



ISSN 2215-2202
AGRONOMÍA COSTARRICENSE
REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost>



Nota técnica

Determinación del tamaño de la unidad experimental para ensayos de calidad poscosecha en frutos de banano (*Musa* sp., grupo AAA, subgrupo Cavendish)

Estefanía Ortiz-Pérez¹, Juan Ramón Navarro-Flores², Maricruz Ramírez-Sánchez^{3/*}, Marco Vinicio Sáenz-Murillo⁴

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

¹Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.

²Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos, San José, Costa Rica.

³Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.

⁴Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.

DOI: <https://doi.org/10.15517/7206pj70>

Recibido el 13 de octubre del 2025; Aceptado el 12 de febrero del 2026

Resumen

Introducción. En poscosecha, se evalúan variables fisicoquímicas relacionadas con la calidad de los productos frescos, y no existe un tamaño óptimo de muestra que permita el uso eficiente de recursos y resultados confiables. **Objetivo.** Determinar el tamaño óptimo de muestra en frutos de banano para ensayos fisicoquímicos en etapa poscosecha. **Materiales y métodos.** Se realizaron dos ensayos con evaluaciones: al día 1, al día 21 y al día 28 (después de exponer a etileno) con 100 frutas en cada evaluación, se determinó sólidos solubles, firmeza interna y externa y color externo e interno. Se estableció un ensayo de uniformidad, donde cada fruta correspondió a una unidad básica. Se utilizó un sistema de coordenadas de X y Y para identificar y localizar cada unidad básica, distribuidas en 10 filas y 10 columnas. Se realizó el agrupamiento de las unidades básicas para formar unidades secundarias y se estimó el coeficiente de variación de cada una de las agrupaciones. Se utilizó el método de curvatura máxima para determinar el tamaño óptimo de unidad experimental, el cual relaciona las variables de coeficientes de variación con el tamaño de unidad experimental y se generó una curva con ecuación de regresión y un coeficiente de determinación. El punto de curvatura máxima (correspondiente al tamaño óptimo de unidad experimental) se estimó mediante la primera derivada de la ecuación de regresión. **Resultados.** Se obtuvo que el tamaño óptimo de unidad experimental en banano es de 6 frutos con un R^2 de 74%, esto para todas las variables evaluadas, así como para todas las evaluaciones de calidad poscosecha.

Conclusión. En ensayos para la evaluación de variables de calidad poscosecha (color, firmeza, y sólidos solubles) en frutas de banano, se recomienda el uso de una muestra de al menos 6 frutos.

Palabras clave: diseño de experimentos; calidad poscosecha; banano; unidad experimental; curvatura máxima.

Technical note

Abstract

Determination of the experimental unit size for postharvest quality trials in banana fruits (*Musa* sp., AAA group, Cavendish subgroup)

Introduction. In postharvest studies, physicochemical variables related to the quality of fresh produce are evaluated. However, there is no established optimal sample size that ensures efficient resource utilization and reliable results. **Objective.** To optimize the sample size for physicochemical postharvest evaluations in banana fruits. **Materials and methods.** Two experiments were conducted with evaluations performed on day 1, day 21, and day 28 (after ethylene exposure), using 100 fruits per evaluation. Soluble solids content, internal and external firmness, and external and internal color were assessed. A uniformity trial was established, where each fruit represented a basic experimental unit. An X–Y coordinate system was used to identify and locate each basic unit, which were arranged in 10 rows and 10 columns. Basic units were grouped to form secondary units, and the coefficient of variation was estimated for each grouping. The maximum curvature method was used to determine the optimal experimental unit size. A scatter plot was generated relating the coefficients of variation to experimental unit size, and a regression curve with its corresponding regression equation and coefficient of determination was obtained. **Results.** The point of maximum curvature, corresponding to the optimal experimental unit size, was estimated using the first derivative of the regression equation. The optimal experimental unit size for banana was determined to be 6 fruits, with an R^2 value of 74%, considering all evaluated variables and all postharvest quality assessment stages. **Conclusion.** The optimal sample size for postharvest quality evaluations (color, firmness, and soluble solids content) in banana fruit is 6 fruits.

Keywords: experimental design; postharvest quality; banana; experimental unit; maximum curvature.

