

PESO Y CARACTERES CUANTITATIVOS DE LA CALIDAD EN FRUTOS DE PLANTAS M₁ DE *Physalis peruviana* L. PROVENIENTES DE SEMILLAS IRRADIADAS CON ⁶⁰Co

WEIGHT AND QUANTITATIVE QUALITY CHARACTERS IN FRUITS OF M₁ PLANTS OF *Physalis peruviana* L. FROM SEEDS IRRADIATED WITH ⁶⁰Co

Oscar Martin Antúnez-Ocampo¹, Serafín Cruz-Izquierdo², Manuel Sandoval-Villa^{2*}, Amalio Santacruz-Varela², Leopoldo E. Mendoza-Onofre², Aureliano Peña-Lomelí³, Eulogio De la Cruz-Torres⁴

¹INIFAP, Campo Experimental Iguala. 40000. Km 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México. (antunez.oscar@inifap.gob.mx). ²Genética. Campus Montecillos. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (msandoval@colpos.mx). ³Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa, 52750. Ocoyoacac, México.

RESUMEN

Physalis peruviana L. es originaria de los Andes y su fruto se consume fresco por su contenido de vitaminas y propiedades medicinales. El crecimiento de las plantas de esta especie es heterogéneo, pues tiene mejoramiento genético limitado porque es una especie silvestre. Los mutágenos físicos y químicos aplicados a semillas u órganos para propagación pueden generar variedades nuevas con cambios en morfología, rendimiento, adaptabilidad y resistencia. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la irradiación de la semilla en los caracteres de la calidad del fruto de las plantas M₁ de *Physalis peruviana* L., y se hipotetiza que al menos una dosis de la irradiación en plantas M₁ de uchuva modifica favorablemente los caracteres de calidad de frutos. El estudio se realizó en invernadero con cubierta de plástico UVII-720, de agosto de 2015 a febrero de 2016. Los tratamientos fueron 14 dosis de rayos gamma ⁶⁰Co (0 a 275 Gy) y el diseño experimental fue completamente al azar con seis repeticiones. La radiación redujo de 3 a 32% el peso del fruto con cáliz y de 3 a 29% el peso sin cáliz. La dulzura de los frutos se redujo con dosis mayores a 100 Gy, con excepción de 200 Gy; en contraste, la firmeza aumentó de 1 a 9% con las dosis de 100 y 75 Gy. El tamaño y vida de anaquel del fruto no se afectaron. La irradiación de semillas con rayos gamma ⁶⁰Co altera negativamente el peso y algunas variables de la calidad del fruto de las plantas mutantes de *P. peruviana*.

ABSTRACT

Physalis peruviana L. is native to the Andes and its fruit is consumed fresh for its vitamin content and medicinal properties. The growth of the plants of this species is heterogeneous, as it has limited genetic improvement because it is a wild species. Physical and chemical mutagens applied to seeds or organs for propagation can generate new varieties with changes in morphology, yield, adaptability and resistance. The objective of this research was to determine the effect of seed irradiation on the fruit quality characteristics of M₁ plants of *Physalis peruviana* L., and the hypothesis was that at least one dose of irradiation on M₁ plants of uchuva (cape gooseberry) favorably modifies the fruit quality characteristics. The study was conducted in a greenhouse with UVII-720 plastic cover, from August 2015 to February 2016. The treatments were 14 doses of gamma ⁶⁰Co (0 to 275 Gy) and the experimental design was completely randomized with six replicates. The radiation reduced the weight of the fruit with calyx from 3 to 32% and the weight without calyx from 3 to 29%. Fruit sweetness was reduced at doses greater than 100 Gy, with the exception of 200 Gy; in contrast, firmness increased from 1 to 9% at the 100 and 75 Gy doses. Fruit size and shelf life were not affected. Seed irradiation with ⁶⁰Co gamma rays negatively alters the weight and some variables of the fruit quality of *P. peruviana* mutant plants.

Key words: *Physalis peruviana*, uchuva, quality, mutagenicity, gamma rays, variability.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2019. Aprobado: noviembre, 2019.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 54: 691-703. 2020.

Palabras clave: *Physalis peruviana*, uchuva, calidad, mutagénesis, rayos gamma, variabilidad.

INTRODUCCIÓN

Physalis peruviana L. es originaria de los Andes donde se conoce como uchuva, uvilla, goldenberry o capegooseberry; su fruto es una baya carnosa similar a un tomate pequeño, pero de color amarillo-naranja cuando está maduro (Fischer *et al.*, 2014). En Sudamérica, el fruto de la uchuva se consume fresco o se utiliza para elaborar mermeladas, jugos, dulces, salsas y conservas, mientras que en Estados Unidos el fruto se consume deshidratado y endulzado, por su nivel de fibra dietaria (11 g kg^{-1}) (Pszczola, 2008). Además, el fruto es fuente de provitamina A (3.000 UI de β -caroteno por 100 g), vitamina C (0.2 mg g^{-1} de fruta) y vitaminas del complejo B, como tiamina (0.0001 mg g^{-1}), riboflavina (0.0017 mg g^{-1}) y niacina (0.008 mg g^{-1}), proteína cruda (22 g kg^{-1}), Fe (0.011 mg g^{-1} de peso fresco), P (0.39 mg g^{-1} de peso fresco) y Ca (0.14 mg g^{-1} de peso fresco) (Fischer y Miranda, 2012). Estas propiedades le confieren actividad antioxidante (DPPH): $\mu\text{mol trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco: 201.66 ± 9.78 ; contenido de fenol, mg de ácido gálico 100 g^{-1} de peso fresco: 39.8 ± 3.18 ; FRAP, mg de ácido ascórbico 100 g^{-1} de peso fresco: 55.75 ± 4.24 (Puente *et al.*, 2011); anti-inflamatoria y anticancerígena; asimismo, contiene ácidos grasos poli-insaturados y fitoesteroles (Puente *et al.*, 2011; Fischer *et al.*, 2014).

Las plantas de uchuva ecotipo Colombia presentan gran variación fenotípica porque 46% de las flores se autopolinizan (Lagos *et al.*, 2008) y en las demás flores ocurre polinización libre (alogamia) (Santana y Angarita, 1997); además, las condiciones ambientales y manejo del cultivo afectan su crecimiento, morfología y rendimiento (Mazorra *et al.*, 2006). Tal es el caso del porte de la planta, que alcanza alturas mayores de 1.5 m y con gran número de ramificaciones, requiriendo de tutores para no afectar el tamaño, forma, sabor y madurez de los frutos. Al respecto, en Colombia y Nueva Zelanda los productores de esta especie seleccionan las mejores plantas (plantas de porte bajo, compactas, frutos de mayor tamaño, peso y dulzura) dentro de la población y las propagan vegetativamente mediante estacas para conservar sus características (López *et al.*, 2008). Por tal motivo, se requiere realizar un programa de mejoramiento genético

INTRODUCTION

Physalis peruviana L. is native to the Andes, where it is known as uchuva, uvilla, goldenberry, or cape gooseberry; its fruit is a fleshy berry similar to a small tomato, but yellow-orange in color when ripe (Fischer *et al.*, 2014). In South America, the uchuva fruit is consumed fresh or for the making of jams, juices, candies, sauces and preserves, while in the United States the fruit is consumed dehydrated and sweetened, because of its dietary fiber level (11 g kg^{-1}) (Pszczola, 2008). In addition, the fruit is a source of provitamin A (3,000 IU of β -carotene per 100 g), vitamin C (0.2 mg g^{-1} fruit) and B-complex vitamins such as thiamin (0.0001 mg g^{-1}), riboflavin (0.0017 mg g^{-1}) and niacin (0.008 mg g^{-1}), crude protein (22 g kg^{-1}), Fe (0.011 mg g^{-1} fresh weight), P (0.39 mg g^{-1} fresh weight) and Ca (0.14 mg g^{-1} fresh weight) (Fischer and Miranda, 2012). These properties confer antioxidant activity (DPPH): $\mu\text{mol trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ fresh weight: 201.66 ± 9.78 ; phenol content, mg gallic acid 100 g^{-1} fresh weight: 39.8 ± 3.18 ; FRAP, mg ascorbic acid 100 g^{-1} fresh weight: 55.75 ± 4.24 (Puente *et al.*, 2011); anti-inflammatory and anti-cancer; likewise, it also contains polyunsaturated fatty acids and phytosterols (Puente *et al.*, 2011; Fischer *et al.*, 2014).

