



## Características y rendimiento de semillas básicas de papa nativa (*Solanum goniocalyx*) obtenidas en biorreactor de inmersión temporal en condiciones de invernadero

Characteristics and yield of basic seeds of native potato (*Solanum goniocalyx*) obtained in temporary immersion bioreactor under greenhouse conditions

Características e rendimento de sementes básicas de batata nativa (*Solanum goniocalyx*) obtido em biorreator de imersão temporária em condições de estufa

Doris Marmolejo Gutarra<sup>1\*</sup> y Christopher P. Corpus Chagua<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Av. Mariscal Ramón Castilla N°3909, El Tambo, Huancayo 12000, Perú. Correo electrónico: dmarmolejo@uncp.edu.pe, . <sup>2</sup> Empresa Privada Velacar Inversiones S.A.C. Av., Real s/n Colpa, Huayucachi, Huancayo 12000, Perú. Correo electrónico: christo17libra@gmail.com, .

### Resumen

Se evaluó las características y rendimiento de semillas básicas de dos variedades de papa nativa peruana “Peruanita” y “Amarilla Tumbay” (*Solanum goniocalyx*), obtenidas en Biorreactores de Inmersión Temporal (BIT) a condiciones de invernadero con la finalidad de obtener semillas de calidad de manera continua y sostenible, garantizando la producción de los agricultores y atender la demanda nacional. Se cultivaron microtubérculos y esquejes obtenidos por BIT en un área de 240 m<sup>2</sup> a 3.201 msnm con un diseño de Bloques Completamente Randomizado (BCR) de arreglo bifactorial (variedades x propágulos) de cuatro tratamientos y tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: supervivencia (SP) y altura de planta (AP) a los 30 días, número de tubérculos por planta (NT), diámetro de tubérculo (DT), peso de tubérculos (PT), tamaño de tubérculo (TT), color de piel del tubérculo (CP) y rendimiento en kg por 14,05 m<sup>2</sup> (R). Los tubérculos producidos de los microtubérculos destacaron frente a los esquejes en rendimiento para semilla básica, presentando un  $R=26,89 \pm 0,483$  kg.14,05 m<sup>2</sup>,  $PT= 0,12 \pm 0,0036$  kg y un

Recibido el 25-06-2020 • Aceptado el 24-09-2020.

\*Autor de correspondencia. Correo electrónico: dmarmolejo@uncp.edu.pe

DT= 22,59 ±0,451 mm; siendo la variedad “Peruanita” la más óptima en número y peso de tubérculos por planta para semilla básica. La semilla básica proveniente de microtubérculos se obtuvo en 5 meses, siendo una alternativa para garantizar una producción constante, permitiendo atender la demanda de los agricultores y abaratar los costos de producción.

**Palabras clave:** papa amarilla, producción de semilla, propagación *in vitro*, Biorreactores de Inmersión Temporal, microtubérculos, esquejes.

### Abstract

The characteristics and yield of basic seeds of two native Peruvian potato varieties “Peruanita” and “Amarilla Tumbay” (*Solanum goniocalyx*), obtained in temporary immersion bioreactors under greenhouse conditions, were evaluated in order to obtain quality seeds in a continuous and sustainable way to guarantee farmers’ production and to meet national demand. For this purpose, microtubers and cuttings obtained by temporary immersion bioreactors (TIB) were cultivated in an area of 240 m<sup>2</sup> at 3.201 masl, a completely randomized block design was applied with a bifactorial arrangement (varieties x propagules) of 4 treatments and 3 repetitions. The variables evaluated were: survival (SP) and plant height (AP) at 30 days, number of tubers per plant (NT), tuber diameter (DT), tuber weight (PT), tuber size (TT), tuber skin color (CP) and yield in kg per 14.05 m<sup>2</sup> (R). Tubers produced from the microtubers stood out from the cuttings in yield for basic seed, presenting an R=26.89 ± 0,483 kg.14.05 m<sup>-2</sup>, PT= 0,12 ±0,0036 kg and a TD= 22.59 ±0,451 mm; being the variety “Peruanita” the most optimal in number and weight of tubers per plant for basic seed. The basic seed coming from microtubers was obtained in 5 months, being an alternative to guarantee a constant production, allowing to take care of the demand of farmers and to lower the costs of production.

**Keywords:** yellow potato, seed production, *in vitro* propagation, Temporary Immersion Bioreactors, microtubers, cuttings.

### Resumo

Foram avaliadas as características e rendimento das sementes básicas de duas variedades de batata nativa peruana “Peruanita” y “Amarilla Tumbay” (*Solanum goniocalyx*), obtidas em Biorreatores de Imersão Temporal em condições de estufa. O objetivo, foi obter sementes de qualidade de maneira contínua e sustentável, que garantam a produção dos agricultores, além de manter a demanda nacional. Para este trabalho, foram cultivados microtubérculos e estacas obtidos através de Biorreatores de Imersão Temporal (BIT) em uma área de 240 m<sup>2</sup> a 3201 msnm. Foi aplicado um desenho de Blocos Completamente Aleatório (BCR) com um arranjo bifatorial (variedade x propágulo) de 4 tratamentos e 3 repetições. As variáveis avaliadas foram: supervivência (SP) e altura da planta (AP) no fim de 30 dias,

numero de tubérculos (NT), diámetro de tubérculo (DT), Peso de tubérculos (PT), Tamaño de tubérculos (TT), Cor da pele do tubérculo (CP) e Rendimento em kg por 14,05 m<sup>2</sup>. Os tubérculos produzidos dos microtubérculos, destacaram-se das estacas em rendimento para semente básica, apresentando um R=26,89 ± 0,483 kg.14,05 m<sup>-2</sup>, PT= 0,12 ±0,0036 kg y um DT= 22,59 ±0,451 mm; sendo a variedade “Peruanita” a melhor em relação ao numero e peso de tubérculos por planta para semente básica. A semente básica proveniente de microtubérculos, foi obtida em 5 meses, sendo uma alternativa, que permite garantir uma produção constante, além de atender a demanda dos agricultores e diminuir os custos de produção.

**Palavras-chave:** Batata amarela, produção de sementes, propagação *in vitro*, Biorreactores de Imersão Temporária, estufa.

## Introducción

El género *Solanum* comprende alrededor de 2.400 especies en el mundo (Ochoa, 1999). La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el tercer cultivo alimenticio más importante, debido a su gran valor nutricional, diversas propiedades medicinales y múltiples presentaciones (Arcos y Zúñiga, 2016).

En el Perú, el género está representado por ocho especies cultivadas, alrededor de 200 silvestres y 4.000 variedades comestibles (Soto *et al.*, 2014); de ellas, las variedades que se han constituido en forma natural, se les denomina papas nativas (INIA, 2002), las cuales dependen de los agricultores para su conservación y, a la vez, los agricultores dependen de ellas para satisfacer diversas necesidades (CIP, 2006).