Introducción

La producción de banano en Costa Rica posee importancia agronómica, económica y de consumo. Para el año 2024, los ingresos generados por las exportaciones de esta fruta alcanzaron los \$1238 millones, constituyéndose así en el principal producto agrícola de exportación hacia mercados como Estados Unidos y Holanda (PROCIMER, 2025). La variedad Cavendish es la más comercializada en el mercado internacional, debido a su alta aceptación comercial y características favorables para exportación. Esta variedad representa cerca de la mitad de la producción mundial de banano, con un volumen estimado de aproximadamente 50 millones de toneladas anuales (FAO, 2026).

Por lo anterior, es necesario monitorear los atributos de calidad de esta fruta fresca durante la etapa poscosecha, debido a que durante este periodo ocurren procesos fisicoquímicos de manera acelerada, los cuales están asociados a cambios de color, pérdida de firmeza y a la transformación de los contenidos de azúcares (Wongs-Aree & Noichinda, 2014). La calidad de fruto se obtiene en el campo, pero es durante la etapa poscosecha donde se desarrolla la investigación y tecnología que contribuye a mantener esta calidad el mayor tiempo posible, reduciendo las pérdidas ocasionadas por diversos factores pre y poscosecha (Siddiqui, 2015).

Para la evaluación de variables fisicoquímicas relacionadas con la calidad de los productos perecederos, no siempre se cuenta con un tamaño óptimo de unidad experimental que permita mejorar su ejecución, ya que se pueden presentar dos situaciones: 1) cuando se utiliza un tamaño de unidad experimental mayor al óptimo, se genera un incremento en los costos asociados; 2) cuando se utiliza un tamaño de unidad experimental menor, se podría incurrir en errores significativos, generando la falta de confiabilidad en los resultados obtenidos (Badii et al., 2008; Galletta & Zaccari, 2013; Ahmad & Siddiqui, 2015). En ese sentido, cuando existe un balance entre el costo y la precisión del muestreo, se obtiene un óptimo tamaño de unidad experimental (Badii et al., 2004).

En la literatura de ensayos con frutos de banano, la descripción sobre la unidad experimental utilizada y la justificación respectiva de los valores que se utilizan es limitada. Por ejemplo, Hailu et al. (2012) usaron 6 manos de banano por réplica y seleccionaron 5 dedos en cada día de muestreo, mientras que Al-Yahyai et al. (2025) utilizaron 24 frutas por tratamiento sin mencionar cuántos dedos por evaluación. Se podría considerar que, entre más grande sea el tamaño de unidad experimental los resultados serán más confiables y se requerirá de menos repeticiones. Sin embargo, esto podría involucrar que exista mayor error experimental, debido a la heterogeneidad de muestras grandes (Gabriel et al., 2017). En adición, si el tamaño de la unidad experimental es muy pequeño, no se podrán identificar efectos o potenciales asociaciones importantes entre los distintos tratamientos pese a que la investigación se realice de forma correcta (Singh & Masuku, 2014).

Existen métodos estadísticos para determinar el tamaño óptimo de la unidad experimental. Estos métodos tienen como origen el ensayo blanco o ensayo de uniformidad propuesto por Smith (1938), el cual brinda mayor precisión en la determinación de los resultados experimentales (Santos et al., 2012). En este enfoque, se realiza una división total del área experimental en unidades básicas, las que pueden ser agrupadas para formar unidades secundarias, y se comparan los resultados por medio de métodos estadísticos como error probable, error típico o coeficiente de variación (Rodríguez et al., 2018).

Un método derivado del ensayo de uniformidad o ensayo en blanco es el método de curvatura máxima (MCM), propuesto por Lessman y Atkins (1963), el cual permite asociar cada una de las unidades básicas y las variables de respuesta en agrupaciones de distintos tamaños (Vargas & Navarro, 2017). Esta asociación se realiza mediante el establecimiento de un gráfico de dispersión, cuya variable independiente es el tamaño de la unidad experimental y la variable dependiente el coeficiente de variación de las distintas agrupaciones de unidades básicas (Vargas-Rojas & Navarro, 2019).

Para explicar la relación entre los coeficientes de variación y distintas formas y tamaños de unidad experimental, Le Clerg (1967) estableció una ecuación de regresión, la cual se representa de la siguiente manera:

$$y = ax^{-b} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde y representa el coeficiente de variación, mientras que x el tamaño de unidad experimental.

A partir de la función anterior, se determina el valor de x , en el cual se presenta el punto de curvatura máxima, y esto proporciona resultados más precisos (Viana et al., 2002; Paranaíba et al., 2011).