Colombia ecotype uchuva plants present great phenotypic variation because 46% of the flowers are self-pollinating (Lagos *et al.*, 2008) and free pollination occurs in the rest of the flowers (alogamy) (Santana and Angarita, 1997); in addition, environmental conditions and crop management affect its growth, morphology and yield (Mazorra *et al.*, 2006). Such is the case of the plant's growth habit, which reaches heights greater than 1.5 m and with a great number of ramifications, requiring tutoring stakes so as not to affect size, shape, flavor and ripeness of the fruits. In this regard, producers of this species in Colombia and New Zealand select the best plants (low growth habit plants, compact, larger fruits, weight and sweetness) within the population and propagate them vegetatively by means of stakes to preserve their characteristics (López *et al.*, 2008). For this reason, a genetic improvement program is required for this species because no varieties were identified with uniform and outstanding characteristics in both vegetative growth and fruit quality, since it is considered a wild species (Fischer *et al.*, 2014).

en esta especie debido a que no se han identificado variedades con características uniformes y sobresalientes tanto en crecimiento vegetativo y calidad de fruto, pues se considera una especie silvestre (Fischer *et al.*, 2014).

El mejoramiento genético por mutagénesis permite generar nuevas combinaciones genéticas a partir de genes parentales ya existentes; es decir, se recombinan o reorganizan los genes con alta frecuencia de mutación; sin embargo, estas mutaciones pueden ser positivas o negativas en los cultivos de valor económico alto (Majeed *et al.*, 2017). El mutágeno físico más utilizado en la agricultura es la radiación ionizante porque es económica, rápida y eficaz para inducir mutaciones dentro de una población o para aumentar la diversidad genética de los cultivos y obtener variedades nuevas con mayor rendimiento, adaptabilidad y resistentes a plagas y enfermedades (Ahloowalia y Maluszynski, 2001; Oladosu *et al.*, 2016). En particular, los rayos gamma ^{60}Co son los más utilizados para irradiar plantas enteras, tejido vegetal, semillas y granos de polen, pero son altamente peligrosos para el material vegetal: daños al DNA, altera o interrumpe procesos fisiológicos, bioquímicos, síntesis de proteínas equilibrio hormonal, intercambio de gases y agua, y la actividad enzimática, así como malformaciones de tejidos o muerte celular (Oladosu *et al.*, 2016). La importancia de los rayos gamma ^{60}Co en el mejoramiento genético es su influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas, al causar inestabilidad genómica de células y tejidos, pues ocasionan rompimientos y variaciones en la composición química del ADN, lo que origina cambios citológicos, bioquímicos, fisiológicos y morfológicos mediante la producción de radicales libres en las células (Kim *et al.*, 2004). Los cambios dependerán de la fuerza (dosis) y la duración del estrés inducido por la radiación (Lagoda, 2011), además de las características del material vegetal como el contenido de agua, edad, tipo de tejido y número cromosómico (Lagoda, 2011). Con dosis bajas, los cambios observados en las plantas son reversibles, mientras que las dosis altas generan efectos secundarios en el fenotipo de la planta, orgánulos celulares (mitocondria y cloroplastos) y componentes bioquímicos (Ali *et al.*, 2015); además, inactivan el mecanismo de defensa de las plantas para enfrentar el daño causado por la radiación. Estas consecuencias biológicas pueden aparecer en varias etapas del desarrollo del individuo como división celular

Genetic improvement by mutagenesis makes it possible to generate new genetic combinations from existing parental genes, that is, genes with a high mutation frequency are recombined or rearranged; however, these mutations can be positive or negative in crops of high economic value (Majeed *et al.*, 2017). The most widely used physical mutagen in agriculture is ionizing radiation because it is cheap, fast and effective in inducing mutations within a population or in increasing the genetic diversity of cultures to obtain new varieties with higher yields, adaptability and resistance to pests and diseases (Ahloowalia and Maluszynski, 2001; Oladosu *et al.*, 2016). In particular, ^{60}Co gamma rays are the most widely used to irradiate whole plants, plant tissue, seeds and pollen grains, but are highly dangerous to plant material: they damage DNA, alter or interrupt physiological and biochemical processes, protein synthesis, hormonal balance, gas and water exchange, and enzymatic activity, as well as tissue malformations or cell death (Oladosu *et al.*, 2016). The importance of ^{60}Co gamma rays in plant breeding is their influence on plant growth and development, by causing genomic instability of cells and tissues, as they cause breaks and variations in the chemical composition of DNA, which result in cytological, biochemical, physiological and morphological changes through the production of free radicals in cells (Kim *et al.*, 2004). The changes will depend on the strength (dose) and duration of radiation-induced stress (Lagoda, 2011), as well as the characteristics of the plant material such as water content, age, tissue type and chromosome number (Lagoda, 2011). At low doses, the changes observed in plants are reversible, while high doses generate side effects on plant phenotype, cell organelles (mitochondria and chloroplasts) and biochemical components (Ali *et al.*, 2015); furthermore, they inactivate the defense mechanism of plants to cope with radiation damage. These biological consequences can appear at various stages of individual development as abnormal cell division, cell death, mutation, lack or failure of tissues and organs and reduced plant growth (Lagoda, 2011).

Research on mutation induction has focused on reducing plant growth habit, shortening flowering time, inducing changes in flower color, and increasing protein, oil, and starch content of cereal and vegetable fruits (e.g., wheat, corn, rice, soybeans, tomatoes);

anormal, muerte celular, mutación, falta o fallas de tejidos y órganos y reducción del crecimiento de la planta (Lagoda, 2011).

Las investigaciones en inducción de mutaciones se han enfocado en reducir el porte de la planta, acortar el tiempo a floración, inducir cambios en el color de la flor y aumentar contenido de proteína, aceite y almidón de fruto de cereales y hortalizas (*i.e.*, trigo, maíz, arroz, soya, jitomate); además, para alterar la autocompatibilidad de especies (Ahloowalia y Maluszynski, 2001). Aunque la radiación induce distintos cambios morfológicos y fisiológicos positivos en los cultivos, su aplicación en la agricultura es limitada por la escasa información en la selección de las dosis óptimas de irradiación y el tipo de agente mutagénico, ya que los efectos difieren entre cultivos y entre dosis (Ali *et al.*, 2015). Además, hay poco interés por los fitomejoradores para realizar investigaciones sobre la radiosensibilidad de las especies debido al tiempo requerido para estabilizar una mutación de interés; otro aspecto importante es la especulación en la salud humana (enfermedades cancerígenas) por el uso de las fuentes de radiación en los centros nucleares.