En los últimos años, en diferentes comunidades campesinas, se viene incrementando el cultivo de papas nativas sobre los 3.000 msnm, mezcladas entre diferentes variedades (Egúsquiza, 2014), estrategia que permite reducir los efectos de la

## Introduction

The genus *Solanum* comprises around 2,400 species in the world (Ochoa, 1999). The potato (*Solanum tuberosum* L.) is the third most important food crop, due to its great nutritional value, various medicinal properties and multiple presentations (Arcos and Zúñiga, 2016).

In Peru, the genus is represented by eight cultivated species, around 200 wild and 4,000 edible varieties (Soto *et al.*, 2014); of these, varieties that have grown naturally are called autochthonous potatoes (INIA, 2002), that depend on farmers for their conservation and, at the same time, farmers depend on the income generated by their commercial production (CIP, 2006).

In recent years, in different agricultural communities located above 3000 m of altitude, the cultivation of native potatoes has been increasing, mixed between different varieties (Egúsquiza, 2014). This strategy has made it possible to reduce the effects of the incidence of pests and diseases and to have

incidencia de plagas, enfermedades y tener tolerancia a las condiciones climáticas adversas, asegurando su producción frente al cambio climático (Reategui *et al.*, 2019). Asimismo, el uso de métodos ancestrales y tradicionales que implican un menor o ningún uso de pesticidas, las convierte en un alimento saludable para el consumidor (INIA, 2009), señalando al cultivo de la papa como unos de los principales en el Perú (Tapia *et al.*, 2017).

En los Andes, la obtención de los tubérculos semilla es una actividad tradicional (Egúsquiza, 2014), sin regulaciones y técnicas normadas (MINAGRI *et al.*, 2017); por lo cual, sus cultivos pueden presentar en ocasiones susceptibilidad a enfermedades (virales y bacterianas) y ataque de plagas (Tapia *et al.*, 2017), siendo un reto para los agricultores por los sobrecostos, escaso transporte y brotes de tubérculos antes de la temporada de cultivo, ocasionando pérdidas en el rendimiento y calidad de cultivos (Fano *et al.*, 2011).

En este contexto, la producción *in vitro* de semilla de papa, con calidad genética y fitosanitaria, a través de la biotecnología se convierte en una alternativa atractiva (Aragón *et al.*, 2004). Una de las técnicas que ha despertado interés para este cultivo es la formación de microtubérculos (Donnelly *et al.*, 2003; Igarza *et al.*, 2012; Tapia *et al.*, 2017) a partir del cultivo de meristemos (Igarza *et al.*, 2015) y su introducción en el programa de producción de semilla de papa viene dando una nueva alternativa en la producción del

tolerance to the adverse conditions generated by climate change, ensuring its optimal agricultural production (Reategui *et al.*, 2019). Likewise, the use of ancestral and traditional methods, with little or no application of pesticides, makes them a healthy food for the consumer (INIA, 2009), as well as one of the main crops in Peru (Tapia *et al.*, 2017).

In the Andes, obtaining tubers for seed is a traditional activity (Egúsquiza, 2014), without regulations and standard techniques (MINAGRI *et al.*, 2017), which would sometimes lead to crops susceptible to diseases and pest attacks (Tapia *et al.*, 2017). This is a challenge for farmers due to the increase in production costs, together with the problem of limitations in the availability of transport of agricultural products, as well as the sprouts of tubers before the growing season, which cause losses in the yield and quality of the harvest (Fano *et al.*, 2011).

In this context, the use of biotechnology for the *in vitro* production of potato seed, becomes an attractive alternative to obtain seeds of high genetic and phytosanitary quality (Aragón *et al.*, 2004). One of the techniques that has aroused interest for seed production is the formation of microtubers (Donnelly *et al.*, 2003; Igarza *et al.*, 2012; Tapia *et al.*, 2017), from meristems (Igarza *et al.*, 2015; Tapia *et al.*, 2017). This technique guarantees a high percentage of survival in pots in greenhouse conditions (Igarza *et al.*, 2013; Aguilar-Maradinga *et al.*, 2016) as well as in the field (Igarza *et al.*, 2016).

tubérculo semilla de este cultivo (Tapia *et al.*, 2017), garantizando un alto porcentaje de supervivencia en macetas, condiciones de invernadero (Igarza *et al.*, 2013; Aguilar-Maradinga *et al.*, 2016) y en campo (Igarza *et al.*, 2014) además de plantas con un buen desarrollo, lo que es una ventaja para la producción (Albarrán *et al.*, 2014).

Uno de los sistemas que viene demostrando gran eficiencia por su rendimiento, manejo y costo (Igarza *et al.*, 2015) son los Biorreactores de Inmersión Temporal (BIT), el cual permite una renovación de gases al interior del frasco de cultivo favoreciendo al crecimiento y desarrollo de los brotes (Igarza *et al.*, 2012). El número de microtubérculos por biorreactor se encuentra entre el rango de 129 y 491 (Igarza *et al.*, 2015) adecuado para multiplicación en cortos periodos de tiempo; pero a pesar de ello, aún existe poca información para la obtención de semillas básicas (Tapia *et al.*, 2017) sobre todo en condiciones de mayor escala como los invernaderos.

En los andes centrales del Perú se produce una gran variedad de papas nativas cuyo mercado principal es Lima (MINAGRI *et al.*, 2017), de ellas, se destacan las variedades “Peruanita” y “Amarilla Tumbay” (*Solanum gonyocalyx*) (INIA, 2009) cuya característica principal es el color amarillo intenso de la pulpa (CIP, 2010); las cuales, vienen incrementando su demanda en restaurantes e industrias de procesamiento en hojuelas (MINAGRI *et al.*, 2017).

*al.*, 2014), obtaining plants with good development, which it is an advantage for production (Albarrán *et al.*, 2014).

One of the systems that has been demonstrating great efficiency due to its performance, handling and cost (Igarza *et al.*, 2015) are the Temporary Immersion Bioreactors (BIT), which allows a renewal of gases inside the culture flask favoring shoot development (Igarza *et al.*, 2012). The number of microtubers per bioreactor is between the range of 129 and 491 (Igarza *et al.*, 2015), which is adequate for multiplication in short periods of time; but despite this, there is still little information on this technique for obtaining basic seeds (Tapia *et al.*, 2017), especially on a large scale in greenhouses.

In the central Andes of Peru, a great variety of native potatoes are produced, which are mainly commercialized in Lima (MINAGRI *et al.*, 2017); Among these varieties, “Peruanita” and “Amarilla Tumbay” (*Solanum gonyocalyx*) stand out, the main characteristic of which is the intense yellow color of the pulp (INIA, 2009; CIP, 2010). The demand for these varieties has been increasing in restaurants and the potato chip industry (MINAGRI *et al.*, 2017).