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el tamaño óptimo de muestra en frutos de banano (*Musa* sp.; grupo AAA, subgrupo Cavendish) para ensayos fisicoquímicos en etapa poscosecha. El conocimiento de este tamaño óptimo permitiría un manejo eficiente de los recursos, con resultados confiables y prácticos en la ejecución de futuras investigaciones y labores de control de calidad.

Materiales y métodos

Generalidades

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha (LTP) del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR), Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Montes de Oca, provincia de San José, Costa Rica.

Se realizaron dos ensayos: el primero durante el mes de setiembre del año 2018 y el segundo en el mes de agosto del año 2019. Para ambos ensayos, se utilizó la misma cantidad de fruta y se evaluaron las mismas variables.

Material vegetal

Se utilizó como material experimental frutos de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de calidad comercial proveniente de una finca comercial ubicada en Villa Franca de Guácimo en la provincia de Limón. Una vez que la fruta llegó al Laboratorio de Tecnología Poscosecha, se procedió a separar individualmente los dedos de las manos de las cajas comerciales mediante un cuchillo pequeño, se realizó un corte en la corona y se dejó escurrir el látex sobre bandejas. Luego, se aplicó un fungicida en el área del corte por inmersión de una solución de tiabendazol con una concentración de 300 mg i.a. l⁻¹. Por último, se empacaron nuevamente los bananos en cajas de cartón en la disposición convencional para la simulación de transporte. Se seleccionaron 100 dedos de banano de forma aleatoria para la evaluación inicial.

Simulación de transporte y maduración

Los frutos empacados fueron colocados en una cámara fría durante 21 días a 14 °C y 85-90% de humedad relativa (HR) para simular condiciones normales de transporte hacia Europa. Una vez terminada la simulación, se trasladó la fruta a una cámara a 18 °C y 90% HR por 24 horas y bajo esas mismas condiciones se aplicó etileno (250 ul l⁻¹) con un generador catalítico para inducir la maduración. Durante el proceso de maduración, el banano se mantuvo a 18 °C y 90% HR hasta que la fruta alcanzara un grado de maduración de 5 según escala de Von Loeseck (1950).

Variables evaluadas

Color externo (cáscara) y color interno (pulpa)

Se evaluó el color de la cáscara y el color de la pulpa con un colorímetro digital IWave modelo WR-10 y se obtuvieron los valores de L^* , a^* y b^* correspondientes al espacio del color CIELAB, en donde: L^* es la luminosidad entre un rango de 0 (negro) a 100 (blanco); a^* es la gama de colores entre verde (valores negativos de a) y rojo (valores positivos de a); y b^* es la gama de colores entre azul (valores negativos de b) y amarillo (valores positivos de b) (Konica Minolta, 2007). Con los valores obtenidos de L^* , a^* y b^* , se calcularon los valores de chroma (C^*) y hue (h°) en donde: C^* es la saturación del color (cromaticidad) y h° es el ángulo entre las coordenadas dadas por a^* y b^* (Konica Minolta, 2007). Las fórmulas para el cálculo de ambos parámetros se detallan a continuación:

$$C^* = [(a^{*2} + b^{*2})]^{1/2} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$h^\circ = \tan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad [\text{Ecuación 3}]$$

Donde, C^* representa el Chroma; h° corresponde al hue de la muestra; a^* representa la gama de colores entre verde y rojo; y b^* se refiere a la gama de colores entre azul y amarillo.

Para el color de la cáscara, se midió un punto localizado en el ecuador de la fruta, y para el color de la pulpa, se cortó transversalmente la fruta por la parte central y se midió una de las mitades, específicamente el área localizada entre la cáscara y las semillas.

Firmeza externa (cáscara) y firmeza interna (pulpa)

La firmeza de cáscara se midió con un penetrómetro de mesa Chatillón modelo DPP100 (N) con una punta en forma de diente. La firmeza de pulpa se midió con un penetrómetro manual QA Supplies modelo FT011 (lb) con una punta discal de 6 mm. Tanto la firmeza externa como la firmeza interna se midieron en un punto en el ecuador de la fruta. Se realizó la conversión de libras a Newton con la siguiente ecuación:

$$N = x \text{ lb} * \frac{4,4482 \text{ N}}{1 \text{ lb}} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Donde $x \text{ lb}$ representa libras, mientras que N newtons.

