

CALIDAD POSCOSECHA DEL ÑAME (*Dioscorea alata* L.) EN COSTA RICA: FACTORES QUE AFECTAN DURANTE EL CURADO Y ALMACENAMIENTO DEL TUBÉRCULO

Maricruz Ramírez-Sánchez^{1/*}, Johanny Castro-Chinchilla², Marco Vinicio Sáenz-Murillo³,
Gerardina Umaña-Rojas⁴

Palabras clave: tubérculos; poscosecha; estría; moho; pudrición; nematodo.

Keywords: tubers; postharvest; striae; mold; rot; nematode.

Recibido: 20/05/24

Aceptado: 02/07/24

RESUMEN

Introducción. El ñame es un cultivo importante en varias regiones de Costa Rica. A pesar de ello, las pérdidas poscosecha son altas y no están cuantificadas. **Objetivo.** El estudio se realizó para determinar las causas del deterioro de calidad y pérdidas poscosecha en zonas productoras de ñame ubicadas en los cantones localizados en las provincias de Alajuela, Heredia y Limón. **Materiales y métodos.** Se determinó la calidad de los tubérculos en dos momentos del proceso poscosecha: 1) durante la etapa de curado (15 a 30 días a 25-30°C y 85% HR) y 2) al finalizar la simulación de envío a mercado (16°C y 85% HR durante 28 días). En ambas etapas se midieron las siguientes variables de calidad: peso; longitud; número de golpes por tubérculo y número de estrías abiertas o cerradas por

tubérculo; incidencia de moho superficial y de corte, pudrición externa e incidencia de pudrición por nematodos. **Resultados.** Al finalizar el curado, la presencia de estrías abiertas fue importante en algunas zonas (30% incidencia en San Carlos), la presencia de mohos superficiales y en corte de cosecha (hasta 21% incidencia de ambos factores en Upala), los daños por nematodos (35 % incidencia en Pococí), aunado a variaciones de tamaño (largo, ancho y peso) fueron factores importantes de pérdidas. Concluida la simulación de transporte, la presencia de daños por nematodos (hasta 35% incidencia), presencia de moho superficial (15% incidencia) y en el corte de cosecha (hasta 49% incidencia), y pudriciones externas (hasta 5% incidencia) fueron causas relevantes de pérdidas. **Conclusión.** Los resultados apuntan hacia la necesidad de hacer en las zonas de estudio, una revisión integral de

* Autora para correspondencia. Correo electrónico: maricruz.ramirezsanchez@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.
 0000-0002-8933-7931.

2 Plant Pathology Laboratory, Fruit Research and Extension Center, Penn State University, Pennsylvania, USA.
 0000-0003-4866-3295.

3 Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.
 0000-0001-6718-0622.

4 Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.
 0000-0002-6368-5225.

las prácticas de cultivo y poscosecha con el fin de reducir los factores causantes de los defectos de calidad identificados.

ABSTRACT

Postharvest quality of yam (*Dioscorea alata* L.) in Costa Rica: Factors that affect during curing and tuber storage. Introduction.

The yam is an important crop in several regions of Costa Rica. However, postharvest losses are high and not quantified. **Objective.** This study was conducted to determine the causes of quality deterioration and postharvest losses in yam-producing areas located in the provinces of Alajuela, Heredia, and Limón. **Materials and methods.** The quality of the tubers was determined at two postharvest stages: 1) during the curing stage (15 to 30 days at 25-30°C and 85% RH) and 2) at the end of the market shipping simulation (16°C and 85% RH for 28 days). The

following quality variables were measured in both stages: weight, length, number of impacts per tuber, number of open or closed striae per tuber, incidence of surface and cut mold, external rot, and incidence of nematode rot. **Results.** At the end of curing, the presence of open striae was significant in some areas (30% incidence in San Carlos), the presence of surface and cutting mold at harvest (up to 21% incidence of both factors in Upala), nematode damage (35% incidence in Pococi), along with size variations (length, width, and weight) were important factors contributing to losses. At the end of the transportation simulation, the presence of nematode damage (up to 35% incidence), surface mold (15% incidence), cutting mold (up to 49% incidence), and external rot (up to 5% incidence) were significant causes of losses. **Conclusion.** The results suggest that in the region of the study, a comprehensive review of cultivation and postharvest practices is necessary in order to reduce the factors causing the identified quality defects.

INTRODUCCIÓN

Las raíces y tubérculos (incluido el ñame), son alimentos básicos en la dieta humana para millones de personas en África, Asia y América (FAO 2020a). Los principales países productores de ñame son Nigeria, Ghana, Costa de Marfil, Benín y Etiopía (FAO 2020b). En el 2018, en Etiopía y Ghana se tuvieron rendimientos de 29,9 y 17,5 ton ha⁻¹, respectivamente, mientras que Costa Rica reportó 15 ton ha⁻¹ (FAO 2020b). En el 2019 el ñame fue el segundo producto de mayor exportación de Costa Rica (PROCOMER 2020). Los principales destinos para el período comprendido entre 2014 y 2019 fueron Estados Unidos, Puerto Rico, otras islas del Caribe y la Unión Europea, con un promedio anual de ingresos por exportaciones de US\$ 9,8 millones (PROCOMER 2020).

Las prácticas agronómicas y el manejo del cultivo del ñame en el campo, repercuten en la calidad final de los productos. Por ejemplo,

Castellanos *et al.* (2018) usaron el tutorado con espaldera simple y lograron mayor cantidad de tubérculos comerciables en comparación con un tutor por planta y una espaldera doble. Estos autores mencionan que se produce mayor cantidad de tubérculos comerciables con una densidad de siembra baja (14 285 plantas ha⁻¹). Asimismo, Suja y Sreekumar (2014) al evaluar tres variedades bajo manejo convencional, tradicional y orgánico encontraron que bajo un manejo orgánico se obtuvo un mayor rendimiento (ton ha⁻¹), pero sin diferencias en la calidad de los tubérculos en cuanto a materia seca, almidón, proteína, azúcares, azúcares reductores y fenoles en comparación con los otros dos sistemas.

En Brasil, Bertino *et al.* (2022) establecieron que el tutorado y una dosis de 120,7 kg ha⁻¹ de N promueven una productividad máxima, mientras que en África del Oeste Pouya *et al.* (2022) encontraron influencia en el rendimiento por la cantidad y distribución de lluvia, así como

el contenido de carbono en el suelo. Por otra parte, los resultados de Okongor *et al.* (2021) demostraron que la radiación solar es un predictor significativo de la producción de ñame, y sugieren que otros factores no climáticos tuvieron mayor influencia.

Por otro lado, el manejo poscosecha del ñame varía dependiendo de la tecnología disponible en el país productor y su mercado destino (tanto local como de exportación) (Lebot 2009). En Costa Rica, dicho manejo consiste comúnmente en los siguientes procesos: 1) lavado con agua a presión, 2) preselección manual, 3) secado mediante aire caliente, 4) etapa de curado, y 5) selección manual del producto de exportación y empaque. Según Okigbo (2003), las principales causas de deterioro poscosecha en este cultivo, son la pérdida de peso por deshidratación, brotación y el desarrollo de mohos o pudriciones provocadas por hongos, bacterias y nematodos, cuyas pérdidas pueden alcanzar entre 10% a 25%, las cuales se agravan cuando se producen heridas durante el manejo poscosecha (Aboagye-Nuamah *et al.* 2005). En adición a lo anterior, los procesos de oxidación en el tejido resultan de las heridas y la alta temperatura, o durante el empaque y el almacenamiento. Todos estos problemas se dan de manera más intensa cerca del daño o del corte, con un gradiente de desarrollo hacia la parte interna del tubérculo (Coelho Júnior *et al.* 2018).