Considering the great potential of native potato varieties in national commercialization and the need for information to obtain basic seeds of these varieties, the purpose of this study was to evaluate the characteristics and yield of the basic seeds of the varieties “Peruanita” and “Amarilla Tumbay”, obtained in BIT under greenhouse conditions.

Considerando el gran potencial de las variedades de papa nativa en la comercialización nacional y la necesidad de información para la obtención de semillas básicas de éstas variedades, el presente estudio se plantea el objetivo de evaluar las características y el rendimiento de las semillas básicas de las variedades “Peruanita” y “Amarilla Tumbay” obtenidas en los BIT en condiciones de invernadero.

## Materiales y métodos

### Ubicación

El estudio se desarrolló en las instalaciones de la empresa privada Velacar Inversiones S.A.C, ubicada a 3.201 msnm, a 12°08'02" S y 75°13'37" O, en el distrito de Huayucachi, provincia de Huancayo y departamento de Junín. El clima en la zona es templado frío-húmedo, con una temperatura media anual de 12 °C y una precipitación anual de 700 mm.

### Materia prima

El material de estudio estuvo formado por microtubérculos y esquejes de tallos laterales de microtubérculos de las variedades “Peruanita” y “Amarilla Tumbay” (*Solanum goniocalyx*) obtenidos en los BIT del área de Cultivo de Tejidos Vegetales del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) de Lima (Perú), provenientes de plantas madres del Centro Internacional de la Papa (CIP) sede Junín. Las condiciones de crecimiento se muestran en el Cuadro 1.

## Materials and methods

### Location

The study was carried out in the greenhouses of the private company Velacar Inversiones S.A.C, located at 3,201 m altitude (12° 08' 02" S and 75° 13' 37" W), in the district of Huayucachi, province of Huancayo and department of Junín. The climate in the area is temperate cold - humid, with an annual average temperature of 12 °C and an annual rainfall of 700 mm.

### Raw material

The material for this study consisted of microtubers and cuttings of lateral stems of microtubers of the varieties “Peruanita” and “Amarilla Tumbay” (*Solanum goniocalyx*), obtained in the BIT of the Plant Tissue Cultivation Department of the Institute of Biotechnology of the National Agrarian University La Molina (UNALM) of Lima (Peru). These varieties were obtained from mother plants of the International Potato Center (CIP), Junín headquarters. The growing conditions are shown in table 1.

### Experimental design

The completely randomized blocks (BCR) design was used with a factorial arrangement (varieties x propagules) of the treatments and three repetitions. Factor A was composed of the varieties: Peruanita ( $a_1$ ) and Tumbay Amarilla ( $a_2$ ) and Factor B was composed of the types of propagules: Microtubers ( $b_1$ ) and Cuttings ( $b_2$ ). Table 2 shows the levels of each of the factors in the study.

**Cuadro 1. Condiciones en la sala de crecimiento para los Biorreactores de Inmersión Temporal (BIT) durante 30 días.**

**Table 1. Conditions in the growth room for temporary immersion bioreactors (BIT) for 30 days.**

| Fotoperiodo |           |                 |           |          |
|-------------|-----------|-----------------|-----------|----------|
| Temperatura | Horas luz | Horas oscuridad | Inmersión | Burbujeo |
| 22 °C       | 16        | 8               | 3 h       | 4 min    |

**Diseño Experimental**

Se empleó el diseño de Bloques Completamente Randomizado (BCR) con un arreglo de dos factores (variedades x propágulos) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. El Factor A fue compuesto por las variedades: Peruanita ( $a_1$ ) y Amarilla Tumbay ( $a_2$ ) y el Factor B compuesto por los tipos de propágulos: Microtubérculos ( $b_1$ ) y Esqueje ( $b_2$ ). El Cuadro 2 muestra los niveles de cada uno de los factores en el estudio.

**Establishment**

The study was developed during the period from December 2018 to May 2019. Once the microtuber and cuttings had roots and a height of 15 cm, they were placed in the greenhouse, in a total area of 240 m<sup>2</sup> (beds plus paths). The transplantation of the seedlings was carried out in beds with a 10 cm height of substrate composed of a ratio of 2: 1 m<sup>3</sup> of black earth and sawdust (Figure 1).

After a month, the seedlings were taken out of the trays with all their

**Cuadro 2. Niveles de los factores en estudio para la obtención de las interacciones.**

**Table 2. Levels of the factors to study.**

| Factores |            | Combinación                                  |
|----------|------------|--|
| A        | VARIETADES | $a_1$ = Peruanita<br>$a_2$ = Amarilla Tumbay |
| B        | PRÓPAGULOS | $b_1$ = Microtubérculos<br>$b_2$ = Esquejes  |

**Establecimiento**

El estudio se desarrolló durante el período comprendido de diciembre 2018 a mayo 2019. Una vez que el microtubérculo y esqueje presentaron raíces y altura de 15 cm fueron instaladas

roots to ensure a good take, and transplanted into the beds with the same substrate (Figure 2).

A seeding density of 20 cm x 18 cm was handled. In the first and second hilling the same substrate was added in order to cover the



en el invernadero de la empresa privada, en un área total de 240 m<sup>2</sup> (camas demostrativas más caminos). El trasplante de las plántulas se realizó en camas con 10 cm de altura de substrato compuesto por una proporción de 2:1 m<sup>3</sup> de tierra negra y aserrín (Figura 1).

runners and avoid losses. The first and second hilling were carried out 7 and 30 days after transplantation. The fertilization was carried out together with the first hilling, applying a mixture of chicken manure compost (50-40-95 NPK) plus fertilizer (95-175-110 NPK) in a ratio of 3:1 m<sup>3</sup>. A



**Figura 1. Siembra de microtubérculos de las variedades “Peruanita” y “Amarilla Tumbay” (*Solanum goniocalyx*) en camas de tierra negra y aserrín. (a) Plántulas al inicio del estudio y (b) a los 10 días de la siembra.**

**Figure 1. Sowing of microtubers of the varieties “Peruanita” and “Tumbay Amarilla” (*Solanum goniocalyx*) in beds of black earth and sawdust. (a) Seedlings at the beginning of the study and (b) 10 days after sowing.**

Después de un mes, las plántulas fueron sacadas de las bandejas con toda su raíz para asegurar un buen prendimiento, luego fueron colocadas en los agujeros y tapados con el mismo substrato (Figura 2).