El objetivo de este estudio fue evaluar el peso y los caracteres de calidad del fruto (tamaño, dulzura y vida de anaquel) de plantas M_1 de *P. peruviana* provenientes de semillas irradiadas con rayos gamma ^{60}Co . La hipótesis fue que al menos una de las dosis de irradiación aplicadas en las semillas de uchuva, origina plantas M_1 con frutos sobresalientes en peso y calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento utilizó semillas de uchuva del ecotipo Colombia con dos años de edad, las cuales se irradiaron en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), en el Estado de México, en un irradiador LGI-01 Transelektro. Los tratamientos de irradiación fueron 0, 5, 10, 20, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250 y 275 Gy de rayos gamma ^{60}Co en 5 g de semilla (aproximadamente, 2550 semillas) para cada tratamiento. Las semillas se sembraron en agosto de 2015, en charolas de poliestireno con turba como sustrato y se regaron con agua de llave, con pH 7.6 y conductividad de 0.5 dS m^{-1} . Para más información de las semillas irradiadas, los resultados están publicados en el artículo: Variabilidad inducida en caracteres fisiológicos de *Physalis peruviana* L. mediante rayos gamma ^{60}Co aplicados a la semilla. Revista Fitotecnia Mexicana 40: 211-218.

A los 60 d después de la siembra, se seleccionaron seis plántulas M_1 (las más vigorosas) por cada dosis y se establecieron en un

in addition, to alter species self-compatibility (Ahloowalia and Maluszynski, 2001). Although radiation induces various positive morphological and physiological changes in cultures, its application in agriculture is limited by the narrowed information on the selection of optimal irradiation doses and the type of mutagenic agent, as the effects differ between cultures and between doses (Ali *et al.*, 2015). Besides, there is little interest by plant breeders to conduct research on the radiosensitivity of species due to the time required to stabilize a mutation of interest. Another important aspect is speculation on human health (cancer diseases) from the use of radiation sources in nuclear centers.

The objective of this study was to evaluate the weight and fruit quality characteristics (size, sweetness and shelf life) of M_1 plants of *P. peruviana* from seeds irradiated with ^{60}Co gamma rays. The hypothesis was that at least one of the irradiation doses applied to the uchuva seeds, results in M_1 plants with outstanding fruit weight and quality.

MATERIALS AND METHODS

The experiment used two-year-old uchuva seeds of the Colombia ecotype, which were irradiated at the Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), in the State of Mexico, on an LGI-01 Transelektro irradiator. The irradiation treatments were 0, 5, 10, 20, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250 and 275 Gy of ^{60}Co gamma rays on 5 g of seed (approximately 2550 seeds) for each treatment. The seeds were sown in August 2015, in polystyrene trays with peat as substrate and watered with tap water, with pH 7.6 and a conductivity of 0.5 dS m^{-1} . For more information on the irradiated seeds, the results are published in the article: Induced variability in physiological characteristics of *Physalis peruviana* L. by means of ^{60}Co gamma rays applied to the seed. Fitotecnia Mexicana Magazine 40: 211-218.

At 60 d after planting, six M_1 seedlings (the most vigorous) were selected for each dose and established in a tunnel-type greenhouse, with UVII-720 polyethylene cover and galvanized steel structure with lateral ventilation, located at the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, State of Mexico. The experimental design was completely randomized with 14 radiation treatments (0 to 275 Gy), with six replicates, and the experimental unit was an M_1 plant grown in a black polyethylene bag with 9 L capacity, with tezontle (volcanic rock) as substrate. The characteristics of the tezontle were 1 to 10 mm granulometry, average bulk density 0.82 g cm^{-3} , 50% total porosity, 45% aeration porosity, 5.42% readily available water, no cation exchange capacity, and near-zero electrical

invernadero tipo túnel, con cubierta de polietileno UVII-720 y estructura de acero galvanizado, con ventilación lateral, ubicado en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México. El diseño experimental fue completamente al azar con 14 tratamientos de radiación (0 a 275 Gy), con seis repeticiones, y la unidad experimental fue una planta M_1 cultivada en una bolsa negra de polietileno con capacidad de 9 L, con tezontle como sustrato. Las características del tezontle fueron granulometría de 1 a 10 mm, densidad aparente promedio de 0.82 g cm^{-3} , 50% de porosidad total, 45% de porosidad de aireación, 5.42% de agua fácilmente disponible, sin capacidad de intercambio de cationes y conductividad eléctrica cercana a cero (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2011). Las plántulas se mantuvieron en posición vertical mediante tutoreo, para lo cual se usó rafia colocada a lo largo de las hileras y sujeta a postes de madera en los extremos de las mismas. La solución nutritiva fue solución universal propuesta por Steiner (1984), al 50% de su fuerza iónica original con un pH ajustado a 6.0 (Gastelum *et al.*, 2013). Las condiciones ambientales que prevalecieron desde octubre de 2015 a febrero de 2016 (mes en que concluyó el experimento) fueron: intensidad luminosa (promedio), $652.21 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; temperatura máxima 37°C y mínima 4°C .

En cinco frutos cosechados (170 d del trasplante) y obtenidos al azar por planta (5 frutos $\times$ 5 repeticiones = 30 frutos) se determinó: el peso con y sin cáliz (g), en una báscula digital, el diámetro (mm) ecuatorial y polar (de la base del pedúnculo al ápice), con un vernier digital, la concentración de sólidos solubles totales ($^\circ\text{Brix}$) con un refractómetro digital en una gota de jugo, la firmeza ($\text{kg} \times \text{fuerza}$) con un penetrómetro en la parte central del fruto y la vida de anaquel (días transcurridos hasta la pérdida de turgencia del epicarpio del fruto). Por cada variable se obtuvo un promedio de los cinco frutos muestreados.

El análisis de varianza y la comparación de medias de los tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$) se realizaron con el programa estadístico SAS (SAS, 2002) versión 9.1. Además, se registró el valor mínimo (VMín) y máximo (VMáx) de cada variable, con base en los datos de los 30 frutos evaluados de cada dosis de radiación, para identificar y seleccionar individuos idóneos que se avanzarán y evaluarán en la generación M_2 . Los resultados obtenidos en esta generación (M_1) pueden no expresarse en la siguiente generación M_2 (estabilización de las mutaciones obtenidas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso del fruto con y sin cáliz

La radiación gamma tuvo un efecto significativo en el peso del fruto con y sin cáliz de las plantas M_1 de *P. peruviana* L. ($p \leq 0.05$) (Figura 1). Sin embargo, el efecto de las dosis de irradiación no siguió

conductivity (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2011). The seedlings were kept in an upright position by means of tutoring, using raffia placed along the rows and attached to wooden posts at their ends. The nutrient solution was a universal solution proposed by Steiner (1984), at 50% of its original ionic strength with a pH adjusted to 6.0 (Gastelum *et al.*, 2013). The environmental conditions that prevailed from October 2015 to February 2016 (month in which the experiment was concluded) were light intensity (average), $652.21 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; maximum temperature 37°C and minimum 4°C .

In five fruits harvested 170 d since transplant and randomly obtained per plant (5 fruits $\times$ 5 replications = 30 fruits) the following variables were determined: the weight with and without calyx (g) on a digital scale, the equatorial and polar diameter (mm) (from the base of the stalk to the apex) with a digital vernier, the total soluble solids concentration ($^\circ\text{Brix}$) with a digital refractometer in a drop of juice, the firmness ($\text{kg} \times \text{strength}$) and the shelf life (days until the loss of turgidity of the fruit epicarp) with a penetrometer in the central part of the fruit. For each variable an average of the five fruits sampled was obtained.

The analysis of variance and the comparison of treatment means (Tukey, $p \leq 0.05$) were carried out with the SAS statistical program (SAS, 2002) version 9.1. In addition, the minimum (VMín.) and maximum (VMáx.) values of each variable were recorded, based on the data of the 30 fruits evaluated for each radiation dose, in order to identify and select suitable individuals to be advanced and evaluated in the M_2 generation. The results obtained in this generation (M_1) may not be expressed in the next generation M_2 (stabilization of the mutations obtained).

RESULTS AND DISCUSSION

Weight of fruit with and without calyx

Gamma radiation had a significant effect on the weight of the fruit with and without calyx of M_1 plants of *P. peruviana* L. ($p \leq 0.05$) (Figure 1). However, the effect of the irradiation doses did not follow a linear trend in the weight of the fruit with and without calyx, thus plants from seeds irradiated with 5, 20, 50, 150, 225, 250 and 275 Gy produced less heavy fruit than the other radiation doses (10, 75, 100, 125, 175 and 200 Gy) and the control (Figure 1).