Sólidos solubles

Se evaluaron los sólidos solubles de la pulpa con un refractómetro manual QA Supplies modelo MT-032ATC (°brix). La muestra se obtuvo mediante un raspado proveniente del ecuador de la fruta.

Ensayos

En cada ensayo, se realizaron tres evaluaciones: la primera en el día 1 (después de la cosecha), la segunda en el día 21 (después de la simulación de transporte) y la tercera en el día 28 (después de la aplicación de etileno, cuando la fruta presentó grado de madurez entre 4 y 5). Este proceso se detalla en la **Figura 1**.

Cada ensayo estuvo compuesto por 100 frutas para cada día de evaluación, para un total de 300 frutas. En la primera evaluación (día 1), se midieron las variables de color externo, color interno, firmeza externa, firmeza interna y sólidos solubles de las primeras 100 frutas. Se almacenaron las 200 frutas restantes en una cámara a 14 °C durante los siguientes 21 días. En la segunda evaluación (día 21), se midieron las mismas variables en otros 100 frutos. En la tercer y última evaluación (día 28), se midieron las mismas variables en los últimos 100 frutos maduros.

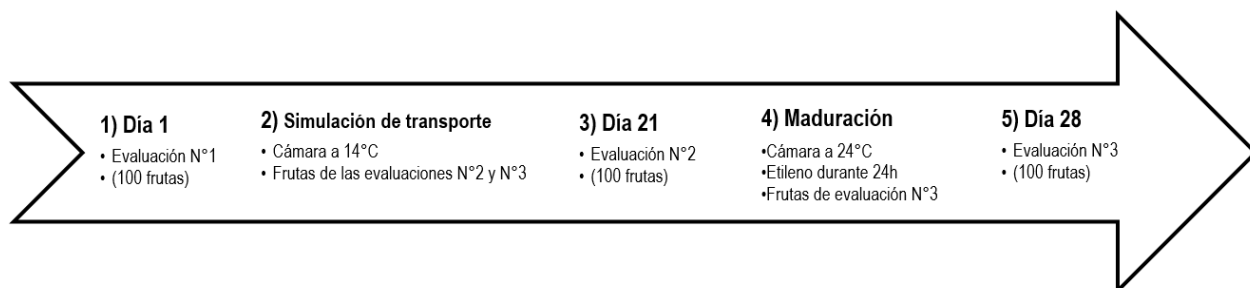


Figura 1. Resumen del proceso ejecutado para los ensayos de banana: principales etapas y características.
Figure 1. Summary of the process carried out for the banana trials: main stages and characteristics.

Diseño experimental y análisis de datos

Para el establecimiento del experimento, se realizó el procedimiento de un ensayo de uniformidad propuesto por Smith (1938), el cual consiste en realizar agrupaciones de unidades básicas adyacentes para la obtención de unidades secundarias distintas en tamaño. En cada evaluación, se seleccionaron 100 dedos de las cajas de banana comercial, donde cada dedo representó una unidad básica y se distribuyeron en 10 filas y 10 columnas. Se utilizó un sistema de coordenadas para identificar y ubicar a cada una de las unidades básicas, por lo que el eje X correspondió a las frutas localizadas a lo ancho del área experimental (del 1 al 10) y el eje Y correspondió a las frutas localizadas a lo largo (del 1 al 10). Este procedimiento se representa en la **Figura 2**.

Este arreglo generó 15 unidades secundarias distintas cuyas conformaciones resultaron de la siguiente manera:

- 1) 1x1 (100 unidades secundarias)
- 2) 1x2 (20 unidades secundarias)
- 3) 2x1 (50 unidades secundarias)
- 4) 2x2 (25 unidades secundarias)
- 5) 1x5 (20 unidades secundarias)
- 6) 5x1 (20 unidades secundarias)
- 7) 2x5 (10 unidades secundarias)
- 8) 5x2 (10 unidades secundarias)
- 9) 1x10 (10 unidades secundarias)
- 10) 10x1 (10 unidades secundarias)
- 11) 2x10 (5 unidades secundarias)
- 12) 10x2 (5 unidades secundarias)
- 13) 5x5 (4 unidades secundarias)
- 14) 5x10 (2 unidades secundarias)
- 15) 10x5 (2 unidades secundarias)

Estos arreglos se detallan en la **Figura 3**.