Se manejó una densidad de siembra de 20 cm x 18 cm. En el primer y segundo aporque se agregó el mismo substrato a fin de cubrir los estolones y evitar pérdidas. El primer aporque se realizó a la semana de la instalación y el segundo al mes. La

total of 42.76 kg of this mixture was used for an experimental area of 178.60 m<sup>2</sup> (beds without paths). Foliar fertilizer applications were made on the seedlings in the first month of installation, every 15 days. Irrigation was carried out up to field capacity, with a daily frequency during the first month, and then every 3 or 4 days.

The supports (tutored or placement of wick to support the plant) of the plants were made progressively according to the



fertilización se realizó junto con el primer aporte, aplicando una mezcla preparada de compostaje de gallinaza (50-40-95 NPK) más fertilizante (95-175-110 NPK) en una proporción 3:1 m<sup>3</sup>; se utilizó un total 42,76 kg de esta mezcla para un área experimental de 178,60 m<sup>2</sup> (camas demostrativas sin caminos). Se realizó aplicaciones de abono foliar en las plántulas en el primer mes de instalación cada 15 días. Los riegos se realizaron con agua potable hasta tener el sustrato en capacidad campo, con una frecuencia de riego inter diario durante el primer mes de instalación y posterior fue entre 3 o 4 días de diferencia.

growth of all the plants. The tubers were harvested 5 months after seeding in the trays; they were stored in trays by size and variety.

#### Variables evaluated

The characteristics evaluated were:

-Survival (SP), it was evaluated 30 days after the installation of the seedlings by counting live and dead seedlings; it was expressed in percentage (%).

-Plant height (AP), it was measured every 15 days until 80 days (6 observations), starting one week after transplanting the seedlings, with the help of a tape measure.



**Figura 2. Trasplante de las plántulas en el invernadero.** (a) Plántulas de la variedad “Amarilla Tumbay” y (b) plántulas de variedad “Peruanita”.

**Figure 2. Transplanting the seedlings in the greenhouse.** (a) Seedlings of the variety “Amarilla Tumbay” and (b) seedlings of the variety “Peruanita”.

Los tutorados (colocación de pabalo para dar sostén a la planta) de las plantas se realizaron progresivamente tanto para las plantas provenientes del microtúbérculo y esqueje de acuerdo al crecimiento de las plantas. Los tubérculos fueron cosechados después de 5 meses de la instalación en bandejas y almacenados en bandejas por tamaños y variedades.

- Number of tubers per plant (NT), the number of tubers was counted after harvest.

-Tuber diameter (DT), it was determined in 7 tubers chosen randomly in each sample, using a digital vernier.

-Weight of tubers (PT), it was determined with a digital scale (0.1 g precision), in random samples of 20

### VARIABLES EVALUADAS

Las características evaluadas fueron:

-Supervivencia (SP), se evaluó a los 30 días después de la instalación de las plántulas mediante el conteo de plántulas muertas, se expresó en porcentaje (%).

-Altura de planta (AP) a los 80 días, se comenzó a medir después de una semana de la instalación de las plántulas, con la ayuda de una guincha. Se realizó un total de 6 evaluaciones, después de 15 días cada una.

-Número de tubérculos por planta (NT), se contó la cantidad de tubérculos después de la cosecha.

-Diámetro de tubérculo (DT), se determinó en 7 tubérculos por cada muestra en forma aleatoria con el uso de un vernier digital.

-Peso de tubérculos (PT), se determinó con una balanza digital de 0,1 g de precisión, en muestras aleatorias de 20 plantas por tratamientos.

-Tamaño de tubérculo (TT), se usó los criterios de selección asociadas principalmente al tubérculo (Cadima y López, 2018; Morillo *et al.*, 2019).

-Color de piel del tubérculo (CP), se utilizó las características descritas por MINAGRI *et al.*, 2017.

El rendimiento (R), se determinó en kg en un área determinada de 14,05 m<sup>2</sup> (superficie de cada tratamiento) con la ayuda de una balanza digital (0,1 g) en todas las plantas por cada tratamiento.

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos de la caracterización y rendimiento fueron sometidos al análisis estadístico,

plants in each treatment.

- Tuber size (TT), the selection criteria associated mainly with the size of the tuber was used (Cadima and López, 2018; Morillo *et al.*, 2019).

-Tuber skin color (PC), the characteristics described by MINAGRI *et al.* (2017) were used.

-The yield (R) in kg, was determined in all plants for each treatment, in an area of 14.05 m<sup>2</sup> (surface of each treatment), using an electronic balance (0.1 g precision).

### STATISTIC ANALYSIS

The data obtained from the characterization and yield were analyzed using the Statistical Analysis System (SAS) v. 8. Comparisons were made using the 2Ax2B factorial analysis of variance (ANOVA) and once the significant differences were determined, the Tukey test was applied (Montgomery, 2004) with a confidence level of 95 % ( $\alpha = 0.05$ ).

## RESULTS AND DISCUSSION

### CHARACTERISTICS OF THE PLANT AND TUBERS

The results of SP, AP, NT, DT and PT for the 4 treatments are shown in table 3. In the case of SP, T1 (Peruanita x Microtuber) showed 89.04 ± 0.786% and statistically significant difference with respect to the other interactions ( $p < 0.05$ ); T1 presented the highest number of seedling survival, while T3 (Amarilla Tumbay x Microtuber), T2 (Peruanita x Cuttings) and T4 (Amarilla Tumbay x Cuttings) do not showed statistical significance between them. Montoya *et al.* (2008)

mediante el software Statistical Analysis System (SAS) versión 8. Las comparaciones se realizaron mediante el análisis de varianza factorial 2Ax2B (ANOVA) y una vez determinadas las diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de Tukey (Montgomery, 2004) con un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha = 0,05$ ).

## Resultados y discusión

### Características de la planta y tubérculos

Los resultados de la SP, AP, NT, DT y PT para los 4 tratamientos se muestran en el Cuadro 3. En el caso de la SP, el T1 (Peruanita x Micro tubérculo) destaca con  $89,04 \pm 0,786$  % y muestra significancia estadística con respecto a las demás interacciones ( $p < 0,05$ ), presentando el mayor número de plántulas prendidas; los tratamientos T3 (Amarilla Tumbay x Micro tubérculo), T2 (Peruanita x Esqueje) y T4 (Amarilla Tumbay x Esqueje) no muestran significancia estadística entre ellas, pero si con el T1. Montoya *et al.* (2008) registró en la variedad Diacol Capiro, una supervivencia del 80% utilizando Microtubérculos obtenidos por el Sistema de Inmersión Temporal; de igual forma, Igarza *et al.* (2014), obtuvieron entre 84 % y 86 % de supervivencia en microtubérculos del cultivar Andinita. Los porcentajes mayores a 80 % indican que la técnica de microtubérculos por BIT permite una mejor sobrevivencia de las plantas (Cruzat, 2009).