The results of this research are a contribution to the knowledge of radiation and its effect on plants, because they cannot be compared with those obtained in other researches as they differ in the culture and mutagen used. Thus, Alvarez *et al.* (2013) observed

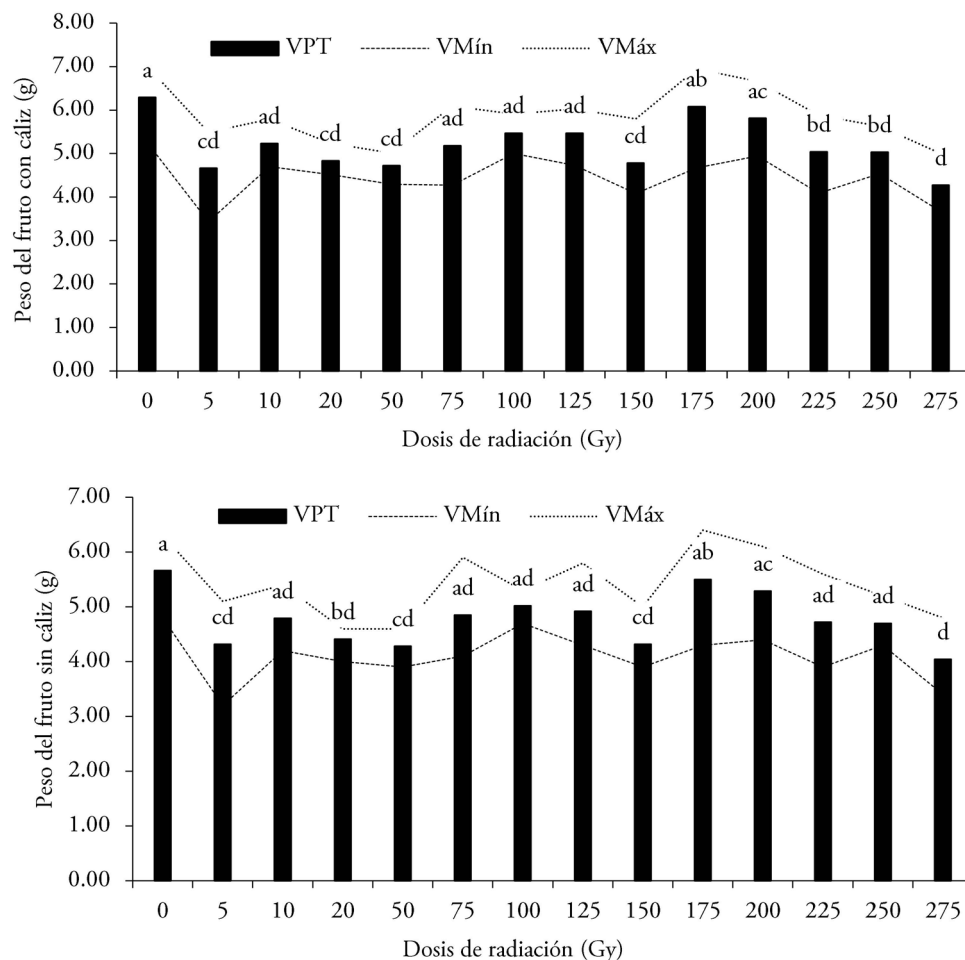


Figura 1. Peso del fruto con (pc) y sin cáliz (ps) de plantas M_1 de *Physalis peruviana* L. provenientes de semillas irradiadas con 14 dosis de rayos gamma ^{60}Co . VPT = valor promedio Tukey de seis repeticiones. VMín = valor mínimo de 30 de frutos por dosis y VMáx = valor máximo de 30 frutos por dosis. Valores VPT con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS (pc) = 1.21, C. V. pc (%) = 11.62; DMS (ps) = 1.14, C. V. ps (%) = 11.85.

Figure 1. Weight of fruit with (pc) and without calyx (ps) from M_1 plants of *Physalis peruviana* L. from seeds irradiated with 14 gamma doses ^{60}Co . VPT = Tukey average value of six repetitions. VMín = minimum value of 30 fruits per dose and VMáx = maximum value of 30 fruits per dose. VPT values with different letters indicate statistical difference Tukey, $p \leq 0.05$. DMS (pc) = 1.21, C. V. pc (%) = 11.62; DMS (ps) = 1.14, C. V. ps (%) = 11.85.

una tendencia lineal en el peso del fruto con y sin cáliz, por lo cual las plantas provenientes de semillas irradiadas con 5, 20, 50, 150, 225, 250 y 275 Gy produjeron frutos menos pesados que las otras dosis de radiación (10, 75, 100, 125, 175 y 200 Gy) y el testigo (Figura 1).

Los resultados de esta investigación son un aporte al conocimiento de la radiación y su efecto en las plantas, porque no se pueden comparar con los obtenidos en otras investigaciones pues difieren en el cultivo y mutágeno utilizado. Así, Álvarez *et al.* (2013) observaron que la radiación estimuló el peso del fruto (33.3 a 35.7 g) en las plantas M_1 de pimiento

that radiation stimulated the weight of the fruit (33.3 to 35.7 g) in M_1 pepper plants (*Capsicum annuum* L.) from seeds irradiated with 5 to 30 Gy X-rays. The dose of 5 Gy was higher by 16 and 107% in both characters, with respect to the control (1.53 kg and 30.8 g, respectively). Similarly, irradiation with physical mutagens (gamma and X-rays) to seeds of different vegetables generates an increase of more than 20% in yield and its components (Ramírez *et al.*, 2000).

The stimulating effect of gamma rays on culture yield components is directly related to the increase in the intensity of plant photosynthesis and

(*Capsicum annuum* L.) provenientes de semillas irradiadas con 5 a 30 Gy de rayos X. La dosis de 5 Gy fue superior en 16 y 107% en ambos caracteres, respecto al testigo (1.53 kg y 30.8 g, respectivamente). De manera similar, la irradiación con mutágenos físicos (rayos gamma y X) a semillas de distintas hortalizas genera un incremento mayor a 20% en el rendimiento y sus componentes (Ramírez *et al.*, 2000).

El efecto estimulante de los rayos gamma en los componentes del rendimiento de los cultivos tiene relación directa con el aumento de la intensidad de la fotosíntesis y transpiración de las plantas (Wilczek y Fordonski, 2007), pero las consecuencias son disminución del área foliar y el rendimiento (más del 50%) de las plantas (Jan *et al.*, 2012). Según Bondada y Oosterhuis (2003), al disminuir el área foliar también se altera el fraccionamiento de carbono y reduce la biomasa de toda la planta, debido al daño causado en las células responsables del transporte de los carbohidratos en el floema, que son más sensibles que las otras células de la planta (Thiede *et al.*, 1995). Además, se puede deber a la desorientación y daños a los tilacoides o alteración en la acumulación de almidón por efecto de las dosis altas de radiación; en contraste, las dosis bajas no causan estos cambios en los cloroplastos de las células de las plantas (Wi *et al.*, 2007).

Diámetro ecuatorial y polar del fruto

El análisis de varianza no detectó diferencias significativas ($p > 0.05$) en el diámetro ecuatorial y polar del fruto de plantas M₁ de *P. peruviana* L. no irradiadas e irradiadas con rayos gamma ⁶⁰Co (Figura 2). A pesar de que no hubo diferencias entre las dosis, los frutos tienen el tamaño comercial (12.5 a 25.0 mm) (Fischer y Miranda, 2012). Una planta proveniente de las semillas irradiadas con 50 Gy, produjo frutos con mayor diámetro polar y se podría seleccionar para evaluaciones futuras, así como su heredabilidad (Figura 2).