A nivel mundial se han aislado patógenos que afectan el tubérculo de ñame tanto en campo como en su etapa poscosecha, entre ellos los hongos: *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp., *Rhizopus* spp., *Curvularia* spp., *Rosellinia* sp., *Sphaerostilbe* sp., *Pestalotia* sp., *Choanephora* sp., *Lasiodiplodia theobromae*, *Amillaria mellea*, *Geotrichum candidum*, *Hendersonula toruloides*, *Macrophomina phaseolina*, *Mucor circinelloides*, *Fusarium equiseti*, *Aspergillus niger*, y *Colletotrichum alatae*; así como las bacterias: *Erwinia* spp. y *Serratia* sp. (Okigbo y Ikediugwu 2000, Amusa *et al.* 2003, Okigbo 2005, Okigbo y Ogonnaya 2006, Okigbo y Emeka 2010,

Sánchez-López *et al.* 2021, Ntui *et al.* 2021). En Costa Rica, López (2008) encontró la presencia de *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp. como hongos que atacan el tubérculo en poscosecha, mientras que Humphreys-Pereira *et al.* (2017) describieron al nematodo *Scutellonema bradys* como causante del síntoma de pudrición seca.

No obstante lo anterior y en consideración a la importancia de este cultivo en la economía local (Izquierdo 2023), en Costa Rica no se encuentra información actualizada sobre el impacto que tienen las prácticas agrícolas y de manejo poscosecha sobre la calidad final del ñame, por lo que el objetivo de este estudio fue caracterizar la calidad poscosecha y la cuantificación de los principales patógenos asociados al deterioro durante el curado y almacenamiento del tubérculo de ñame del trópico húmedo de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio y material vegetal

El presente estudio, se realizó con tubérculos de ñame de la variedad “Diamantes 22” destinados para exportación. Las evaluaciones se hicieron en planta empacadora durante dos años (junio 2016-junio 2018). El material vegetal se cosechó en las zonas productoras de San Carlos, Los Chiles, Upala, Guatuso y San Ramón de la provincia de Alajuela, en Sarapiquí de la provincia de Heredia y en Pococí de la provincia de Limón. En Pococí se muestrearon cinco fincas. De acuerdo con la escala de zonas de vida de Holdridge (1982), Los Chiles, Upala y Pococí se ubican dentro del Bosque Húmedo Tropical, Sarapiquí en Bosque muy Húmedo Tropical, San Ramón en Bosque muy Húmedo Premontano, Guatuso en Bosque muy Húmedo Premontano Transición a Basal y San Carlos en Bosque Húmedo Tropical Transición a Perhúmedo. La altitud, y los promedios de temperatura y precipitación durante el estudio se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características morfológicas y climáticas de las zonas productoras de ñame en Costa Rica muestreadas durante junio 2016-junio 2018.

Zona	2016				2017				2018				
	Altitud (m)	Temperatura (°C)	DE*	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	DE*	Precipitación (mm)	DE*	Temperatura (°C)	DE*	Precipitación (mm)	DE*	
San Carlos	170,0	24,7	0,9	306,6	170,0	24,7	0,7	358,2	175,1	24,3	0,7	372,2	210,8
Los Chiles	40,0	25,7	1,0	176,1	124,3	25,6	0,8	193,2	137,7	25,0	0,7	215,2	134,9
Upala	43,0	26,0	1,1	188,8	157,2	25,7	0,8	242,8	148,5	25,3	0,8	236,2	131,7
Guatuso	250,0	25,6	0,8	324,1	70,8	25,3	0,5	344,9	211,1	25,4	0,7	291,0	188,3
San Ramón	292,0	22,2	0,9	115,9	91,0	21,7	0,6	175,4	146,4	21,7	0,5	89,5	74,6
Sarapiquí	178,0	25,6	0,8	257,3	153,6	25,5	0,8	260,9	135,8	24,8	0,8	377,1	278,8
Pococí	262,0	24,8	1,2	304,8	157,9	25,7	0,9	274,8	150,2	24,6	0,8	341,8	176,1

*DE: Desviación estándar.

Se determinó la calidad de los tubérculos en dos momentos específicos del proceso poscosecha: 1) durante la etapa de curado, que corresponde al periodo de almacenamiento en planta empacadora por varios días para cicatrización previo a la selección y empaque, y 2) durante la simulación de envío a mercado (almacenamiento en frío). Las evaluaciones de ambos momentos se realizaron en periodos diferentes del año, por lo que corresponden a evaluaciones separadas. La cantidad de muestreos en los dos momentos se describen en la Tabla 2. En los ensayos de simulación de envío a mercado se evaluaron las mismas muestras en dos momentos: 1) recién empacadas y 2) posterior al periodo de almacenamiento. El almacenamiento simuló las condiciones y tiempo de envío a mercados internacionales al mantenerse en cámaras de refrigeración a una temperatura de 16°C con aproximadamente 85-90% HR durante 28 días, en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (LTP-CIA-UCR).

Tabla 2. Número de muestreos de tubérculos de ñame realizados en zonas productoras de Costa Rica durante el proceso de curado y almacenamiento.

Zona	Etapa curado	Etapa simulación de envío
San Carlos	1	1
Los Chiles	2	-
Upala	2	-
Guatuso	2	1
San Ramón	1	-
Sarapiquí	2	-
Pococí	7	5

Evaluaciones durante etapa de curado

Se evaluaron un total de 50 tubérculos seleccionados al azar durante la etapa de curado (15 a 30 días a 25-30°C y 85% HR) en 17 lotes provenientes de las siete zonas de producción antes mencionadas (n=850). Se les midieron las siguientes variables de calidad: peso; longitud; número de golpes por tubérculo (descascarado en la superficie) y número de estrías abiertas

o cerradas por tubérculo; incidencia de moho superficial y de corte, pudrición externa e incidencia de pudrición por nematodos.

El número de lotes muestreados por región fue diferente debido a que algunas de las empacadoras visitadas procesan un volumen mayor de tubérculos durante el año y también reciben ñames de diversos productores, lo que facilitó el muestreo de una mayor cantidad de lotes. Por lo tanto, para las variables de calidad en las que se reporta incidencia, esta se basó en el total de ñames evaluados para cada una de las regiones productoras.

A continuación se detallan cada una de las variables de calidad y los métodos correspondientes:

Peso del tubérculo (g): Se determinó con una balanza digital (OHAUS ARC120, Parsippany, New Jersey, USA) con precisión de $\pm 0,1$ g.

Longitud del tubérculo (cm): Se midió con regla graduada de 1 m desde la base del corte hasta el extremo distal.

Daños mecánicos: Se examinaron los tubérculos en busca de estrías abiertas, estrías cerradas y número de golpes por tubérculo. Como estría abierta se definió aquella grieta o estría no cicatrizada que por su conformación facilita la entrada de microorganismos, y como estría cerrada aquellas grietas cicatrizadas. Los golpes se definieron como los puntos de descascarado, consecuencia de la manipulación del tubérculo durante la cosecha, transporte y procesamiento poscosecha en la empacadora.