Para el caso de la AP, el T3 (Amarilla Tumbay x Microtubérculo)

registered in the Diacol Capiro variety, a survival of 80% using microtubers obtained by temporary immersion system; likewise, Igarza *et al.* (2014), obtained between 84 % and 86 % survival in microtubers of the cultivar Andinita. Percentages greater than 80 % indicate that the BIT technique allows better plant survival (Cruzat, 2009).

In the case of PA, T3 (Amarilla Tumbay x Microtuber) presented an average of  $107.82 \pm 0.526$  cm which was the highest and statistically different from the other interactions occupying ( $p < 0.05$ ). On the other hand, the T4 interaction (Amarilla Tumbay x Esqueje) occupies the last place with an average of  $87.16 \pm 0.526$  cm and presents statistically significant difference with the other interactions ( $p < 0.05$ ). Igarza *et al.*, (2013), mentioned that the microtubers obtained from BIT have a positive impact on the development of plants; Aguilar *et al.*, (2016) indicated that Burren cultivar showed a plant length of 21 cm after 15 days.

In the case of NT (Figure 3), T1 (Peruanita x Microtuber) showed an average of  $19.25 \pm 0.533$ , which was the highest and statistically different from the other interactions ( $P < 0.05$ ); likewise, T3 (Amarilla Tumbay x Microtuber) with an average of  $16.87 \pm 0.533$ , was statistically different ( $P < 0.05$ ). By contrast, T4 (Amarilla Tumbay x Esqueje) and T2 (Peruanita x Esqueje) presented the lowest averages with  $8.83 \pm 0.533$  and  $8.05 \pm 0.533$ , respectively. In this regard,

presentó un promedio de  $107,82 \pm 0,526$  cm y muestra significancia estadística con las demás interacciones ocupando el primer lugar ( $p < 0,05$ ); por otro lado, la interacción T4 (Amarilla Tumbay x Esqueje) ocupa el último lugar con un promedio de  $87,16 \pm 0,526$  cm y presenta significancia estadística con las demás interacciones en estudio ( $p < 0,05$ ). Igarza *et al.*, (2013), mencionan que los microtubérculos obtenidos de BIT tienen un impacto positivo en el desarrollo de las plantas; por otro lado, Aguilar *et al.*, (2016) indican que en el cultivar Burren obtiene una longitud de planta a los 15 días de 21 cm.

Para el caso de los tubérculos (Figura 3), el NT, para el T1 (Peruanita x Microtubérculo) con un promedio de  $19,25 \pm 0,533$ , presenta significancia estadística con las demás interacciones ( $p < 0,05$ ); así mismo, el T3 (Amarilla Tumbay x Microtubérculo) con un promedio de  $16,87 \pm 0,533$ , presenta significancia estadística con las demás interacciones ( $p < 0,05$ ). De manera contraria, las interacciones T4 (Amarilla Tumbay x Esqueje) y T2 (Peruanita x Esqueje) ocupan los últimos lugares con promedios de  $8,83 \pm 0,533$  y  $8,05 \pm 0,533$  y presentan significancia estadística con las demás interacciones. Al respecto Montoya *et al.*, (2008) señalaron que en estudios realizados en la variedad Diacol Capiro se observó que al utilizar microtubérculos se obtiene 49 tubérculos por planta, siendo superior a los registrados al usar plantas *in vitro* y semilla elite

Montoya *et al.*, (2008) pointed out that in studies carried out on the Diacol Capiro variety, they observed that when using microtubers, 49 tubers were obtained per plant, being higher than those registered when using *in vitro* plants and elite seed with averages of 24 and 34 tubers per plant in the field. Likewise, MINAGRI *et al.* (2017) mentioned that the variety "Peruanita" in the field with normal seed (not microtubers) produces 23 tubers.plant<sup>-1</sup> and the variety "Amarilla Tumbay" produces 13 tubers.plant<sup>-1</sup>. In the same way, INIA (2009) registered 25 tubers.plant<sup>-1</sup> and 20 tubers.plant<sup>-1</sup>, respectively for the same varieties, which contrast with the results found in the present study, where "Peruanita" variety had a greater number of tubers than the variety "Amarilla Tumbay".

In DT, T1 (Peruanita x Microtuber) showed an average of  $23.60 \pm 0.451$  mm statistically different from the other interactions ( $p < 0.05$ ). On the other hand, T2 (Peruanita x Cuttings), with an average of  $20.910 \pm 0.451$  mm, presented statistically significant difference with the other interactions, with the exception of T3 (Amarilla Tumbay x Microtuber), which presented an average  $21.580 \pm 0.451$  mm. The results are similar to those obtained by Igarza *et al.*, (2013), in which, DT obtained from microtubers of the Andinita cultivar, were from 5.5 to 60 mm; likewise, García-Águila *et al.* (2016) obtained diameters of 1.6 to 2.8 cm *in vitro* plants.

con promedios de 24 y 34 tubérculos por planta en campo definitivo. Asimismo, MINAGRI *et al.* (2017) mencionaron que la variedad “Peruanita” en campo con semilla normal (no de microtubérculos) produce 23 tubérculos/planta y la variedad “Amarilla Tumbay” produce 13 tubérculos.planta<sup>-1</sup>; mientras que INIA (2009) registra producciones de las mismas variedades, en 25 tubérculos.planta<sup>-1</sup> y 20 tubérculos.planta<sup>-1</sup> respectivamente, los cuales contrastan con los resultados hallados en el presente estudio, donde la variedad “Peruanita” presentó mayor número de tubérculos que la variedad “Amarilla Tumbay”.

En DT, el T1 (Peruanita x Microtubérculo) con promedio de 23,60 ± 0,451 mm, muestra significancia estadística con las demás interacciones (p < 0.05); por otro lado, la interacción T2 (Peruanita x Esqueje), con un promedio de 20,910 ± 0,451 mm, presenta significancia estadística con las demás interacciones, a excepción del T3 (Amarilla Tumbay x Microtubérculo), con un promedio 21,580 ± 0,451 mm. Los resultados están dentro de los rangos obtenidos por Igarza *et al.*, (2013); en el cual, los diámetros obtenidos de minitubérculos a partir de microtubérculos de cultivar Andinita bajo casa de cultivo fueron de 5,5 a 60 mm; asimismo, con los registros de García - Águila *et al.* (2016) donde se reportaron diámetros de 1,6 a 2,8 cm en plantas *in vitro*.

Y para el PT, el T1 (Peruanita x Microtubérculo) con promedio

For the PT, T1 (Peruanita x Microtuber) with an average 0.149 ± 0.0036 kg presented statistical difference with the other interactions (p < 0.05); while, the interactions a1b2 (Peruanita x Cuttings) and a<sup>2</sup>b<sup>2</sup> (Amarilla Tumbay x Cuttings), with averages of 0.067 ± 0.0036 and 0.066 ± 0.0036 kg, respectively, presented statistical difference with the other interactions, but not between them. According to MINAGRI *et al.* (2017), the “Peruanita” variety presented a tuber weight of 0.64 kg.planta<sup>-1</sup> compared to the “Amarilla Tumbay” variety, which presents 0.33 kg.planta<sup>-1</sup> in field plantings.