Los resultados obtenidos en estas características pueden deberse a que las dosis de radiación solo provocan un estrés (oxidativo) durante el crecimiento y desarrollo de las plantas M₁, lo cual ocasiona reducción del crecimiento y cambios morfológicos cuantificables que posteriormente son reversibles (Lagoda, 2011).

Álvarez *et al.* (2013) observaron que las dosis de 5 a 30 Gy aumentaron de 12 a 58% el diámetro polar del fruto de *C. annuum* L.; la dosis de 20 Gy

transpiración (Wilczek and Fordonski, 2007), but the consequences are a decrease in leaf area and yield (more than 50%) of the plants (Jan *et al.*, 2012). According to Bondada and Oosterhuis (2003), a decrease in leaf area also alters the fractionation of carbon and reduces the biomass of the entire plant, due to damage caused to the cells responsible for transporting carbohydrates in the phloem, which are more sensitive than the other cells of the plant (Thiede *et al.*, 1995). In addition, it may be due to disorientation and damage to the thylakoids or alteration in starch accumulation from the effect of high doses of radiation; in contrast, low doses do not cause these changes in the chloroplasts of the plant cells (Wi *et al.*, 2007).

Equatorial and polar diameter of the fruit

In M₁ plants of *P. peruviana* L. the analysis of variance did not detect significant differences ($p > 0.05$) in the equatorial and polar diameter of the fruit of non-irradiated and irradiated seeds with ⁶⁰Co gamma rays (Figure 2). Although there were no differences between the doses, the fruits have the commercial size (12.5 to 25.0 mm) (Fischer and Miranda, 2012). A plant from the seeds irradiated with 50 Gy produced fruit with a larger polar diameter and could be selected for future evaluations, as well as its heritability (Figure 2).

The results obtained in these characteristics may be due to the fact that radiation doses only cause (oxidative) stress during the growth and development of the M₁ plants, resulting in reduced growth and quantifiable morphological changes that are subsequently reversible (Lagoda, 2011).

Álvarez *et al.* (2013) observed that doses of 5 to 30 Gy increased the polar diameter of the *C. annuum* L. fruit from 12 to 58%; the 20 Gy dose stimulated the equatorial diameter by 47%. These positive results may be due to the fact that irradiation influences enzyme activity by increasing the conversion rate of respiratory substrates into small molecules from which new cellular constituents are formed (Chen *et al.*, 2005); furthermore, it stimulates the transport, sensitivity and composition of endogenous growth hormones. In this sense, the mentioned changes in the metabolism favor a greater energetic redistribution and it is reflected in an increment in quality of the fruits of the cultures (Bai-Lingyu *et al.*, 1996); however, each vegetable species presents different alterations due to the radiation.

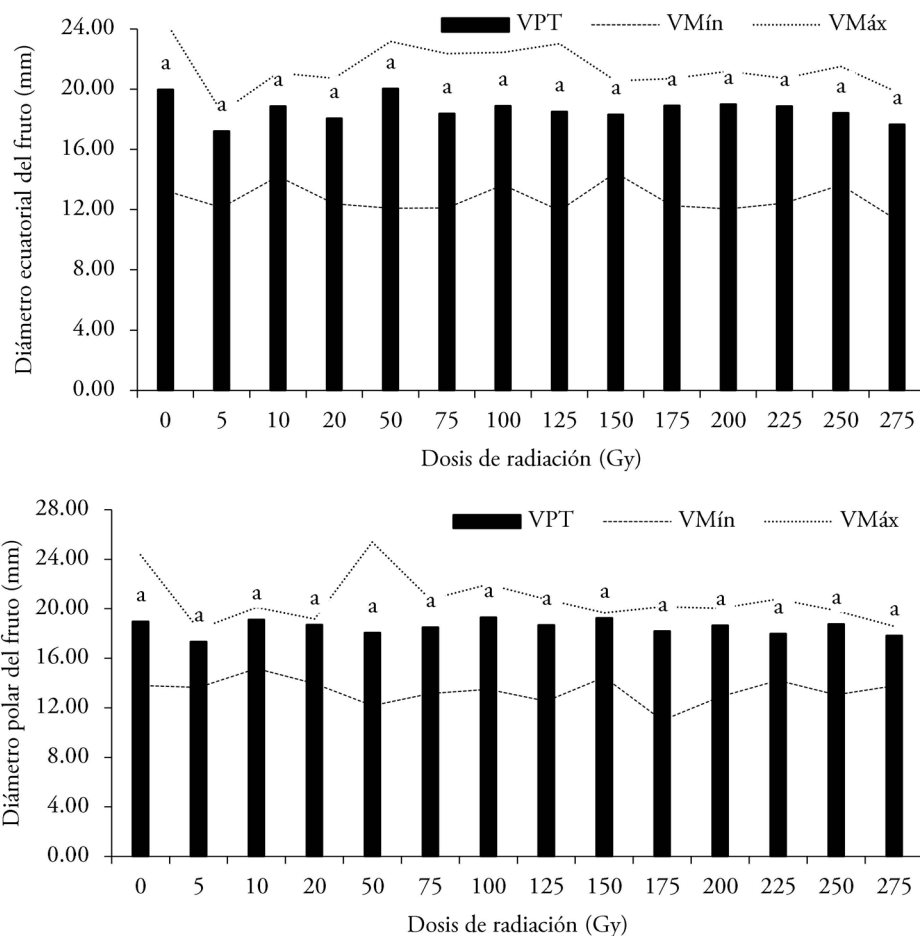


Figura 2. Diámetro ecuatorial (de) y polar (dp) del fruto de plantas M_1 de *Physalis peruviana* L. provenientes de semillas irradiadas con 14 dosis de rayos gamma ^{60}Co . VPT = valor promedio Tukey de seis repeticiones. VMín = valor mínimo de 30 de frutos por dosis y VMáx = valor máximo de 30 frutos por dosis. Valores VPT con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS (de) = 6.74, C. V. de (%) = 15.68; DMS (dp) = 5.87, C. V. dp (%) = 18.13.

Figure 2. Equatorial (de) and polar (dp) diameter of the fruit of M_1 plants of *Physalis peruviana* L. from seeds irradiated with 14 gamma ray doses ^{60}Co . VPT = Tukey average value of six repetitions. VMín = minimum value of 30 fruits per dose and VMáx = maximum value of 30 fruits per dose. VPT values with different letters indicate statistical difference (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS (de) = 6.74, C.V. de (%) = 15.68; DMS (dp) = 5.87, C.V. (dp) (%) = 18.13.

estimuló en 47% el diámetro ecuatorial. Estos resultados positivos pueden deberse a que la irradiación influye en la actividad de las enzimas porque aumenta la velocidad de conversión de los sustratos respiratorios en pequeñas moléculas a partir de las cuales se forman los nuevos constituyentes celulares (Chen *et al.*, 2005); además, estimula el transporte, sensibilidad y composición de las hormonas endógenas del crecimiento. En este sentido, los cambios mencionados en el metabolismo favorecen a una mayor redistribución energética y se refleja en un incremento de la calidad de los frutos de los cultivos (Bai-Lingyu *et*

Concentration of total soluble solids

Fruits of plants from non-irradiated seeds and irradiated with the doses of 5, 10, 75, 100 and 200 Gy were different ($p \leq 0.05$), except fruits of plants from irradiated seeds with the doses of 150 and 250 Gy that had a concentration lower than 14 °Brix (Figure 3). In addition, it is important to note that outstanding M_1 individuals were identified from the seed irradiated with 10 and 200 Gy (Figure 3). The fruits are in the commercialization range (13 to 15 °Brix) of the uchuva fruit (Herrera, 2000). Moreno

et al., 1996); sin embargo, cada especie vegetal presenta alteraciones diferentes por la radiación.