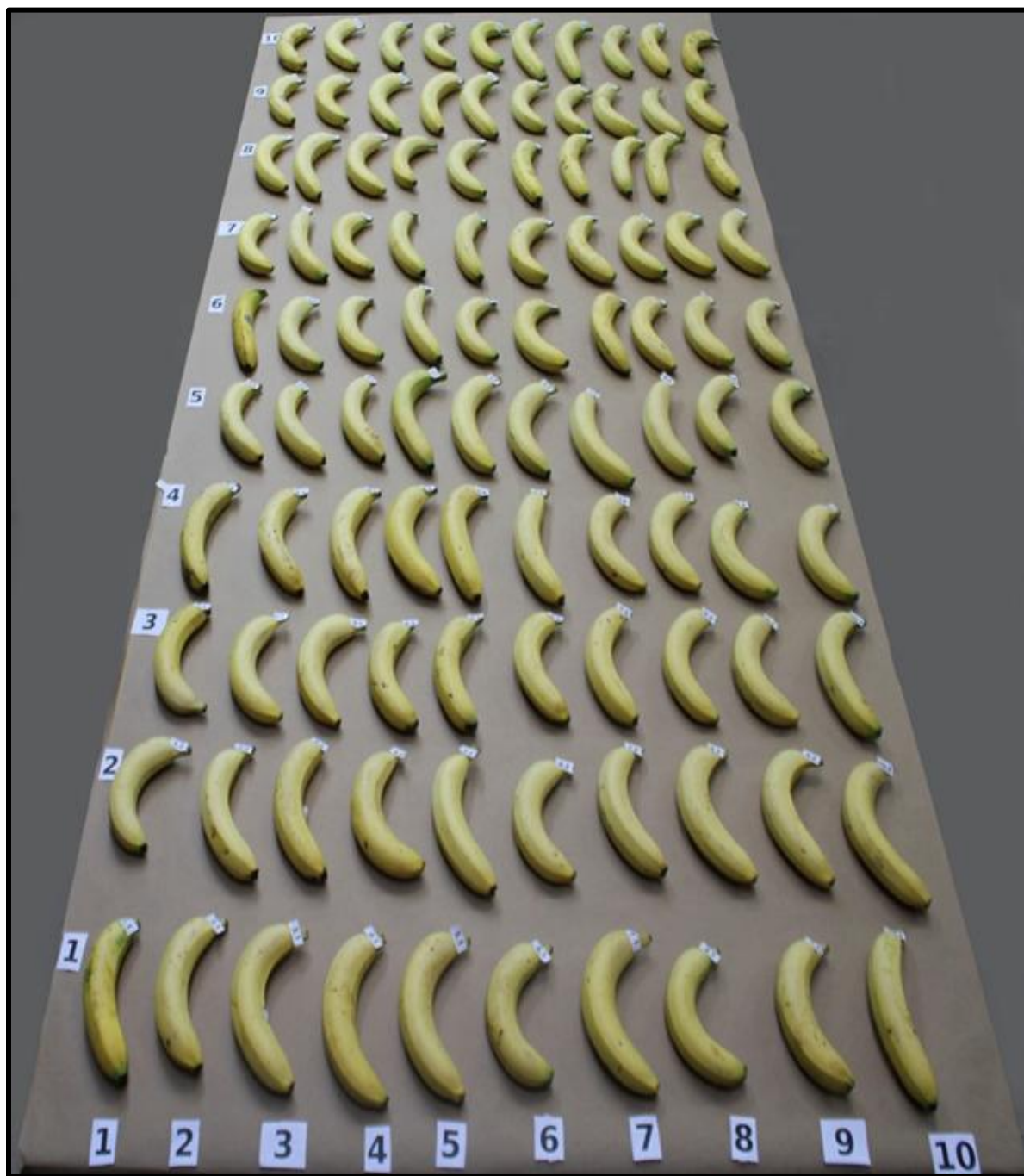


Figura 2. Conformación del ensayo de uniformidad o ensayo en blanco para los dedos de banano.

Figure 2. Establishment of the uniformity trial (blank trial) for banana fingers.