Deformaciones: Los tubérculos fueron examinados y se seleccionaron dentro de esta categoría aquellos que dificultan el empaque de estos en una caja de exportación debido a malformaciones. Se utilizó este criterio subjetivo debido a que las empacadoras visitadas no contaban con normas específicas para definir este parámetro de calidad.

Hongos: Se identificó la aparición de moho superficial y presente luego de un corte en el tubérculo (crecimiento de micelio y/o esporulación, sin necrosis evidente) así como pudrición

(necrosis evidente). Se contabilizó el número de tubérculos con desarrollo de micelio en el corte o superficie para todos los muestreos con el fin de obtener el porcentaje de incidencia.

Nematodos: Se identificaron daños externos y/o internos, en adición a pudrición interna que se asociaron con la presencia de nematodos. Para ello, se realizó un corte longitudinal y se determinó el número de ñames con pudrición interna o pudrición por nematodos, denominada por los productores como “carbón” la cual consistió en una pudrición seca de color oscuro. Se corroboró el nematodo como agente causal mediante análisis de estos tubérculos en el Laboratorio de Nematología del Centro de Investigación en Protección de Cultivos de la Universidad de Costa Rica (LN-CIPROC-UCR). Por último, se determinó la incidencia de estos daños como porcentaje, con base en conteos del número de ñames afectados en cada lote evaluado. Además de corroborarse la presencia de los nematodos, en el LN-CIPROC-UCR se realizaron extracciones de los nematodos a partir del tejido afectado, se identificó la especie presente y los resultados se reportan como el número de individuos por cada 100 g de tejido.

Experimentos de simulación de envío a mercado

Para este ensayo se obtuvieron muestras de siete fincas productoras de ñame, ubicadas en tres regiones: Pococí (cinco fincas), Guatuso y San Carlos. En cada una de las cuatro plantas empacadoras tomadas como referencia se seleccionaron de forma aleatoria cinco cajas de tubérculos de aproximadamente 23 kg, empacados y listos para exportación. Se les determinaron las mismas variables mencionadas para la etapa de curado. También, se realizaron evaluaciones destructivas de calidad interna a cinco ñames por caja seleccionados al azar.

Posteriormente, los tubérculos fueron almacenados en cámaras de enfriamiento a 16°C durante 28 días, en el LTP-CIA-UCR. Al finalizar el tiempo de simulación de envío a mercado, se seleccionaron cinco tubérculos por caja, los

cuales fueron etiquetados y pesados antes del inicio del almacenamiento a 16°C para determinar el porcentaje de pérdida de peso.

En adición a lo anterior, se evaluó: la incidencia de moho sobre la superficie y sobre el corte, y la incidencia de pudrición externa en cada tubérculo evaluado. Se realizó un corte longitudinal para estimar la incidencia de síntomas internos por nematodos, pudriciones u otros defectos de calidad presentes en la pulpa. En los ñames que presentaron síntomas se tomaron segmentos de dos mm de la zona de avance para ser cultivados *in vitro* en un medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) acidificado. Una vez que se obtuvo crecimiento de microorganismos, se procedió con la identificación morfológica y molecular a nivel de género o especie. La identificación morfológica de los hongos se realizó en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (LTP-CIA-UCR). Para identificación molecular se analizaron las secuencias de ADN de las regiones de los espaciadores internos transcritos ITS1 e ITS2 en el Laboratorio de Técnicas Moleculares del Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos de la Universidad de Costa Rica (LTM-CIPROC-UCR).

Para corroborar la presencia de nematodos, se colectaron 20 muestras con evidencia del síntoma de pudrición seca. La identificación y cuantificación se hizo en el Laboratorio de Nematología del Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos de la Universidad de Costa Rica (LN-CIPROC-UCR).

Análisis de datos

Debido a la variabilidad de las muestras obtenidas, los datos se analizaron mediante técnicas de estadística descriptiva. Para ello se utilizó el paquete “Agricolae” del programa estadístico R Studio (R v. 4.0.4, 2021-02-15) “Lost Library Book” (R StudioTeam 2015).

RESULTADOS

Defectos de calidad y enfermedades identificadas en los tubérculos de ñame

Al observar las muestras procedentes de las zonas de producción, se encontró diversidad en daños y defectos en los tubérculos. Los más comunes son los daños producto de los golpes (daño mecánico) que resultan en un descascarado (Figura 1A). También se encontraron daños en forma de estrías abiertas (Figura 1B) y cerradas o cicatrizadas (Figura 1C), las cuales se asocian a un déficit hídrico durante la formación del tubérculo u otro tipo de daño mecánico. No había un criterio uniforme entre empacadoras con respecto al ñame deformado, por lo que se definió como aquel que presentaba una malformación severa, la cual dificulta su acomodo en un empaque comercial (Figura 1D).

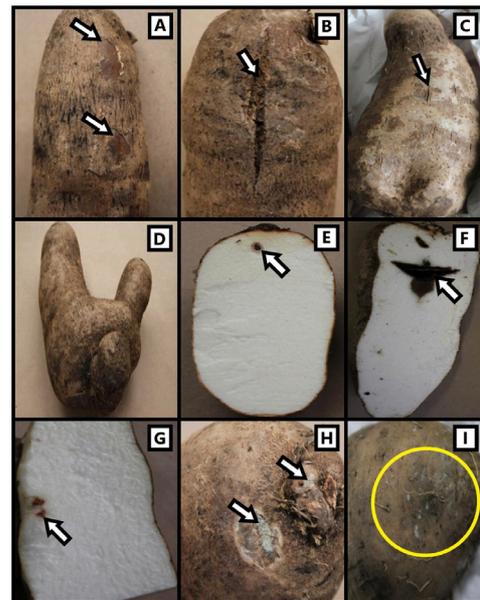


Figura 1. Principales defectos de calidad en ñames de la variedad Diamantes-22 procedentes de siete zonas de Costa Rica. A: Descascarado; B: Estría abierta; C: Estría cicatrizada; D: Deformación; E: Galería leve; F: Galería severa; G: Pudrición interna; H: Moho en corte; I: Moho superficial.

En adición a los daños externos mecánicos o fisiológicos del ñame, se evaluaron los daños internos. En ese sentido, las Figuras 1E y 1F muestran un síntoma leve y uno severo que se denominaron galerías internas. No se asoció la presencia de algún patógeno con los síntomas galería leve y galería severa, las cuales consistieron en galerías cicatrizadas en la pulpa de los tubérculos, sin la presencia de síntomas externos.

En la Figura 1G se muestra un avance de una lesión inolora y localizada que podría haberse originado durante la formación del ñame, conocida como pudrición interna, que inicia desde afuera hacia el interior de la pulpa. También se encontraron muestras de ñame con síntomas asociados al crecimiento de moho en el corte (Figura 1H) y del crecimiento de moho en la superficie del tubérculo (Figura 1I).