Concentración de sólidos solubles totales

Los frutos de las plantas provenientes de semillas no irradiadas e irradiadas con las dosis de 5, 10, 75, 100 y 200 Gy fueron diferentes ($p \leq 0.05$), excepto los frutos de las plantas de semillas irradiadas con las dosis de 150 y 250 Gy que tuvieron una concentración menor a 14 °Brix (Figura 3). Además, es importante resaltar que se identificaron individuos M_1 sobresalientes, de las semillas irradiadas con 10 y 200 Gy (Figura 3). Los frutos están en el rango (13 a 15 °Brix) de comercialización del fruto de uchuva (Herrera, 2000). Moreno *et al.* (2007) reportaron que la radiación afectó de manera desigual el contenido de agua, acidez, carotenos, vitamina C, proteína y grasas de los frutos; en cambio, Ramírez *et al.* (2000) indicaron estos efectos irregulares en los componentes de calidad de semillas de diversos cultivos de hortalizas y cereales.

et al. (2007) reported that the radiation unevenly affected the water, acidity, carotenos, vitamin C, protein and fat content of the fruits; however, Ramírez *et al.* (2000) indicated these irregular effects on the seed quality components of various vegetable and cereal cultures.

The biological consequences of radiation are due to the amount of free radicals generated in the cells, as they cause changes in the DNA chains (Kovács and Keresztes, 2002). These radicals can damage or modify important components of plant cells and change the anatomy, morphology, biochemistry and physiology of the plants, and influence the yield and quality of the harvest, but the effect will depend on the radiation dose (Wi *et al.*, 2007). The changes originate in the cell structure and metabolism of the plant (Kovács and Keresztes, 2002) such as dilation of the thylakoid membranes, alteration in photosynthesis, modulation of the antioxidant system and accumulation of phenolic compounds in the plant organs (Wi *et al.*, 2005).

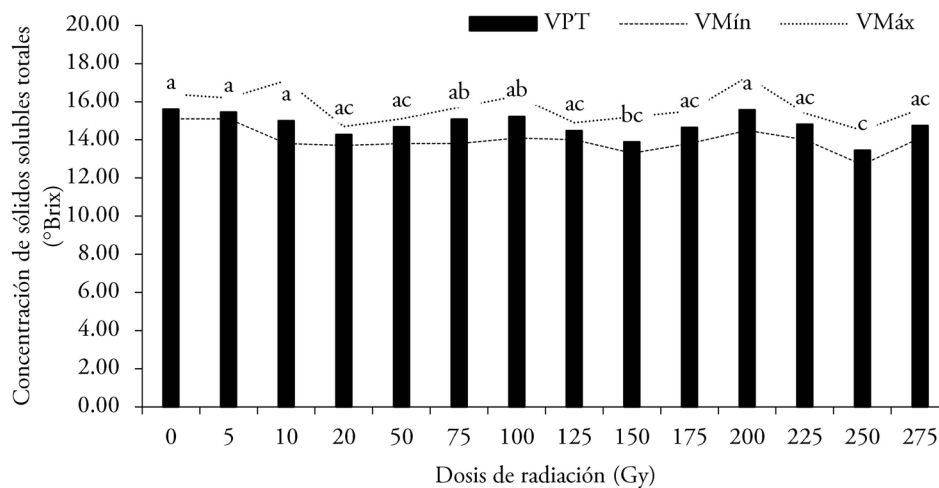


Figura 3. Concentración de sólidos solubles totales (°Brix) del fruto de plantas M_1 de *Physalis peruviana* L. provenientes de semillas irradiadas con 14 dosis de rayos gamma ^{60}Co . VPT = valor promedio Tukey de seis repeticiones. VMín = valor mínimo de 30 de frutos por dosis y VMáx = valor máximo de 30 frutos por dosis. Valores VPT con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS = 1.43, C. V. (%) = 4.83.

Figure 3. Total soluble solids concentration (°Brix) of the fruit of *Physalis peruviana* L. M_1 plants from irradiated seeds with fourteen ^{60}Co gamma ray doses. VPT = Tukey average value of six repetitions. VMín = minimum value of 30 fruits per dose and VMáx = maximum value of 30 fruits per dose. VPT values with different letters indicate statistical difference (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS = 1.43, C. V. (%) = 4.83.

Las consecuencias biológicas que provoca la radiación se deben a la cantidad de radicales libres que se generan en las células, pues ocasionan cambios en las cadenas de ADN (Kovács y Keresztes, 2002). Estos radicales pueden dañar o modificar componentes importantes de las células vegetales y cambiar la anatomía, morfología, bioquímica y fisiología de las plantas, e influyen en el rendimiento y calidad de la cosecha, pero el efecto estará en función de la dosis de radiación (Wi *et al.*, 2007). Los cambios se originan en la estructura celular y el metabolismo de la planta (Kovács y Keresztes, 2002) como la dilatación de las membranas de los tilacoides, alteración en la fotosíntesis, modulación del sistema antioxidante y acumulación de compuestos fenólicos en los órganos de la planta (Wi *et al.*, 2005).

Firmeza y vida de anaquel del fruto

La irradiación de semillas con rayos gamma ^{60}Co afectó ($p \leq 0.05$) la firmeza (Figura 4), pero no la vida de anaquel de los frutos de plantas M_1 de *P. peruviana* L. Las plantas provenientes de semillas irradiadas con 10, 75, 100 y 150 Gy presentaron frutos con una firmeza mayor a 1.60 kg*fuerza; asimismo, las plantas testigo. Las otras plantas M_1 presentaron frutos de menor consistencia (1.50 kg*fuerza) (Figura 4). Además, se identificaron plantas M_1 sobresalientes en esta característica con las dosis de 50, 75, 100 y 275 Gy (Figura 4).

El ablandamiento de los frutos de las plantas provenientes de semillas irradiadas con 20 y 225 Gy puede deberse a la rápida despolimerización de los polisacáridos de la pared celular y a los cambios en las sustancias pécticas, la celulosa, hemicelulosa y enzimas pécticas. Además, se suma la hidrólisis de los poligalacturónidos y celulosa en fracciones de menor peso molecular, así como la pérdida de turgencia por el rompimiento de membranas celulares que también contribuyen al ablandamiento (Prakash *et al.*, 2000; Prakash y Foley, 2004).

En diversas hortalizas (*i.e.*, tomate, chile), las semillas irradiadas originaron plantas M_1 con caracteres distintos de calidad de fruto, como la textura y el aroma (Moreno *et al.*, 2007). Y los cambios ocasionados por la irradiación difieren por la intensidad de la dosis, el tipo de variedad o genotipo, nutrición y las condiciones ambientales prevalecientes durante el crecimiento de las plantas mutantes (M_1) (Álvarez *et al.*, 2011).

Firmness and shelf life of the fruit

Seed irradiation with ^{60}Co gamma rays affected ($p \leq 0.05$) the firmness (Figure 4), but not the shelf life of fruits from M_1 plants of *P. peruviana* L. Plants from seeds irradiated with 10, 75, 100 and 150 Gy showed fruits with a firmness higher than 1.60 kg*strength and the control plants likewise. The other M_1 plants presented fruits with less consistency (1.50 kg*strength) (Figure 4). In addition, M_1 plants were identified as outstanding with the doses of 50, 75, 100 and 275 Gy (Figure 4) in this characteristic.

Softening of plant fruits from 20 and 225 Gy irradiated seeds may be due to rapid depolymerization of cell wall polysaccharides and changes in pectic substances, cellulose, hemicellulose and pectic enzymes. In addition, there is the hydrolysis of polygalacturonases and cellulose into lower molecular weight fractions, as well as the loss of turgor from the breaking of cell membranes which also contributes to softening (Prakash *et al.*, 2000; Prakash and Foley, 2004).

