Agrociencia*. p.603-615. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30246698006>.
- Aristizábal, A. M. (2013). Uchuva (*Physalis peruviana* L): estudio de su potencial aplicación en el desarrollo de alimentos con características funcionales. (Tesis de licenciatura). Corporación Universitaria Lasallista, Caldas-Antioquia. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/216689627/Uchuva-aplicaciones-potencial-aplicacion-en-el-desarrollo-de-alimentos-funcionales>.
- Atichart, P. (2013). Polyploid induction by colchicine treatments and plant regeneration of *Dendrobium chrysotoxum*. *Thai Journal of Agricultural Science*, 46(1), 59-63. <https://www.thaiscience.info/journals/Article/TJAS/10898982.pdf>
- Barrera, B. A. (2010). Desarrollo de un protocolo de duplicación cromosómica en híbridos intergenéricos *Helianthus annuus x Tithonia rotundifolia*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/4011>.
- Caballero, D. P. (2016). Determinación de la concentración y tiempo de exposición de la colchicina para la duplicación del número cromosómico de *Physalis*

*peruviana* L. en condiciones in vitro. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional San Agustín De Arequipa, Arequipa. URI: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2376>.

Cleary, A. L. & Hardham, A. R. 1988. Depolymerization of microtubule arrays in root tip cells by oryzalin and their recovery with modified nucleation patterns. *Can J. Bot.*, 66: 2353-2366. Disponible en: <https://doi.org/10.1139/b88-320>.

Cooman, A., Torres, C., & Fischer, G. (2005). Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta. II. Efecto de la oferta de Calcio, Boro y Cobre. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 74-82. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/19919>.

Criollo, H., Lagos, T.C., Fischer, G., Mora, L., & Zamudio, L. (2014). Comportamiento de tres genotipos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes sistemas de poda. *Revista Colombiana de ciencias hortícolas* 8(1): 34-43. Disponible en: <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i1.2798>.

Cruzat, G.R., Honorato, G.C., Fresno, R.M.F., & Casadio, P.M.M. (2010). Resultados y Lecciones en Cultivo de Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) en la zona central de Chile. Proyecto de Innovación en Región del Maule. Fundación para la Innovación Agraria. URI: <http://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/145587>.

De León, R., Reyes-Valdés, M., Mendoza-Rodríguez, D., Ramírez-Godina, F., Robledo-Torres, V., Gómez-Martínez, M., & Hernández-Guzmán, G. (2015). Análisis meiótico de cuatro generaciones de polinización cruzada en una población autotetraploide sintética de tomatillo (*Physalis ixocarpa*). *FYTON* ISSN. p.101-106. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-56572015000100014&lng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572015000100014&lng=es).

Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M.I.L., Weigend, M., & Luebert, F. (2012). Hoja botánica: Aguaymanto. *Physalis peruviana* L. Proyecto

Fischer, G. (2011). Aspectos fisiológicos de la uchuva en la producción orgánica. Jornada Técnico Científica, Universidad de Pamplano, Colombia. p.1-15. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/259837651>.

Fischer, G. Effect of root zone temperature and tropical altitude on the growth, development and fruit quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). 1995. (Tesis de Doctorado) v- Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 1995. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/256486999>.

Fischer, G., Almanza, P., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Revista Brasileira de Fruticultura, 5-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-441/13>.

Flórez, V. J., Fischer, G., & Sora, A. (Eds.), Producción, poscosecha y exportación de uchuva (*Physalis peruviana* L.) (pp. 9-26). Bogotá: Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia. Uri: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/53455>.

Gastelum, D. A., Sandoval, M., Trejo, C., & Castro, R. (2013). Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. Revista Chapingo Serie Horticultura. p.197-210. Disponible en: <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.002>.

Giraldo, G., Cruz, C., & Sanabria, N. (2017). Propiedades físicas del Jugo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Información tecnológica. vol.28 no.1 La Serena. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100013>.

Gómez, J. M. (2019). Inducción *in vitro* de poliploidía en *Laelia autumnalis* y *Oncidium tigrinum*, dos especies nativas de México. (Tesis de maestría). Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo, Uruapan, Michoacán. URI: [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/2082](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/2082).

- Grosser, J. W., Kainth, D., & Dutt, M. (2014). Production of colchicine-induced autotetraploids in pummelo (*Citrus grandis* Osbeck) through indirect organogenesis. *HortScience*, 49(7), 944-948. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.7.944>.
- Guajardo, I. P. (2020). Uso de Rizobacterias en el rendimiento y calidad de goldenberry (*Physalis peruviana* L.) En invernadero. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. Mex. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/47067>.
- Hernán-Moreno, N., Álvarez-Herrera, J. G., Balaguera-López, H. E., & Fischer, G. (2009). Propagación asexual de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en diferentes sustratos y a distintos niveles de auxina. *Agronomía Colombiana*. p.341-348. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_isoref&pid=S0120-99652009000300007&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S0120-99652009000300007&lng=en&tlng=es).
- Herrera, A. M., Fischer, G., & Chacón, M. I. (2012). Agronomical evaluation of cape gooseberries (*Physalis peruviana* L.) from central and north-eastern Colombia. *Agronomía Colombiana*. p.15-24. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/22440>.
- Kumar, A., Singh, S., Singh, M., & Marboh, E. (2018). Mutagenic Effectiveness and Efficiency of Gamma Rays and EMS on Cape Gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3254-3260. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.702.390.
- Kumar, R., Jha, K., Sengupta, S., Misra, S., Mahto, C., & Narayan, S. (2019). Effect of colchicine treatment on survival of seedlings and morphology in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. p.184-189. DOI: 10.13140/RG.2.2.36001.15208.