Por otro lado, se evaluaron los daños asociados con el desarrollo de patógenos. En la Figura 2 se presentan los aislamientos recuperados a partir de las pudriciones internas de los tubérculos, los cuales no mostraron algún microorganismo predominante que causara los daños observados. De los aislamientos realizados *in vitro*, únicamente *Penicillium* sp. tuvo una frecuencia del 53%, mientras que el resto presentaron frecuencias entre 2% y 10%. También se corroboró la presencia del nematodo *Scutellonema bradys* en ñames con pudrición seca interna, o “carbón” (Figura 3). El síntoma inicial consiste en áreas de

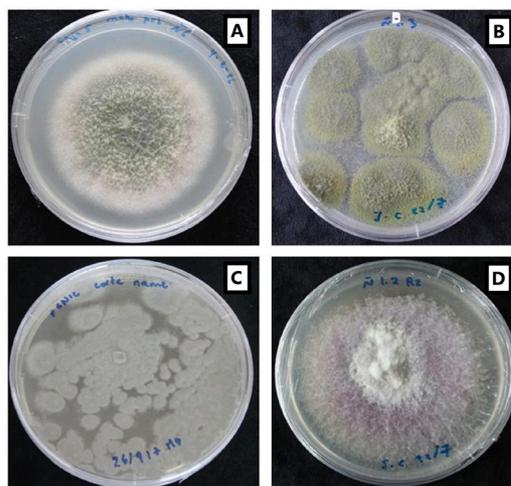


Figura 2. Colonias de microorganismos obtenidas de pudriciones internas de los tubérculos de ñame variedad Diamantes-22 procedentes de siete zonas de Costa Rica, empleadas para la identificación de los hongos *Talaromyces amestolkiae* (A); *Talaromyces pinophilus* (B); *Penicillium* sp. (C); *Fusarium oxysporum* (D).

color amarillento que posteriormente se tornan café claro a café oscuro y finalmente adquieren la característica coloración negra. Usualmente la pudrición profundiza hasta dos cm hacia el interior del tubérculo. Sin embargo, en síntomas con mayor grado de severidad se reporta que la profundidad puede ser mayor.

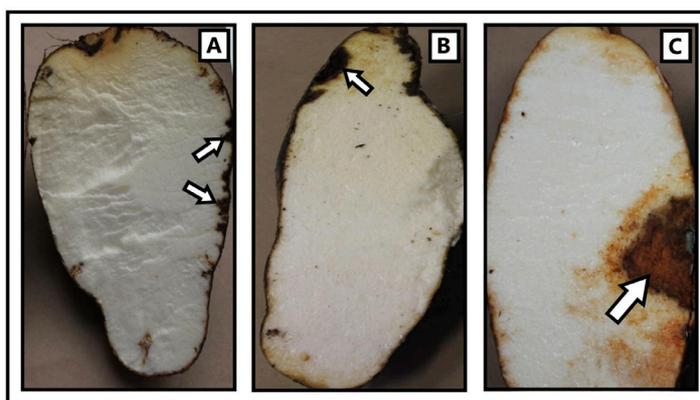


Figura 3. Síntomas leve (A), intermedio (B) y severo (C) del daño conocido como “carbón” ocasionado por *Scutellonema bradys* en tubérculos de ñame Diamantes-22 procedentes de siete zonas de Costa Rica.

En el total de muestras procesadas ($n=20$), se encontró presencia de *S. bradys* en un promedio de 131023 nematodos en 100 g de tejido, con un máximo de 533200 y un mínimo de 210 nematodos en 100 g de tejido.

Evaluaciones de calidad durante la etapa de curado

Peso: De forma general, los tubérculos muestreados durante la etapa de curado presentaron un peso promedio entre los 600-800 gramos (Figura 4), donde los valores menores de peso se obtuvieron en las muestras tomadas del cantón de San Ramón (550 g) y las muestras con mayor peso promedio (850 g) se reportaron en las procedentes del cantón de Pococí (Figura 4).

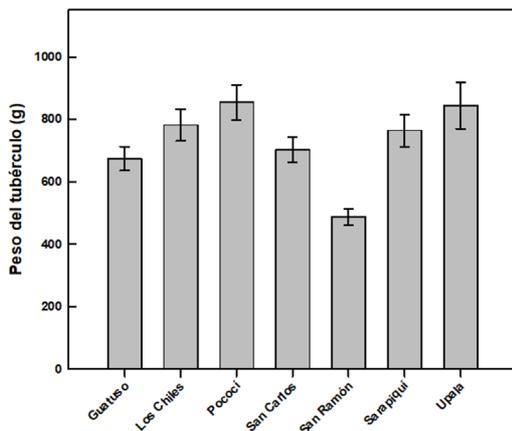


Figura 4. Peso promedio de ñames provenientes de zonas productoras de Costa Rica colectados durante la etapa de curado (junio 2016-junio 2018). Barras de error como error estándar.

Longitud: Los valores promedio obtenidos presentaron un rango de 14-22 cm (Figura 5). En las zonas de Sarapiquí y Pococí, las cuales se encuentran más cercanas al Caribe de Costa Rica, se cosecharon los ñames con mayor longitud (20-22 cm) (Figura 5).

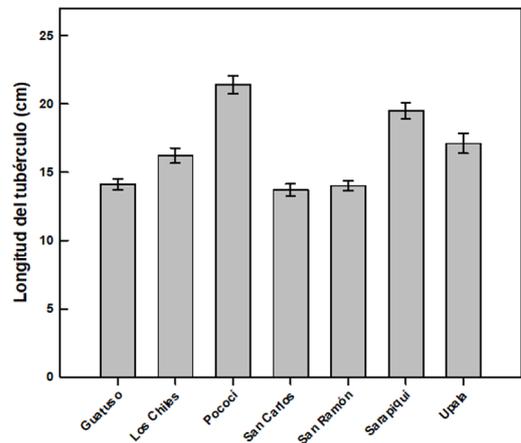


Figura 5. Longitud promedio de ñames provenientes de zonas productoras de Costa Rica colectados durante la etapa de curado (junio 2016-junio 2018). Barras de error como error estándar.

Golpes: Los ñames evaluados en la etapa de curado presentaron un promedio de uno a cinco golpes, representados como descascarado (datos no mostrados). Los originarios del cantón de San Carlos presentaron entre uno a dos golpes por ñame, lo que evidencia un menor daño mecánico en los procesos de cosecha y poscosecha. El porcentaje de ñames deformados se mantuvo entre 3% y 8%, con excepción de los del cantón de Guatuso, donde se obtuvo un 14% (datos no mostrados).

Daños causados por hongos y nemátodos: Estas variables se resumen en la Tabla 3, donde se destacan las diferencias entre zonas con respecto a la incidencia de estría abierta o estría cerrada. Sobresalen los ñames del cantón de San Carlos por la incidencia más alta de estría abierta con un 30%. En las variables de moho superficial y de corte, los ñames procedentes del cantón de Upala presentaron las mayores incidencias, con valores mayores a 20%. Llama la atención que los ñames cosechados en las fincas ubicadas en los cantones de Guatuso y San Carlos no presentaron síntomas de mohos (Tabla 3). Por otro lado, los ñames con mayor presencia de pudrición externa fueron obtenidos en el cantón Upala (7% de incidencia), seguido de los ñames aportados por las fincas del cantón San Ramón (4% de incidencia).

Tabla 3. Incidencia de estrías, moho, pudriciones y daño externo por nematodos en tubérculos de ñame muestreados al finalizar etapa de curado, provenientes de zonas productoras de Costa Rica (junio 2016-junio 2018).