In several vegetables (*e.g.*, tomato, chili), the irradiated seeds gave rise to M_1 plants with different fruit quality characteristics, such as texture and aroma (Moreno *et al.*, 2007). And changes caused by irradiation differ by dose intensity, type of variety or genotype, nutrition, and environmental conditions prevailing during the growth of the mutant plants (M_1) (Álvarez *et al.*, 2011).

The shelf life of *P. peruviana* fruit did not show significant differences (Figure 4) due to gamma rays, since M_1 plants from irradiated and non-irradiated seeds produced fruit with post-harvest life between 10 and 11 d ($p > 0.05$) long. The fruit is climacteric because as time goes by, the production of ethylene increases and its conservation is reduced (Trinchero *et al.*, 1999). As mentioned before, the effect of radiation will depend on the species; thus, Kosma *et al.* (2010) reported that the fruits of *Solanum lycopersicum* from mutant plants had a shorter shelf life than the fruits of control plants.

Ahuja *et al.* (2014) noted that there is no proper understanding of the effect of radiation on fruit quality parameters because there is little research. Furthermore, the available data are scattered and inconclusive, since at the plant level the effects are visible in morphological, biochemical, physiological, and biophysical changes, in which the magnitude of the change will depend largely on the radiation dose,

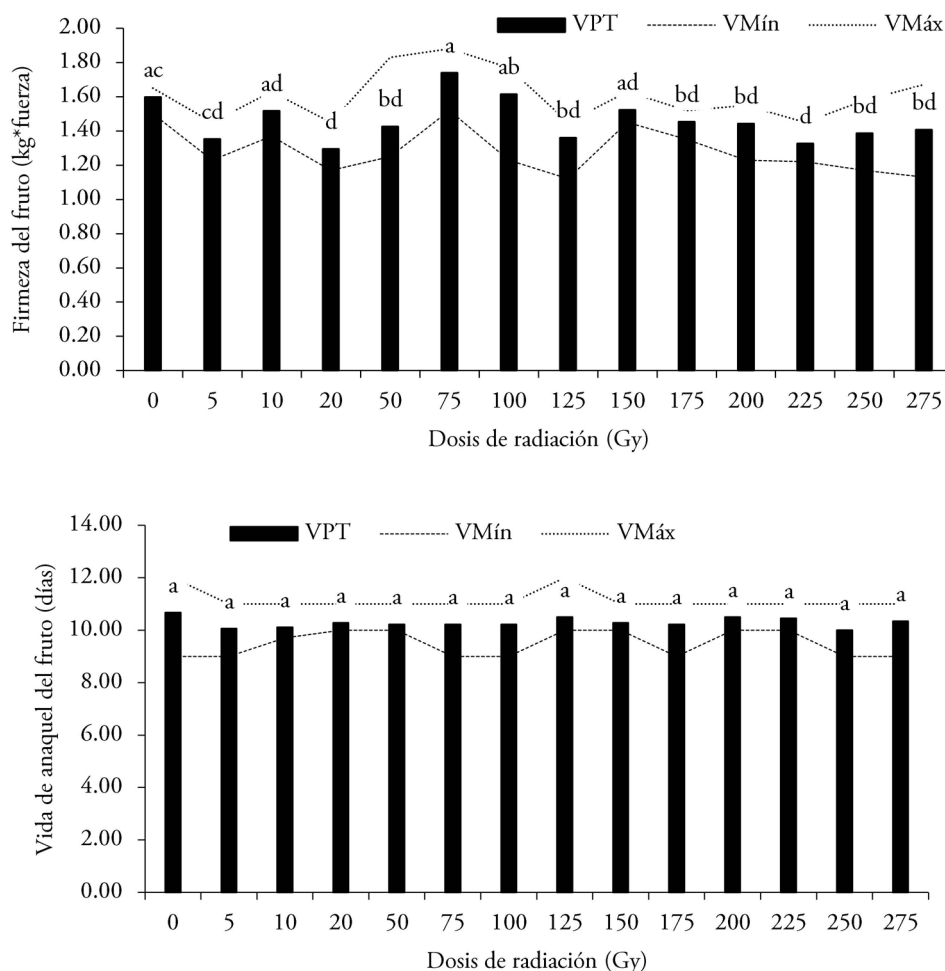


Figura 4. Firmeza (fz) y vida de anaquel (va) de frutos de plantas M₁ de *Physalis peruviana* L. provenientes de semillas irradiadas con 14 dosis de rayos gamma ⁶⁰Co. VPT = valor promedio Tukey de seis repeticiones. VMín = valor mínimo de 30 de frutos por dosis y VMáx = valor máximo de 30 frutos por dosis. Valores VPT con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS (fz) = 0.26, C. V. fz (%) = 8.90; DMS (va) = 0.96, C. V. va (%) = 4.63.

Figure 4. Firmness (fz) and shelf life (va) of fruits from M₁ plants of *Physalis peruviana* L. from seeds irradiated with 14 gamma doses ⁶⁰Co. VPT = average value Tukey of six repetitions. VMín = minimum value of 30 fruits per dose and VMáx = maximum value of 30 fruits per dose. VPT values with different letters indicate statistical difference (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS (fz) = 0.26, C. V. fz (%) = 8.90; DMS (va) = 0.96, C. V. va (%) = 4.63.

La vida de anaquel del fruto de *P. peruviana* no presentó diferencias significativas (Figura 4) por los rayos gamma, pues las plantas M₁ provenientes de semillas irradiadas y no irradiadas produjeron frutos con vida poscosecha entre 10 y 11 d ($p > 0.05$). El fruto es climatérico pues conforme avanza el tiempo aumenta la producción de etileno y se reduce su conservación (Trinchero *et al.*, 1999). Como ya se mencionó, el efecto de la radiación dependerá de la especie; así, Kosma *et al.* (2010) reportaron que los frutos de *Solanum lycopersicum* provenientes de plantas mutantes tuvieron menor vida anaquel que los frutos de plantas testigo.

the soil, crop management, and other environmental variables such as temperature and humidity.

CONCLUSIONS

Irradiation at low doses (10, 75 and 100 Gy) with ⁶⁰Co gamma rays applied to seeds of *P. peruviana* increases the firmness of the fruits of M₁ plants. High doses (250 and 275 Gy), decrease the sweetness and weight of fruits. Size (equatorial and polar diameter) and shelf life of fruits were not modified by seed irradiation. Greater firmness of fruits implies less

Ahuja *et al.* (2014) señalaron que no hay una comprensión apropiada del efecto de la radiación en los parámetros de la calidad de los frutos porque hay pocas investigaciones. Además, los datos disponibles son dispersos y no concluyentes, pues a nivel de planta los efectos son visibles en cambios morfológicos, bioquímicos, fisiológicos y biofísicos, en los cuales la magnitud del cambio afectado dependerá en gran medida de la dosis de radiación, el suelo, el manejo del cultivo y otras variables ambientales como la temperatura y humedad.

CONCLUSIONES

La irradiación a dosis bajas (10, 75 y 100 Gy) con rayos gamma ^{60}Co a las semillas de *P. peruviana* incrementa la firmeza de los frutos de plantas M_1 . A dosis altas (250 y 275 Gy) disminuye la dulzura y el peso de los frutos. El tamaño (diámetro ecuatorial y polar) y la vida de anaquel de los frutos no se modificaron por la irradiación de las semillas. Mayor firmeza de los frutos implica menor daño de los mismos durante su manipulación para empaque y transporte.