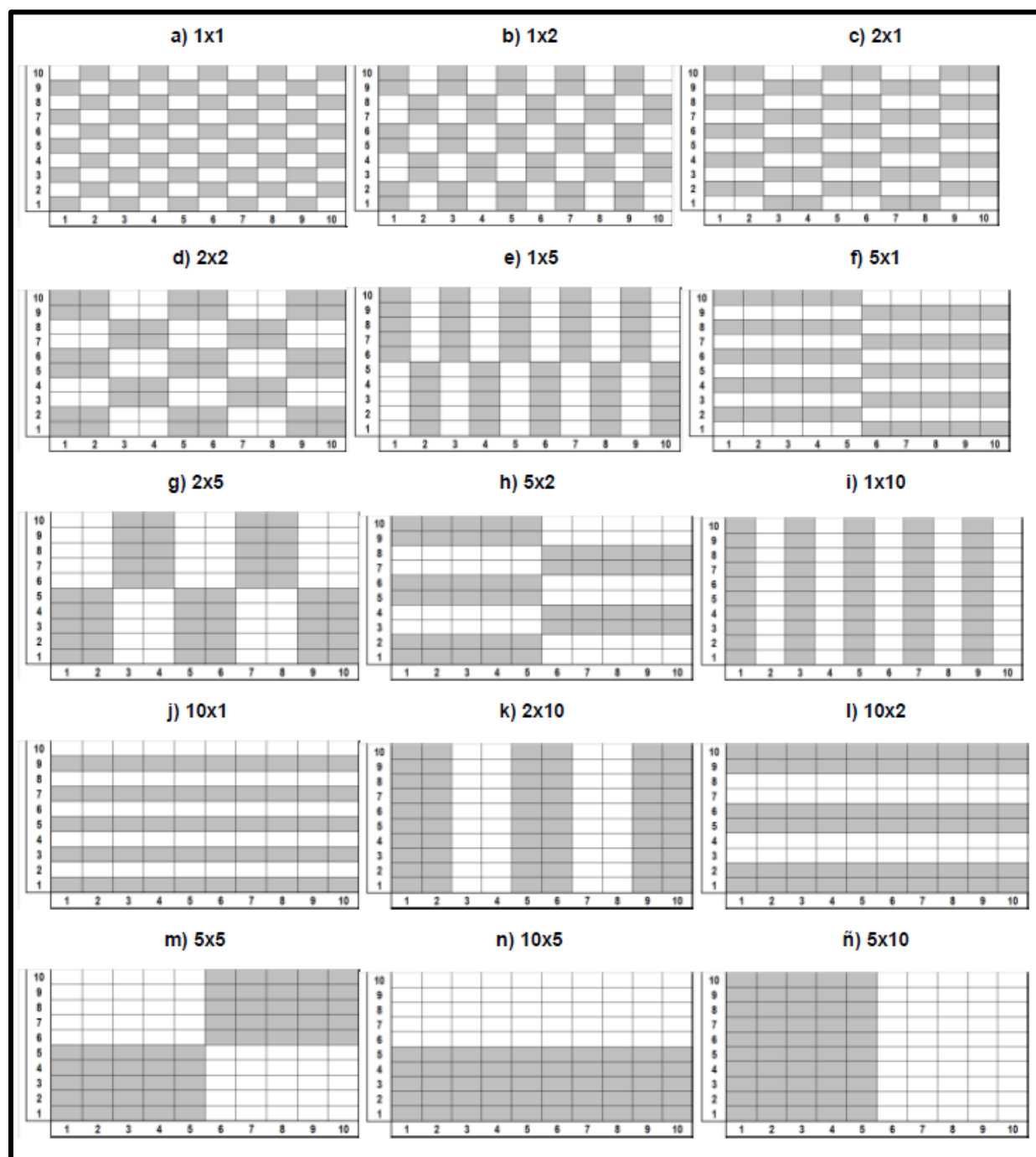


Figura 3. Conformación de las quince unidades secundarias distintas en tamaño y forma obtenidas por el agrupamiento de las unidades básicas utilizando el sistema de coordenadas X y Y.

Figure 3. Formation of the fifteen secondary units of different sizes and shapes, obtained by grouping the basic units using the X and Y coordinate system.

Para implementar el método de curvatura máxima, se estimó el coeficiente de variación (CV) para cada una de las variables por evaluación realizada. Se generó un gráfico de dispersión para representar la curva, en donde el eje X correspondió al tamaño de unidad experimental y el eje Y al coeficiente de variación.