Zona	Estría abierta	Moho superficial	Moho corte	Pudrición externa	Daño externo por nematodos
	Incidencia (%)				
Guatuso	3	0	0	2	0
Los Chiles	12	5	5	1	0
Pococí	6	1	10	1	3
San Carlos	30	0	0	0	2
San Ramón	2	6	6	4	2
Sarapiquí	7	3	3	2	3
Upala	9	21	21	7	0

En cuanto a la incidencia de daño externo por nematodos, se registraron valores muy bajos de incidencia (<3%) en los tubérculos cultivados en los cantones de San Carlos, San Ramón y Pococí, mientras que en los de los cantones de Guatuso, Los Chiles y Upala no presentaron síntomas durante la etapa de curado (Tabla 3).

Ensayos de simulación de envío a mercado

Peso: Los valores promedio de los pesos obtenidos en los productos seleccionados previo a su envío para exportación variaron entre 724-1044 gramos (Figura 6). Se observó una gran diversidad en los pesos de los ñames provenientes del cantón de Pococí, en los que sobresalen por el mayor peso los cosechados de las fincas 2 y 4 de Pococí, con valores promedio respectivos de 984,3 y 1044,2 g, respectivamente, mientras que en la finca 3 del mismo cantón se obtuvo un promedio de 724,3 g (Figura 6).

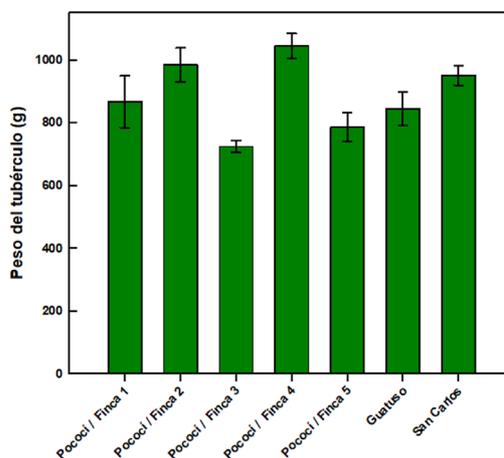


Figura 6. Peso promedio de ñames provenientes de zonas productoras de Costa Rica previo a simulación de envío (junio 2016-junio 2018). Barras de error como error estándar.

Longitud: Los ñames muestreados previo al envío a mercado presentaron una variación entre 18,8 y 27,0 cm de longitud (Figura 7), lo cual sugiere una selección relativamente uniforme en las plantas empacadoras. Los ñames que presentaron los mayores valores de longitud se obtuvieron del cantón de San Carlos con un promedio de 27,0 cm, mientras que los de menor longitud (18,8 cm en promedio) provenían del cantón de Guatuso.

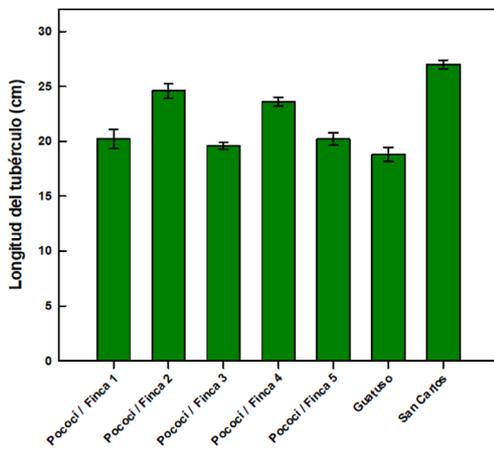


Figura 7. Largo promedio de ñames provenientes de zonas productoras de Costa Rica previo a la simulación de envío a mercado (junio 2016-junio 2018). Barras de error como error estándar.

Daño mecánico: En la etapa previa al envío a mercado, los tubérculos evaluados presentaron de 1 a 4 golpes entre las zonas evaluadas (Figura 8). De forma similar a lo visto en la variable peso (Figura 6), se observó una gran variabilidad en la cantidad de golpes (descascarado) en los ñames de las fincas que provenían del cantón Pococi.

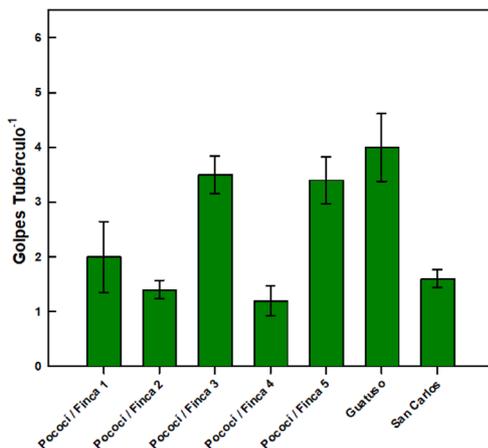


Figura 8. Promedio de golpes previo a simulación de envío, en ñames provenientes de zonas productoras de Costa Rica (junio 2016-junio 2018). Barras de error como error estándar.

Daño causado por hongos y nemátodos:

En la Tabla 4 se muestran los valores de incidencia de moho superficial, moho en el corte y pudrición externa en ñames recién empacados y en la evaluación realizada al finalizar la simulación de envío de 28 días a 16°C. Se apreció que, en el ñame recién empacado de la mayoría de las fincas del cantón de Pococi, se evidenciaba el crecimiento de moho en el corte y en algunos casos, moho superficial y pudriciones, lo cual muestra la necesidad de mejorar el proceso de selección previo al empaque para garantizar una menor presión del inóculo. El moho normalmente se desarrolla durante el transporte e incrementa la incidencia de este defecto de calidad, como lo indican los datos registrados luego de 28 días de almacenamiento a 16°C y 85-90% HR con incidencias entre 26,1% y 49,6% (Tabla 4). También se advirtió un incremento en la incidencia de moho sobre la superficie de los tubérculos al finalizar el almacenamiento, donde únicamente en la finca 5 del cantón de Pococi y la del cantón de Guatuso no se presentó este defecto, mientras que en las demás fincas y regiones se obtuvieron valores entre 4,3% y 15,2%. Se encontró una mayor incidencia de pudriciones al finalizar el almacenamiento en comparación con los ñames recién empacados, alcanzándose como máximo un 4,7% en las fincas 3 y 4 del cantón Pococi.

Tabla 4. Incidencia de moho y pudrición en tubérculos de ñame recién empacados y luego de 28 días de almacenamiento a 16°C y 85-90% HR, provenientes de zonas productoras de Costa Rica (junio 2016-junio 2018).

Zona/Finca	Tubérculos recién empacados			Tubérculos 28 días después		
	Incidencia (%)					
	Moho superficial	Moho corte	Pudrición externa	Moho superficial	Moho corte	Pudrición externa
Pococi/ Finca 1	10,0	10,0	0,0	15,2	49,6	3,0
Pococi/ Finca 2	0,0	22,2	0,0	5,3	18,4	2,6
Pococi/ Finca 3	0,0	3,1	1,6	14,1	42,2	4,7
Pococi/ Finca 4	0,0	0,0	3,2	14,1	42,2	4,7
Pococi/ Finca 5	0,0	8,5	0,0	0,0	29,8	0,0
Guatuso	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	2,2
San Carlos	1,1	0,0	2,1	4,3	26,1	0,0

La incidencia de nematodos, galerías y pudriciones internas observadas en diferentes lotes de ñame recién empacados y luego del almacenamiento se detalla en la Tabla 5. Los nematodos se presentaron en los ñames provenientes de fincas del cantón Pococi. No se asoció la presencia de algún patógeno con los síntomas

conocidos como galería leve y galería severa (síntoma descrito en la Figura 1). Los ñames originarios del cantón San Carlos no presentaron incidencia de galerías leves ni severas. Por otro lado, la pudrición interna presentó una incidencia entre 1,8% y 19,4% luego de 28 días de almacenamiento (Tabla 5).