LITERATURA CITADA

- Ahloowalia, B. S., and M. Maluszynski. 2001. Induced mutations - A new paradigm in plant breeding. *Euphytica* 118: 167-173.
- Ahuja, S., M. Kumar, P. Kumar, V. K. Gupta, R. K. Singhal, A. Yadav, and B. Singh. 2014. Metabolic and biochemical changes caused by gamma irradiation in plants. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 300: 199-212.
- Ali, H., Ghori Z., S. Sheikh, and A. Gul. 2015. Effects of gamma radiation on crop production. *In: Hakeem, K. R. (ed). Crop Production and Global Environmental Issues.* Springer International Publishing, Springer, Cham. Suiza. pp: 27-78.
- Álvarez, F., A., L. Chávez S., R. Ramírez F., W. Estrada P., Y. Estrada L., y A. Maldonado R. 2013. Efecto del tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Nucleus* 53: 14-18.
- Álvarez, A., R. Ramírez, L. Chávez, Y. Camejo, L. Licea, E. Porras, y B. García. 2011. Efectos del tratamiento de semillas con láser de baja potencia sobre el crecimiento y rendimiento en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *ITEA* 107: 290-299.
- Bai-Lingyu, Ma-Yuzhu, Hua-Luo, and Wei-Dongpu. 1996. The effect of low dose of Co-gamma rays irradiation on some enzyme activities and isoenzyme zymogram in pak-choi seedlings. *Acta Agric. Nucleatae Sinica* 10: 21-24.
- Bondada, B. R., and D. Oosterhuis M. 2003. Morphometric analysis of chloroplast of cotton leaf and fruiting organs. *Biol. Plant.* 47: 281-284.
- Chen, Y. P., Y. J. Liu, X. L. Wang, Z. Y. Ren, and M. Yue. 2005. Effect of microwave and He-Ne laser on enzyme activity and damage in them during its manipulation for packing and transport.
- End of the English version—
- *—
- biophoton emission of *Isatis indigotica*. *J. Integr. Plant Biol.* 47: 849-855.
- Fischer, G., P. J. Almanza-Merchán, y D. Miranda. 2014. Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Rev. Bras. Frutic.* 36: 001-015.
- Fischer, G., y D. Miranda. 2012. Uchuva (*Physalis peruviana* L.). *In: Fischer, R. G. (ed). Manual para el Cultivo de Frutales en el Trópico.* Produmedios. Bogotá, Colombia. pp: 851-873.
- Gastelum-Osorio D. A., M. Sandoval-Villa, C. Trejo-Libia, y R. Castro-Brindis. 2013. Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 19: 197-210.
- Gutiérrez-Castorena, M. C., J. Hernández-Escobar, C. A. Ortiz-Solorio, R. Anicua-Sánchez, y M. E. Hernández-Lara. 2011. Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17: 183-196.
- Herrera A. 2000. Manejo poscosecha. *In: Flórez, V. J. R., G. Fischer, y A. D. Sora R. (eds). Producción, Poscosecha y Exportación de la Uchuva (Physalis peruviana L.).* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp: 109-127.
- Jan, S., T. Parween, T. O. Siddiqi, and Mahmooduzzafara. 2012. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environ. Rev.* 20: 17-39.
- Kim, J. H., M. H. Baek, B. Y. Chung, S. G. Wi, and J. S. Kim. 2004. Alterations in the photosynthetic pigments and antioxidant machineries of red pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings from gamma-irradiated seeds. *J. Plant Biol.* 47: 314-321.
- Kosma, D. K., E. P. Parsons, T. Isaacson, S. Lu, J. K. C. Rose, and A. J. Matthew. 2010. Fruit cuticle lipid composition during development in tomato ripening mutants. *Physiol. Plant.* 139: 107-117.
- Kovács, E., and A. Keresztes. 2002. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron* 33: 199-210.
- Lagoda P. J. L. 2011. Effects of radiation on living cells and plants. *In: Shu Q. Y., B. P. Forster, and H. Nakagawa (eds). Plant Mutation and Biotechnology.* Plant Breeding and Genetics Section. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria. pp: 123-134.
- Lagos, B. T. C., C. F. A. Vallejo, E. H. Criollo, y F. J. E. Muñoz. 2008. Biología reproductiva de la uchuva. *Acta Agron.* 57: 81-87.
- López, A. F. L., T. N. Guío R., G. Fischer, y L. D. Diego Miranda. 2008. Propagación de uchuva (*Physalis peruviana* L.)

- mediante diferentes tipos de esquejes y sustratos. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 61: 4347-4357.
- Majeed, A., Z. Muhammad, R. Ullah, Z. Ullah, R. Ullah, Z. Chaudhry, and S. Siyar. 2017. Effect of gamma irradiation on growth and post-harvest storage of vegetables. Biol. Res. 2: 30-35.
- Mazorra, M. F., A. P. Quintana, D. Miranda, G. Fischer, y M. Chaparro V. 2006. Aspectos anatómicos de la formación y crecimiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* (Solana-ceae). Acta Biol. Colomb. 11: 69-81.
- Moreno M., A., M. E. Castell-Perez, P. C. Gomes, R. Da Silva, and G. Moreira. 2007. Quality of electron beam irradiation of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) at medium dose levels (1.0 - 3.2 kGy). Food Sci. Technol. 40: 1123-1132.
- Oladosu, Y., M. Y. Rafii, N. Abdullah, G. Hussin, A. Ramli, H. A. Rahim, G. Miah, and M. Usman. 2016. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a re-view. Biotechnol. Biotechnol. Equip. 30: 1-16.
- Prakash A., and D. Foley. 2004. Improving safety and extending shelf life of fresh- cut fruits and vegetables using irradiation. In: Morehouse, V. K. M. (ed). Irradiation of Food Packa-ging. Komolprasert American Chemical Society. Washing-ton, DC. USA. pp: 90-106.
- Prakash, A., A. R. Guner, F. Caporaso, and D. M. Foley. 2000. Effects of low-dose gamma irradiation on the shelf life and quality characteristics of cut *Romaine lettuce* packaged under modified atmosphere. J. Food Sci. 65: 549-553.
- Pszczola, D. E. 2008. The inside on inclusions. Food Technol. 62: 50-62.
- Puente, L. A., S. A. Pinto-Muñoz, E. S. Castro, and M. Cortés. 2011. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. Food Res. Int. 44: 1733-1740.
- Ramírez, R., L. M. González, L. Licea, B. García, E. Porras, y A. Pérez. 2000. Incidencia de bajas dosis de rayos X sobre la productividad de cuatro variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Alimentaria 314: 56-64.
- Santana, G., y A. Angarita. 1997. Regeneración adventicia de somoclonales de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Agron. Co-lomb. 14: 59-65.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide. Version 9.1. Volu-mes 1 - 7. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. In: Procee-dings of the 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-649.
- Thiede, M. E., S. O Link, R. J. Fellows, and P. A. Beedlow. 1995. Effects of gamma radiation on stem diameter growth, carbon gain and biomass partitioning in *Helianthus annuus*. Envi-ron. Exp. Bot. 35: 33-41.
- Trinchero, G., G. O. Sozzi, A. M. Cerri, F. Vilella, and A. A. Franschina. 1999. Ripening-related changes in ethylene production respiration rate and cell-wall enzyme activity in golden berry (*Physalis peruviana* L.) a solanaceous species. Postharvest Biol. Technol. 16: 139-145.
- Wi, S. G., B. Y. Chung, J. H. Kim, M. H. Baek, D. H Yang, J. W. Lee, and J. S. Kim. 2005. Ultrastructural changes of cell organelles in Arabidopsis stems after gamma irradiation. J. Plant Biol. 48: 195-200.
- Wi, S. G., B. Y. Chung, J. S. Kim, J. H. Kim, M. H. Baek, J. W. Lee, and Y. S. Kim. 2007. Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. Micron 38: 553-564.
- Wilczek, M., and G. Fordonski. 2007. Influence of presowing laser stimulation of seeds on photosynthesis and transpira-tion intensity and on yielding of red clover. Acta Agroph. 9: 517-524.