Para cada gráfico se ajustó un modelo de regresión (**Ecuación 1**) y calculó el coeficiente de determinación (R^2) siguiendo los lineamientos de Le Clerg (1967). Las estimaciones del tamaño de muestra se redondearon al número superior para asegurar que el valor no fuera 0 o menor a 1, pues la fruta debe evaluarse entera.

Para el manejo de datos y ajuste de los modelos, se utilizó una hoja de cálculo programada de Microsoft Excel Office 2013 para cada variable respuesta evaluada.

Resultados

Determinación del tamaño óptimo de muestra para ensayos poscosecha de banano

Una vez obtenida la función potencial, se calculó la primera derivada de dicha función para la determinación del tamaño óptimo de unidad experimental. Posteriormente, la función Y' se iguala a un valor de -1, basado en las recomendaciones de Vargas y Navarro (2017), para determinar el valor específico de la pendiente. Establecer la derivada en -1 permite identificar el punto geométrico de inflexión donde la curva tiende a la estabilizarse y el beneficio marginal de aumentar la muestra deja de justificar el costo del recurso invertido. Este procedimiento se presenta en detalle en la **Figura 4**.

$$\begin{aligned}
 \text{a)} \quad & Y = 28,983x^{-0,553} \\
 \text{b)} \quad & Y' = (-0,553 \times 28,983)x^{(-0,553)-1} \\
 \text{c)} \quad & Y' = -16,027599x^{-1,553} \\
 \text{d)} \quad & -16,027599x^{-1,553} = -1 \\
 \text{e)} \quad & x^{-1,553} = \frac{-1}{-16,027599} \\
 \text{f)} \quad & \frac{1}{x^{-1,553}} = 0,06239237705 \\
 \text{g)} \quad & \frac{1}{0,06239237705} = x^{1,553} \\
 \text{h)} \quad & 16,027599 = x^{1,553} \\
 \text{i)} \quad & \sqrt[1,553]{16,027599} = x
 \end{aligned}$$

$$x = 5,96$$

Figura 4. Cálculo de la primera derivada de una ecuación de regresión.

Figure 4. Calculation of the first derivative of the regression equation.

En la **Tabla 1**, se resumen los datos obtenidos por el método de curvatura máxima para el primer ensayo, entre ellos la ecuación de regresión, el coeficiente de determinación (R^2) y el tamaño de unidad experimental (X) producto de la primera derivada para cada variable de calidad poscosecha de banano evaluada. Para la primera evaluación (día 1), el mayor tamaño de unidad experimental fue de 5 frutas correspondiente a la variable de color interno (croma) con un coeficiente de determinación de 90%.

Para la segunda evaluación (día 21), la variable de sólidos solubles presentó el mayor tamaño de unidad experimental óptimo que fue de 5 frutas, con un R^2 correspondiente a 95%. Para la última evaluación del primer ensayo (día 28), el mayor tamaño de unidad experimental fue de 6 frutas, el cual se obtuvo para la variable de firmeza externa con R^2 de 43%.

En específico, la **Figura 5** representa el gráfico de dispersión que relaciona el coeficiente de variación y el tamaño de muestra correspondiente, obtenido para la variable de sólidos solubles evaluada en el día 1 del primer ensayo para la fruta de banano. El modelo de regresión ajustado para estos datos presentó una forma $y = 11,943x^{-0,51}$, cuyo valor estimado de x producto de la primera derivada (el tamaño óptimo de muestra) corresponde a 4 frutas (**Tabla 1**).

Por otro lado, los datos obtenidos por el método de curvatura máxima para el segundo ensayo se muestran en la **Tabla 2**. El mayor tamaño de unidad experimental fue de 6 frutas, con un R^2 de 74% para la variable de sólidos solubles primera evaluación (día 1), el cual también correspondió al mayor número resultante en los dos ensayos realizados. Para la segunda evaluación (día 21), el tamaño de unidad experimental más grande fue de 5 frutas nuevamente en la variable de sólidos solubles con un coeficiente de determinación de 68%. Para la última evaluación (día 28), el número mayor de frutas fue de 5 en las variables de firmeza interna con R^2 de 80%.

Nuevamente, la variable de sólidos solubles evaluada en el día 1 del segundo ensayo para la fruta de banano se detalla en la **Figura 6**. En este gráfico de dispersión, el modelo de regresión ajustado presentó una forma de $y = 28,983x^{-0,553}$, con un valor estimado de x (producto de la primera derivada) correspondiente a 6 frutas (**Tabla 2**).