Tabla 5. Incidencia de nematodos, galerías y pudriciones internas en tubérculos de ñame recién empacados y luego de 28 días de almacenamiento a 16°C y 85-90% HR, provenientes de zonas productoras de Costa Rica (junio 2016-junio 2018).

Zona/Agricultor	Tubérculos recién empacados				Tubérculos 28 días después			
	Incidencia (%)							
	Nem*	GL*	GS*	P*	Nem*	GL*	GS*	P*
Pococi/ Finca 1	35,0	0,0	0,0	10,0	14,3	20,5	22,3	1,8
Pococi/ Finca 2	16,7	4,2	8,3	8,3	14,0	7,0	15,8	15,8
Pococi/ Finca 3	13,3	13,3	0,0	0,0	5,1	19,0	7,6	5,1
Pococi/ Finca 4	13,3	13,3	13,3	6,7	16,1	16,1	3,2	19,4
Pococi/ Finca 5	12,0	12,0	0,0	0,0	15,1	9,6	1,4	4,1
Guatuso	0,0	20,0	0,0	16,0	0,0	6,2	0,0	13,8
San Carlos	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	16,0

*Nem= nematodos; GL= galería leve; GS= galería severa; P= pudrición interna.

Pérdida de peso: La pérdida de peso en el tubérculo posterior a 28 días de almacenamiento osciló entre 1% y 4,8% entre los lotes muestreados (Figura 9). Hubo diferencias de hasta un 3% en los muestreos de las fincas del cantón Pococí, lo que sugiere que los ñames presentaron problemas de calidad que incidieron en un aumento de la pérdida de peso. Los tubérculos provenientes del cantón San Carlos registraron un bajo porcentaje de pérdida de peso (Figura 9).

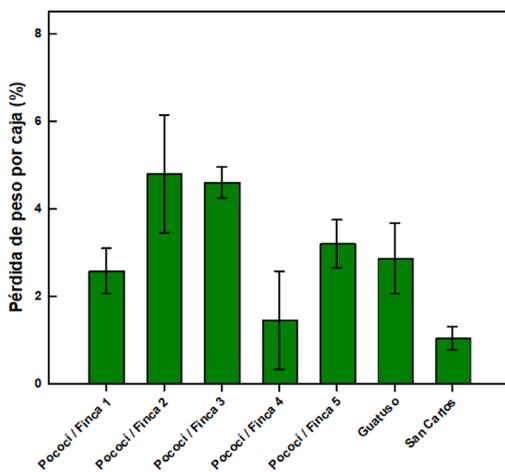


Figura 9. Porcentaje promedio de pérdida de peso en ñames provenientes de zonas productoras de Costa Rica almacenados durante 28 días a 16°C y 85-90% HR (junio 2016-junio 2018). Barras de error como error estándar.

DISCUSIÓN

Situación actual del manejo poscosecha del ñame en Costa Rica

El cultivo del ñame resulta de suma importancia en las economías locales de Costa Rica, donde no solamente representa una fuerte actividad económica, sino que también contribuye a la generación de empleo rural y en las plantas empacadoras; además, aporta a la visibilidad de los productos agrícolas costarricenses en los

mercados internacionales. La competitividad de los productos agrícolas en los mercados tanto nacionales como internacionales se puede ver comprometida por los defectos de calidad, en especial si estos no se manejan correctamente durante los procesos de cosecha y poscosecha.

Uno de los principales motivos por los que se hizo este estudio fue la necesidad de subsanar la falta de información actualizada, tanto científica como técnica sobre manejo y tecnología poscosecha en el cultivo del ñame en Costa Rica, la cual es fundamental para una mejora continua de la agroindustria del producto y sus repercusiones económicas.

En este estudio se identificaron diferencias de calidad entre los lotes de ñames muestreados de algunas de las zonas productoras del país, lo que demuestra que los agricultores realizan diferentes prácticas culturales en sus plantaciones y estas inciden en la calidad de los tubérculos al llegar a la planta empacadora. Los resultados obtenidos pretenden actualizar el estado del conocimiento sobre calidad poscosecha del ñame y puntualizar los factores principales a considerar, similar a lo reportado 23 años atrás para otras raíces y tubérculos producidos en Costa Rica (Segura *et al.* 2003).

Factores principales de calidad poscosecha del ñame en las regiones productoras de Costa Rica

Los resultados mostraron que los principales defectos de calidad en ñames para exportación fueron las estrías abiertas. Dichas estrías, son heridas sobre la superficie del tubérculo que son consecuencia de: 1) daños físicos durante la cosecha, 2) manipulación durante el procesamiento en la empacadora, 3) estrés hídrico durante el periodo de crecimiento. El problema de las estrías en el tubérculo es que se convierten en un sitio de ingreso para diversos microorganismos, principalmente hongos asociados al desarrollo de mohos y pudriciones.

De acuerdo con las observaciones realizadas durante los muestreos, las estrías cerradas se derivan de posibles heridas durante el

crecimiento del tubérculo que cicatrizan adecuadamente previo a la cosecha de este, con lo cual se reduce el riesgo de ingreso de patógenos en la fase poscosecha. Esto se observó principalmente en tubérculos que se cosecharon en el cantón San Carlos, en donde posiblemente las condiciones de suelo y clima también incidieron negativamente en el desarrollo de los ñames. El efecto de las condiciones hídricas fue demostrado por González-Vélez (2011) quien obtuvo un mayor rendimiento y número de tubérculos con características de calidad deseables para la venta con la aplicación de riego a capacidad de campo, comparado con el cultivo bajo condiciones de lluvia o de sequía.

El descascarado (encontrado en un alto porcentaje de incidencia), es también un problema de calidad relacionado con un daño mecánico en el producto durante el proceso de cosecha y poscosecha. El ñame posee una cáscara relativamente delgada, lo que permite que los golpes recibidos durante el manejo en empaque y el transporte incrementen el descascarado (Segura *et al.* 2003).

Por otro lado, las malformaciones son un defecto de calidad que no es causado por factores bióticos ni por daño mecánico externo. Estas se pueden dar durante la formación del tubérculo por condiciones de suelo y clima, principalmente. En ese sentido, el ñame responde de manera diferenciada a las condiciones iniciales de suelo (Akanji *et al.* 2018), a la fertilización (Cornet *et al.* 2022) y el clima (Wickham 2019). Por lo anterior, con un adecuado proceso de preselección tanto en campo como al llegar a la planta empacadora, no deberían encontrarse ñames que presentaran este problema de calidad en el proceso de curado, y por ende no deberían llegar hasta la etapa de empaque para exportación, evitando una pérdida económica poscosecha producto de una mala preselección.

Se obtuvo un rango amplio en el peso y tamaño de los ñames seleccionados en las plantas empacadoras con calidad de exportación y aunque mucho depende de la calidad requerida por el cliente final, la uniformidad de la calidad

también debe estar ligada a las normas alimentarias. Los mercados continuarán elevando las exigencias de calidad y la competitividad con otros mercados se incrementará. La norma CODEX para ñame (CXS 234-2020) establece las categorías y tolerancias de calidad para mercados internacionales (FAO 2020c). Sin embargo, este estudio no se realizó para comparar con dicha norma, y los datos generados son una guía general para los productores nacionales con respecto a los aspectos más críticos de calidad del ñame que deben ser mejorados para incrementar la competitividad a nivel internacional.