The tuber size (TT) from microtubers of the “Peruanita” variety had sizes of 79 % small, 18 % medium and 3 % large; while, for the “Amarilla Tumbay” variety 90 % was small, 9 % medium and 4 % large. In the case of TT from cuttings, the Peruanita variety produced 82 % small, 14 % medium and 1 % large; and the Amarilla Tumbay variety presented 85 % small, 14 % medium and 1 % large (Figure 4). These results are favorable for a seed production program, where the optimum is the production of small and medium-sized tubers for the benefit of the producer (handling and transportation).

The color of the tuber of the varieties “Peruanita” and “Amarilla Tumbay” for each propagule is shown in figure 5. Of the 97 % of the tubers of “Peruanita” from microtubers presented a yellow and red color, while 98 % of those from the cutting presented the same color.

0,149 ± 0,0036 kg presentó significancia estadística con las demás interacciones ( $p < 0,05$ ); mientras que, las interacciones  $a_1b_2$  (Peruanita x Esqueje) y  $a_2b_2$  (Amarilla Tumbay x Esqueje), con promedios de 0,067 ± 0,0036 y 0,066 ± 0,0036 kg respectivamente, presentaron significancia estadística con las demás interacciones, pero menos entre ellas. Según MINAGRI *et al.* (2017), la variedad de papa "Peruanita" se caracteriza por presentar un peso de tubérculos de 0,64 kg.planta<sup>-1</sup> en comparación a la variedad "Amarilla Tumbay" que presenta 0,33 kg.planta<sup>-1</sup> en siembras en campo. Los resultados registrados mostraron menores pesos a campañas de campo.

The tubers of the variety "Amarilla Tumbay" from microtubers and cuttings were 100% yellow. The colors obtained for both varieties correspond to the characteristics of each variety (Gómez *et al.*, 2008; INIA, 2009; MINAGRI *et al.*, 2017).

### Yield

As can be seen in table 4, the T3 (Amarilla Tumbay x Microtuber) and T1 (Peruanita x Microtubérculo), presented the maximum averages with 27.24 ± 0.483 and 26.54 ± 0.483 kg, respectively ( $p < 0.05$ ). This indicates a good performance of the propagules obtained from microtubers.

The higher yield of propagules from microtubers (Table 5) is

**Cuadro 3. Comportamiento de las características evaluadas; supervivencia de plantas a 30 días (SP), altura de planta (AP), número de tubérculos por planta (NT), diámetro de tubérculo (DT) y peso de tubérculo por planta (PT) de las variedades "Peruanita" y "Amarilla Tumbay" (*Solanum goniocalyx*) para semilla básica.**

**Table 3. Behavior of the evaluated characteristics; 30-day plant survival (SP), plant height (AP), number of tubers per plant (NT), tuber diameter (DT) and tuber weight per plant (PT) of the varieties "Peruanita" and "AmarillaTumbay" (*Solanum goniocalyx*) for basic seed.**

| Tratamiento | SP (%)          | AP (cm)          | NT              | DT (mm)                      | PT (kg)          |
|-------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------------------|------------------|
| T1          | 89,04 ± 0,786 a | 89,32 ± 0,526 a  | 19,25 ± 0,533 a | 23,60 ± 0,451 a              | 0,149 ± 0,0036 a |
| T2          | 84,52 ± 0,786 b | 94,59 ± 0,526 b  | 8,05 ± 0,533 c  | 20,91 ± 0,451 b <sub>c</sub> | 0,067 ± 0,0036 d |
| T3          | 84,77 ± 0,786 b | 107,82 ± 0,526 c | 16,87 ± 0,533 b | 21,58 ± 0,451 b              | 0,092 ± 0,0036 b |
| T4          | 84,19 ± 0,786 b | 87,16 ± 0,526 d  | 8,83 ± 0,533 c  | 18,25 ± 0,451 d              | 0,066 ± 0,0036 c |

Los valores con la misma letra, dentro de cada variable, son significativamente iguales ( $p < 0,05$ ).

Values with the same letter, within each variable, are not significantly different ( $p < 0,05$ ).





**Figura 3. Plántulas con tubérculos de las variedades de papa nativa (a) “Peruanita” y (b) “Amarilla Tumbay”.**

**Figure 3. Seedlings with tubers of the native potato varieties (a) “Peruanita” and (b) “Amarilla Tumbay”.**

Los tamaños de tubérculo (TT) provenientes de los microtubérculos de la variedad “Peruanita” presentaron tamaños de un 79 % pequeño, 18 % mediano y 3 % grande; asimismo, para la variedad Amarilla Tumbay el 90 % fue pequeño, 9 % mediano y 4 % grande. Para el caso del TT provenientes de esquejes, la variedad Peruanita produjo un 82 % pequeño, 14 % mediano y 1 % grande; y la variedad Amarilla Tumbay presentó el 85 % pequeño, 14 % mediano y 1 % grande (Figura 4). Estos resultados son favorables para un programa de producción de semillas, donde lo óptimo es la producción de tubérculos pequeños y medianos en beneficio del productor (manejo y transporte).

possibly due to the behavior of the tissues in the temporary immersion system (SIT), where they are subjected to constant gas exchange and permanent contact with the liquid nutrient. Another of the positive factors presented by the SIT was the better quality of the root system before transplantation, which allowed the plants to be photosynthetically more adapted and with faster growth. Also, Andrade-Bolaños *et al.* (2017), reported an average yield of 3.75 kg.m<sup>2</sup> in the study of the varieties Superchola and Diacol Capiro

### **Conclusion**

The BIT technique improved the characteristics of the “Peruanita” and “Amarilla Tumbay” varieties,