- Mohammadi, M., Kaviani, B., & Sedaghatthoor, S. (2021). In vivo polyploidy induction of *Phalaenopsis amabilis* in a bubble bioreactor system using colchicine. *Ornamental Horticulture*, 27, 204-212. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v27i2.2275>.
- Muniz, J., Kretzschmar, A. A., Rufato, L., Pelizza, T. R., Rufato, A., & de Macedo, T. A. (2014). General aspects of *physalis* cultivation. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.44, n.6, p.964-970. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000006>.
- Nohra, C., & Rodríguez, C. (2006). Estudio de la diversidad citogenética de *Physalis peruviana* L. (Solanaceae). *Acta Biológica Colombiana*, 11(2), 75-85. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2006000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2006000200006).
- Olmos Buchelt, Y. (2010). Caracterización del complejo regulador del sistema de protección frente a estrés oxidativo mitocondrial. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/11151/>
- Panayotov, N., & Popova, A. (2014). Vegetative and Productive Behaviors of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana* L.), Grown by Direct Sowing Outside Under Conditions of Bulgaria. *Turkish journal of agricultural and natural sciences*. p.1141-1146. Disponible en: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/142240>.
- Pássaro C, C. P., Sepúlveda, S. M., & Anvary, N. (2014). *Physalis peruviana* L.: Fruta Andina Para El Mundo. Corpoica, Colombia.: Investigadora Ph.D. Corpoica. Disponible en: <https://www.cytod.org/es/noticias/libro-physalis-peruviana-l-fruta-andina-para-el-mundo>.
- Pedrero, A. (2020). Optimización del protocolo de obtención de dobles haploides en *Cucumis melo*. (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena. URI: <http://hdl.handle.net/10317/9024>.



- Peña, R., Galecio, M., & Guerrero, J. (2021). Producción, calidad y rentabilidad de tres ecotipos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). Manglar, 231-238. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2021.030>.
- Pintos, B., Martín, L., & Gómez, A. (2014). Agentes antimutógenos en la obtención de plantas doble-haploides. Reduca (Biología). Serie Botánica., 12-18. Disponible en: <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/1595>.
- Puente, L., Pinto-Muñoz, C., Castro, E., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit. Food Research International, 1733-1740. URI: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121543>.
- Quader, H. & Filner, P. 1980. The action of antimutagenic herbicides on flagellar regeneration in *Chlamydomonas reinhardtii*: A comparison with the action of colchicine. Eur. J. Cell Biol., 21: 301-304. URI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7449772/>.
- Ramadan, M. F. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. Food Research International. p.1830-1838. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.042>.
- Ramírez, F., Robledo, V., Foroughbakhch, R., Benavides, A., Alvarado, M. A., & Quistian, D. (2013). Caracterización de tetraploides y formación de híbridos triploides en tomate de cáscara. CIENCIA UANL. p.55-65. URI: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/6999>.
- Rodrigues, F. A., Soares, J. D. R., Brant, L. A. C., Dias, G. D. M. G., Pasqual, M., & Pio, R. (2013). The effects of colchicine on banana stem apex. Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 56(Supl), 129-133. <http://btcc.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/1420>.

- Romero, R. J. (2018). Toxicidad oral aguda del extracto etanólico del fruto de Aguaymanto liofilizado (*Physalis peruviana* L.) En ratones (*Mus musculus*). (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca-Perú. URI: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2987>.
- Silva, P. A. K. X. D. M., Callegari-Jacques, S., & Bodanese-Zanettini, M. H. (2000). Induction and identification of polyploids in *Cattleya intermedia* Lindl.(Orchidaceae) by in vitro techniques. *Ciência Rural*, 30, 105-111. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000100017>.
- Vázquez, J. J. (2017). Respuesta de la calidad física y fisiológica de semillas de sorgo producidas a través de la aplicación de colchicina. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio narro, Saltillo, Coahuila, México. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/42090>.
- Venegas Deheza, D. P. (2017). "Impacto de la agricultura protegida en la economía del estado de México". *Revista internacional con arbitraje indizada*. p.1-20. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2006000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2006000200006).
- Willen, S., Nobre, J. S., Barros, S., De Sousa, M., De Sousa, T., & Nogueira, F. A. (2019). Physiological performance of *Physalis angulata* L. seeds treated with chemical promoters. *Rev. Caatinga*. p.834-840. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n328rc>.