Los daños asociados a patógenos como moho superficial, moho en los cortes y pudrición mostraron altos porcentajes de incidencia. Estos problemas pueden ser causados por inóculo existente en la cáscara que no se remueve en el lavado del producto en la planta empacadora. Además, se pueden presentar enfermedades oportunistas en las heridas ocasionadas por daños mecánicos en campo y en poscosecha. También podría incidir el inóculo remanente en las instalaciones de la empacadora que alcanza la superficie del ñame durante el curado y si encuentra heridas abiertas, existe una alta probabilidad del desarrollo de moho o pudriciones.

Dentro de los organismos que se identificaron en los tubérculos, *Penicillium* sp. fue el de frecuencia más alta en todos los muestreos. Esto indica que es uno de los patógenos más comunes de las zonas productoras de ñame donde se hizo el estudio, y tiene la capacidad de manifestarse en almacenamiento, como la mayoría de los patógenos del ñame (Akin y Ayansola 2014). La infección puede darse por 1) prácticas de manejo incorrectas en campo o durante el manejo de cosecha y transporte, 2) una cosecha temprana por falta de suberización en la cáscara, y 3) por características anatómicas que favorecen la capacidad del hongo para infectar al tubérculo como la ausencia de una cutícula protectora (Pinzón *et al.* 2013).

El ensayo de simulación de envío de 28 días (correspondiente al tiempo requerido para llegar a mercados distantes como el europeo),

evidenció altas incidencias de enfermedades como mohos superficiales y pudriciones externas al finalizar el periodo de evaluación a la temperatura controlada de 16°C. Una vez que el producto se transfiere a una temperatura más elevada en el mercado destino, como por ejemplo un supermercado, esas incidencias serán más elevadas y perjudicarán la percepción de los consumidores. El producto poscosecha, es afectado más rápido a temperaturas óptimas para los hongos, como fue demostrado en papaya por Sandoval-Contreras *et al.* (2020). Se evidenció que son necesarios los muestreos de calidad durante el curado y el empaque, debido a que muchos de los problemas de calidad pueden ser identificados en la planta empacadora, razón por la cual el no realizar estos muestreos incrementa el riesgo de la aparición de defectos en el mercado final que en ocasiones no son evidentes en la superficie de los ñames y son percibidos únicamente cuando se realizan evaluaciones de calidad en el mercado destino o cuando el tubérculo se encuentra en manos del consumidor final, como ocurre en cultivos como el ajo (Gálvez y Palmero 2021).

Por otro lado, los daños observados en los tubérculos por el nematodo *Scutellonema bradys* se manifestaron como cortezas externas que tienden a agrietarse y exponer al tejido necrótico, pero también pueden permanecer intactas presentando la apariencia de un tubérculo sano. Se ha reportado necrosis en los tubérculos cuando hay una población inicial de 600 individuos de *S. bradys* (Acosta y Ayala 1975). Al respecto, en los datos obtenidos en este estudio se observó un promedio de 131023 nematodos por 100 g de tejido. La multiplicación del nematodo durante los últimos años ha sido un problema grave en las plantaciones de ñame en Costa Rica, por lo que las soluciones deben darse a nivel de prácticas agronómicas para reducir el tamaño de las poblaciones de este nematodo. Entre las prácticas recomendadas, se destacan el manejo adecuado de la semilla, la rotación de cultivos o el uso de cultivos trampa (Claudius-Cole *et al.* 2016). En Costa Rica no hay nematicidas

registrados para el control de nematodos en el cultivo de ñame. Esto representa una gran limitación para los productores y una necesidad de investigación en esta área.

También, se hace necesario el uso de semilla libre de patógenos y de mejor calidad para las plantaciones, si se tiene en cuenta que la buena condición de esta incide en el rendimiento. Al respecto, González-Vélez (2011) utilizó diferentes pesos de semilla de ñame (14-28 g, 42-56 g y 86-100 g) y encontró que la semilla de mayor peso (86-100 g) produjo un mayor número de tubérculos de calidad para el mercado.

En lotes del cantón Pococí se registró el daño por nematodos con incidencia de hasta un 35% en ñame recién empacado, lo cual muestra que el origen de los tubérculos tiene una influencia significativa sobre este defecto de calidad poscosecha. Es una práctica común el empaque de diferentes lotes y el envío de estos en un mismo contenedor, cuando es un daño interno que no ha sido correctamente muestreado se enviará a los mercados, lo cual tendrá una gran repercusión al examinarse de forma posterior en el país de destino.

Recomendaciones para la mejora en la calidad poscosecha de ñame en Costa Rica

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, los productores deben modificar sus procesos agrícolas, las prácticas de manejo y sistemas de selección en campo y en planta empacadora. Entre algunas de las prácticas poscosecha se sugiere sustituir el transporte en sacos por el transporte en cajas como protección física para reducir el daño mecánico, el cual fue el más común en las siete regiones productoras evaluadas.

Los defectos en el ñame se pueden prevenir desde las etapas tempranas y las prácticas de manejo del cultivo en campo. Una de las estrategias sugeridas podría ser un cambio en los criterios de preselección del tubérculo en el campo, así como la capacitación tanto de personal de cosecha como de los operarios de las

empacadoras en el uso de protocolos como el propuesto en el CODEX CXS 234-2020.

También, se propone establecer sistemas de muestreo en campo y en la planta empacadora durante el proceso de curado y de selección para descartar problemas de calidad. Se plantea además la urgencia de explorar tratamientos de desinfección para reducir la incidencia de los microorganismos patógenos y de tratamientos térmicos para la asepsia de la semilla con respecto a los nematodos. Se pueden destinar áreas libres del nematodo para la producción de semilla y evitar el uso de ñames de rechazo como semilla para evitar la introducción de inóculo a la siembra; la semilla sana y de calidad tendrá ventajas en el rendimiento, calidad y limpieza del producto final. Es conveniente que en la empacadora se realice una inspección interna mediante un muestreo aleatorio para determinar la frecuencia de daño por nematodos y si un determinado lote se debe empacar para exportación.

Finalmente, se recomienda la búsqueda de fungicidas naturales (extractos naturales, aceites esenciales, controladores biológicos) para uso en poscosecha, con el fin de reducir los mohos y pudriciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Ing. Graciela Díaz Gutiérrez, al Laboratorio de Nematología (CIPROC-UCR) y a la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (FITACORI) por la colaboración brindada.