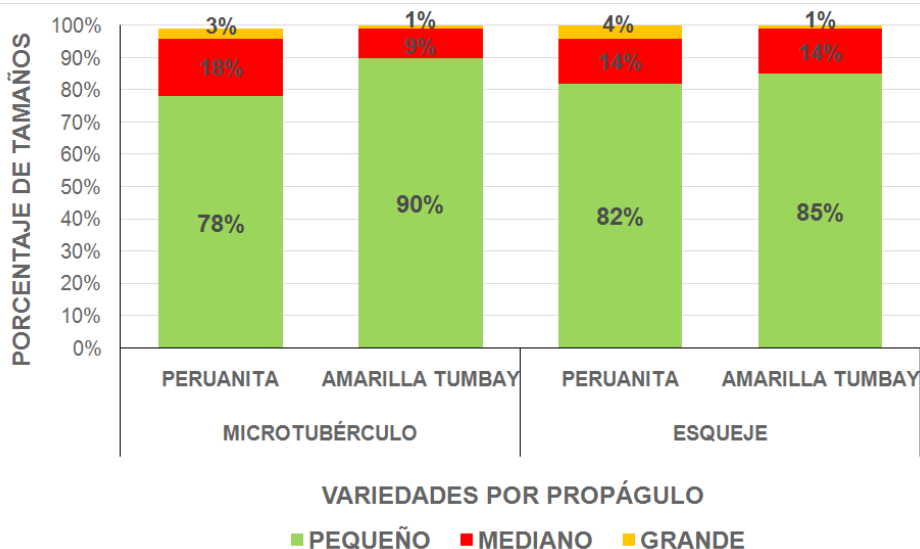


Figura 4. Tamaño de tubérculos con propágulos de Microtubérculo y Esqueje de la variedad “Peruanita” y “Amarilla Tumbay”.

Figure 4. Size of tubers with propagules of Microtubers and Cuttings of the varieties “Peruanita” and “Amarilla Tumbay”.

El color de piel del tubérculo de la variedad “Peruanita” y “Amarilla Tumbay” por cada propágulo se muestra en la figura 5. De ellos, los tubérculos provenientes de microtubérculo, el 97 % presentó un color amarillo y rojo y las provenientes del esqueje fueron un 98 %. Por otro lado, el color en la variedad “Amarilla Tumbay” proveniente de microtubérculo y esqueje presentaron un 100% de color amarillo. Los colores obtenidos para ambas variedades corresponden a las características propias de la variedad (Gómez *et al.*, 2008; INIA, 2009; MINAGRI *et al.*, 2017).

especialmente the survival of the seedlings, the number, diameter and weight of the tubers for the production of basic seed when they are obtained from microtubers with respect to the cuttings. Likewise, the seed tubers obtained from microtubers showed a better yield with an average of  $26.89 \pm 0.68$  kg.14.05 m<sup>-2</sup>.

It was shown that biotechnological methods to produce basic seed can be used for native potato varieties; this could allow meeting the demand of farmers, in order to guarantee the sustainable production of this crop. The studies taking into account other parameters on the quality of the basic seed must be developed.



**Figura 5. Color de los tubérculos obtenidos en las variedades nativas de papa (a) “Peruanita” y (b) “Amarilla Tumbay”.**

**Figure 5. Color of the tubers obtained in the native potato varieties (a) “Peruanita” and (b) “Amarilla Tumbay”**

### Rendimiento

Como se observa en el Cuadro 4 el rendimiento en un área determinada de 14,05 m<sup>2</sup> mostró que el T3 (Amarilla Tumbay x Microtubérculo) y T1 (Peruanita x Microtubérculo), presentan los máximos promedios con 27,24 ± 0,483 y 26,54 ± 0,483 kg respectivamente, con significancia estadística (p< 0,05). Lo que indica un buen rendimiento de los propágulos obtenidos de microtuberculos.

El mayor rendimiento de propágulos provenientes de microtubérculos (Cuadro 5) se debe posiblemente al comportamiento de los tejidos en el sistema de inmersión temporal (SIT) donde se encuentran sometidos a un intercambio gaseoso constante y contacto permanente con el medio nutritivo

### Acknowledgments

This work has been carried out jointly with the Laboratory of the *in vitro* culture of the Universidad Agraria La Molina, the Velacar Inversiones S.A.C. and the Faculty of Agronomy of the National University of the Center of Peru. This research was developed within the framework of the Project “Validation of the production of pre-basic seed of native potato varieties (*Solanum tuberosum* L.), obtained in a bioreactor system and direct sowing in the definitive field with the participation of the Pacamarca-Junín community”.

*End of English Version*

líquido. Otro de los factores positivos que presentó el SIT fue la mejor calidad del sistema radicular antes del trasplante, lo que permitió que las plantas sean fotosintéticamente más adaptadas y con

un crecimiento más rápido. También, Andrade-Bolaños *et al.*, 2017, reportaron un rendimiento promedio de 3,75 kg.m<sup>2</sup> en el estudio de las variedades Superchola y Diacol Capiro.

#### Cuadro 4. Análisis del rendimiento (R) para dos variedades de papa nativa (Peruanita y Amarilla Tumbay) para la producción de semilla básica de papa.

Table 4. Yield analysis (R) for two varieties of native potato (Peruanita and Amarilla Tumbay) for the production of basic potato seed

| Tratamiento | R (kg.14,05 m <sup>2</sup> ) | Estimación (t.ha <sup>-1</sup> ) | Significación |
|-------------|------------------------------|----------------------------------|---------------|
| T1          | 26,54 ±0,483                 | 18,89                            | a b           |
| T2          | 19,32 ±0,483                 | 13,75                            | d             |
| T3          | 27,24 ±0,483                 | 19,39                            | a             |
| T4          | 21,27 ±0,483                 | 15,14                            | c             |

A.L.S.(T)<sub>0,05</sub> = 1,37

A.L.S.(T)<sub>0,05</sub> = 1.37

#### Cuadro 5. Comparación del rendimiento para los dos niveles del factor propágulos para semilla básica de papa.

Table 5. Comparison of the yield for the two types of propagules for basic potato seed.

| O.M | Nivel                           | Promedio | Significación |
|-----|---------------------------------|----------|---------------|
| 1   | b <sub>1</sub> (Microtubérculo) | 26,89    | a             |
| 2   | b <sub>2</sub> (Esqueje)        | 20,30    | b             |

A.L.S.(T)<sub>0,05</sub> = 0,68

A.L.S.(T)<sub>0,05</sub> = 0.68

### Conclusión

Los microtubérculos obtenidos en los BIT influyen positivamente en las características de papa nativas “Peruanita” y “Amarilla Tumbay”, destacando en las variables supervivencia, número de tubérculos, diámetro de tubérculo y peso de tubérculos para la producción de semilla básica con respecto a los de esquejes; así mismo, los tubérculos

semillas obtenidos de microtubérculos presentaron un mejor rendimiento con un promedio de 26,89 ± 0,68 kg.14,05 m<sup>2</sup>.

Se demostró que los métodos biotecnológicos para producir semilla de categoría básica pueden ser utilizados para variedades de papa nativa; lo que podría permitir atender la demanda de los agricultores, a fin de garantizar la producción sustentable de este tubérculo, además continuar

los estudios teniendo en cuenta otros parámetros sobre la calidad de la semilla básica.