LITERATURA CITADA

- Aboagyé-Nuamah, F; Offei, S; Cornelius, E. 2005. Severity of spoilage storage rots of white yam (*Dioscorea rotundata* Poir.). *Annals of Applied Biology* 147:183-190.
- Acosta, N; Ayala, A. 1975. Pathogenicity of *Pratylenchus coffeae*, *Scutellonema bradys*, *Meloidogyne incognita*, and *Rotylenchulus reniformis* on *Dioscorea rotundata*. *Journal of Nematology* 7(1):1-6.
- Akanji, MA; Oshunsanya, SO; Alomran, A. 2018. Electrical conductivity method for predicting yields of two yam (*Dioscorea alata*) cultivars in a coarse textured soil. *International Soil and Water Conservation Research* 6(3):230-236.
- Akin, O; Ayansola, O. 2014. Studies of some isolated rot-causing mycoflora of yams (*Dioscorea* spp.). *American Journal of Microbiology and Biotechnology* 1(1):9-20.
- Amusa, NA; Adegbite, AA; Muhammed, S; Baiyewu, RA. 2003. Yam diseases and its management in Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 2(12):497-502.
- Bertino, AMP; Cruz, JMF de L; da Silva LDR; Gomes, ABB; de Farias, OR; do Nascimento, IRS. 2022. Yam tubers yield and quality subjected to nitrogen doses and staking methods. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 26(5):341-347.
- Castellanos, L; Morelos, T; Peña, G. 2018. Efecto del tipo de tutores y densidad de siembra sobre el rendimiento de ñame espinoso (*Dioscorea rotundata* Poir.). *Revista FAVE-Ciencias Agrarias* 17(2):55-62.
- Claudius-Cole, AO; Asiedu, R; Fawole, B. 2016. Tropical cover crops for the management of the yam nematode, *Scutellonema bradys*. *International Journal of Pest Management* 62(1):85-91.
- Coelho Júnior, LF; Ferreira-Silva, SL; Vieira, MR; Carnelossi, MA; Simoes, AN. 2018. Darkening, damage and oxidative protection are stimulated in tissues closer to the yam cut, attenuated or not by the environment. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99:334-342.
- Cornet, D; Marcos, J; Tournebize, J; Sierra, J. 2022. Observed and modeled response of water yam (*Dioscorea alata* L.) to nitrogen supply: Consequences for nitrogen fertilizer management in the humid tropics. *European Journal of Agronomy* 138:126536.
- FAO. 2020a. FAOSTAT: Producción (en línea). Consultado 5 may. 2023. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- FAO. 2020b. FAOSTAT: Comercio (en línea). Consultado 5 may. 2023. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/TP>
- FAO. 2020c. Norma para el ñame CXS 340-2020. CODEX ALIMENTARIUS (en línea). Consultado 5 may. 2023. Disponible en <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/en/>
- Gálvez, L; Palmero, D. 2021. Incidence and etiology of postharvest fungal diseases associated with bulb rot in garlic (*Allium sativum*) in Spain. *Foods* 10(5):1063. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10051063>
- González-Vélez, A. 2011. Rendimiento del ñame mapuey (*Dioscorea trifida* L.) variando el uso de riego y peso del material de propagación. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 95(1-2):89-92. DOI: <https://doi.org/10.46429/jauprv95i1-2.2550>

- Holdridge, LR. 1982. Ecología Basada en Zonas de Vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. s. p.
- Humphreys-Pereira, DA; Flores-Chaves, LC; Salazar, L; Gómez-Alpizar, L. 2017. Plant-parasitic nematodes associated with yams (*Dioscorea* spp.) and identification of *Meloidogyne* and *Pratylenchus* species in three yam-growing regions of Costa Rica. *Nematropica* 47(2):120-134.
- Izquierdo, C. 2023. Mercados laborales, disparidades socioeconómicas regionales y pobreza en Costa Rica, 2010-2017. *Diálogos Revista Electrónica de Historia* 24(1):1-34.
- Lebot, V. 2009. Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids. CABI. s. p.
- López, L. 2008. Efecto de diferentes tiempos de almacenamiento, desinfectantes y extractos vegetales en poscosecha sobre tubérculos de ñame blanco (*Dioscorea alata* L.) de exportación. *Alcances Tecnológicos* 6(1):45-60.
- Ntui, VO; Uyoh, EA; Ita, EE; Markson, A A; Tripathi, JN; Okon, NI; Akpan, MO; Phillip, JO; Brisibe, EA; Ene-Obong, EE; Tripathi, L. 2021. Strategies to combat the problem of yam anthracnose disease: Status and prospects. *Molecular Plant Pathology* 22(10):1302-1314.
- Okigbo, RN. 2003. Fungi associated with peels of post harvest yams (*Dioscorea* spp.) in storage. *Global Journal of Pure and Applied Sciences* 9(1):19-23.
- Okigbo, RN. 2005. Biological control of postharvest fungal rot of yam (*Dioscorea* spp.) with *Bacillus subtilis*. *Mycopathologia* 159:307-314.
- Okigbo, RN; Emeka, AN. 2010. Biological control of rot-inducing fungi of water yam (*Dioscorea alata*) with *Trichoderma harzianum*, *Pseudomonas syringae* and *Pseudomonas chlororaphis*. *Journal of Stored Products and Postharvest Research* 1(2):18-23.
- Okigbo RN; Ikediugwu, FEO. 2000 Studies on biological control of postharvest rot of yam (*Dioscorea* spp.) with *Trichoderma viride*. *Journal of Phytopathology* 148:351-355.
- Okigbo, RN; Ogbonnaya, UO. 2006. Antifungal effects of two tropical plant leaf extracts (*Ocimum gratissimum* and *Fromomum melegueta*) on postharvest yam (*Dioscorea* spp.) rot, *African Journal of Biotechnology* 5(9):727-731.
- Okongor, G; Njoku, C; Essoka, P; Efiang, J. 2021. Climate variability and yam production: Nexus and projections. *Sarhad Journal of Agriculture* 37(2):406-418.
- Pinzón, Y; Bustamante, S; Buitrago, G. 2013. Diagnóstico molecular diferencial de *Colletotrichum gloeosporioides* y *Fusarium oxysporum* en ñame (*Dioscorea* sp.). *Revista Colombiana de Biotecnología* 15(1):52-60.
- Pouya, N; Hgaza, VK; Kiba, DI; Bomisso, L; Aighewi, B; Aké, S; Frossard E. 2022. Yam (*Dioscorea alata* L.) Growth and Tuber Yield as Affected by Rotation and Fertilization Regimes across an Environmental Gradient in West Africa. *Agronomy* 12(4):792.
- PROCOMER. 2020. Anuario estadístico (en línea). Consultado 5 may. 2023. Disponible en <https://www.procomer.com/exportador/documentos/anuario-estadistico-2019/>
- RStudio Team. 2015. R Studio: Integrated Development for R. Boston: R Studio, Inc. Consultado 5 may. 2023. Disponible en <http://www.rstudio.com>
- Sandoval-Contreras, T; Iñiguez-Moreno, M; Garrido-Sánchez, LL; Ragazzo-Sánchez, JA; Narváez-Zapata, JA; Ascencio, F; Calderón-Santoyo, M. 2020. Predictive model for the effect of environmental conditions on the postharvest development of *Colletotrichum gloeosporioides* strains isolated from papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Protection* 83(9):1495-1504.
- Sánchez-López, DB; Luna-Castellanos, LL; Espinosa-Carvajal, MR; Pérez-Polo, DJ; Cadena-Torres, J. 2021. Capacidad de infección de hongos asociados a la pudrición seca de los tubérculos de ñame. *Revista de Investigaciones Altoandinas* 23(3):149-158.
- Segura, A; Saborio, D; Sáenz, M. 2003. Algunas normas de calidad en raíces y tubérculos tropicales de exportación de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 27(1):49-61.
- Suja, G; Sreekumar, J. 2014. Implications of organic management on yield, tuber quality and soil health in yams in the humid tropics. *International Journal of Plant Production* 8(3):291-310.
- Wickham, L. 2019. Successful manipulation of the growth cycle of yam (*Dioscorea* spp.) for year-round production for food security and climate change. *Tropical Agriculture* 96:27-39.