## Agradecimientos

El presente trabajo ha sido realizado conjuntamente con el Laboratorio de Cultivo *in vitro* de la Universidad Agraria la Molina, la empresa privada Velacar Inversiones S.A.C. y la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú, dentro del marco del Proyecto “Validación de la producción de semilla pre básica de variedades de papa nativa (*Solanum tuberosum* L.), obtenidas en sistema de biorreactores y la siembra directa en campo definitivo con participación de la comunidad de Pacamarca - Junín”.

## Literatura citada

- Andrade, H., F. Mullo y V. Roja. 2017. Sistema de Inmersión Temporal en la propagación de minitubérculos semilla de papa. Rev. Latinoam. papa. 21 (2): 97-105.
- Aguilar, M., C. Cruz, Z. Ortiz y J. Zeledón. 2016. Producción de Microtubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.), cultivar Burren, en biorreactores económicos de inmersión temporal. La Calera. 16(27): 75 -80.
- Albarrán, J., E. Salazar, I. Trujillo, A. Vegas, A. González, A. Díaz y A. Silva. 2014. Biorreactores de inmersión temporal para la propagación masiva de plantas. INIA Divulga. Revista de difusión de tecnología agrícola, pecuaria, pesquera y acuicola 60.
- Aragón, C., M. Escalona, I. Capote, D. Pina, I. Cejas y J. González. 2004. Evaluación del efecto de las condiciones generadas por Biorreactores de inmersión temporal sobre enzimas y procesos clave del metabolismo del carbono en plantas *in vitro* de plátano cv. CEMSA ¾. Biot. Veg. 4 (3): 147-152.
- Arcos, J. y D. Zúñiga. 2016. Rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas con capacidad para mejorar la productividad en papa. Rev. latinoam. papa. 20 (1): 19-31.
- Cadima, X. y I. López. 2018. Definición de repertorios de cultivares de papa para agricultores altoandinos en un contexto de cambio climático. Rev. latinoam. papa 22(1):38-48.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). 2006. Catálogo de variedades de papa nativa de Huancavelica-Perú. Lima, Perú. 208 p.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). 2010. Procedimientos para pruebas de evaluación de clones avanzados de papa. Guía para colaboradores internacionales. Lima, Perú. 25 p.
- Cruzat, R. 2009. Resultados y lecciones en sistema de inmersión temporal en especies anuales, frutales y vides. Proyecto de innovación en Regiones Metropolitanas, del Maule, del Biobío, y de los Ríos. Maule., CH. Fundación de innovación agraria. Ministerio de Agricultura de Chile. Chile.30 p.
- Donnelly, D., W. Coleman y S. Coleman. 2003. Potato microtuber production and performance: A review. Am. J. Potato Res. 80 (2): 103-115.
- Egúsquiza, B. 2014. La papa en el Perú. 2da. Edición. Oficina Académica de Extensión y Extensión de la Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú. 200 p.
- Fano, H., M. Ordinola y C. Velasco. 2011. Agregando valor a las papas nativas en el Perú: un análisis desde el enfoque de sistemas de innovación. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 97 p.
- García, L., M. Rodríguez, K. Dilhara, I. Méndez, M. La O, M. Pérez, Y. Alvarado, M. De Feria, N. Veitía, O. Hurtado, J. Castillo. 2016. Formación de minitubérculos de cuatro variedades cubanas de *Solanum tuberosum* L. en casa de cultivo. Biotecnología Vegetal 16(4). 203 – 214.

- Gómez, R., W. Rocas, M. Ordinola, K. Manrique, P. Julca y M. Timoteo. 2008. Papa nativa del Perú: Catálogo de variedades y usos gastronómicos. Primera Edición. Ministerio de Agricultura (MINAGRI). Lima, Perú. 115 p.
- Igarza, J., D. Agramonte, Y. Alvarado, M. De Fera y T. Pugh. 2012. Empleo de métodos biotecnológicos en la producción de semilla de papa. *Biot. Veg.* 12(2): 3-24.
- Igarza, J., M. De Fera, Y. Alvarado-Capó, T. Pugh, M. Pérez y D. Agramonte. 2013. Empleo de microtubérculos de papa cv. Andinita obtenidos en Sistema de Inmersión temporal para producir minitubérculos en casa de cultivo. *Biot. Veg.* 13(4): 209-217.
- Igarza, J., M. De Fera, Y. Alvarado, T. Pugh, M. Pérez, M. San Román. 2014. Caracterización morfo-agronómica de plantas de papa cv. 'Andinita' a partir de la siembra en campo de microtubérculos obtenidos en sistema de inmersión temporal. *Biot. Veg.* 14(2): 81- 89.
- Igarza, J., M. De Fera, Y. Alvarado, T. Pugh, J. Jaime, M. Pérez y D. Agramonte. 2015. Efecto del tipo de explante y la frecuencia de inmersión en la producción de microtubérculos de papa cv. Andinita en Sistemas de Inmersión Temporal. *Biot. Veg.* 15(2): 105-115.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). 2002. Variedades nativas y mejoradas de papa en Puno. Comité de Publicaciones de la Estación Experimental Agraria Illpa. Lima, Perú. 120 p.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). 2009. Caracterización morfológica y agronómica de 61 variedades nativas de papa. Coordinación Nacional de Programa de Investigación en papa. Huancayo, Perú. 343 p.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), Grupo Yanapai, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y Centro Internacional de la Papa (CIP). 2017. Catálogo de variedades de papa nativa del sureste del departamento de Junín, Perú. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 228 p.
- Montgomery, D. 2004. Diseño y Análisis de Experimentos. Segunda Edición. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México, D.F. 692 p.
- Montoya, N., D. Castro y G. Díaz. 2008. Tuberización *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad Diacol Capiro, en biorreactores de inmersión temporal y evaluación de su comportamiento en campo. *Ciencia* 16(3): 288-295.
- Morillo, A., Y. Morillo y M. Leguizamo. 2019. Caracterización morfológica y molecular de *Oxalis tuberosa* Mol. En el departamento de Boyacá. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 21 (1): 18-28.
- Ochoa, C. 1999. Las papas de Sudamérica. Centro Internacional de la Papa, Lima. 1036 p.
- Reategui, K., A. Nazario, O. Ricardo y E. Aguirre. 2019. Fenología y rendimiento de cuatro variedades de papa en el Altiplano peruano. *Sci. Agropecu.* 10 (2): 265-274.
- Soto, J., T. Medina, Y. Aquino y R. Estrada. 2014. Diversidad genética de papas nativas (*Solanum* spp.) conservadas en cultivares nativos del Perú. *Rev. Perú. biol.* 20(3): 215 – 222.
- Tapia M., J. Carlos, O. Mosqueda y M. Escalona. 2017. Obtención de microtubérculos y minitubérculos como semilla pre-básica en tres cultivares peruanos de papa. *Biot. Veg.* 17 (3): 161-199.