Tabla 1. Modelos de regresión y tamaño óptimo de muestra determinado por el método de curvatura máxima para cada variable de calidad poscosecha, durante las tres evaluaciones del primer ensayo en fruta de banano (*Musa* sp., grupo AAA, subgrupo Cavendish).

Table 1. Regression model and optimum sample size determined using the maximum curvature method for each postharvest quality variable during the three evaluations of the first trial on banana fruit (*Musa* sp., AAA group, Cavendish subgroup).

Variable	Día 1				Día 21				Día 28			
	Ecuación de regresión	R ²	x	Tamaño óptimo de muestra	Ecuación de regresión	R ²	x	Tamaño óptimo de muestra	Ecuación de regresión	R ²	x	Tamaño óptimo de muestra
Sólidos solubles	y=11,943x ^{-0,51}	0,9089	3,3087	4	y=18,535x ^{-0,459}	0,9532	4,3379	5	y=5,4167x ^{-0,608}	0,8354	2,0985	3
Firmeza externa	y=6,8723x ^{-0,473}	0,8576	2,2262	3	y=8,4963x ^{-0,459}	0,704	2,5415	3	y=24,212x ^{-0,555}	0,433	5,3163	6
Firmeza interna	y=9,6971x ^{-0,583}	0,9418	2,987	3	y=8,6936x ^{-0,367}	0,8877	2,3366	3	y=23,462x ^{-0,361}	0,3836	4,8057	5
Color externo (L*)	y=6,149x ^{-0,340}	0,724	1,7338	2	y=6,324x ^{-0,665}	0,7389	2,3695	3	y=2,0439x ^{-0,543}	0,7918	1,0698	2
Color externo (h°)	y=1,2746x ^{-0,510}	0,7861	0,8309	1	y=1,1518x ^{-0,63}	0,8993	0,8213	1	y=0,9877x ^{-0,456}	0,9395	0,5782	1
Color externo (C*)	y=6,7752x ^{-0,481}	0,823	2,2204	3	y=6,0826x ^{-0,611}	0,5764	2,2589	3	y=8,1075x ^{-0,353}	0,8522	2,1752	3
Color interno (L*)	y=3,9085x ^{-0,276}	0,4325	1,0612	2	y=4,6544x ^{-0,302}	0,8512	1,2988	2	y=5,2463x ^{-0,299}	0,5145	1,4142	2
Color interno (h°)	y=1,8902x ^{-0,464}	0,9387	0,9142	1	y=2,6416x ^{-0,248}	0,8785	0,7125	1	y=1,2271x ^{-0,503}	0,7583	0,7253	1
Color interno (C*)	y=17,777x ^{-0,486}	0,9071	4,2678	5	y=10,433x ^{-0,616}	0,9435	3,1622	4	y=8,8909x ^{-0,56}	0,5309	2,7982	3

Tabla 2. Modelos de regresión y tamaño óptimo de muestra determinado por el método de curvatura máxima para cada variable de calidad poscosecha, durante las tres evaluaciones del segundo ensayo en fruta de banano (*Musa* sp., grupo AAA, subgrupo Cavendish).

Table 2. Regression model and optimum sample size determined using the maximum curvature method for each postharvest quality variable during the three evaluations of the second trial on banana fruit (*Musa* sp., AAA group, Cavendish subgroup).

Variable	Día 1				Día 21				Día 28			
	Ecuación de regresión	R ²	x	Tamaño de muestra	Ecuación de regresión	R ²	x	Tamaño de muestra	Ecuación de regresión	R ²	x	Tamaño de muestra
Sólidos solubles	$y=28,983x^{-0,553}$	0,7377	5,9680	6	$y=19,336x^{-0,751}$	0,6822	4,6091	5	$y=3,5983x^{-0,456}$	0,6802	1,4051	2
Firmeza externa	$y=4,864x^{-0,383}$	0,6895	1,5680	2	$y=8,1895x^{-0,614}$	0,8032	2,7201	3	$y=13,734x^{-0,424}$	0,8884	3,4461	4
Firmeza interna	$y=10,741x^{-0,332}$	0,7550	2,5974	3	$y=11,824x^{-0,544}$	0,8150	3,3384	4	$y=17,125x^{-0,597}$	0,7996	4,2873	5
Color externo (L*)	$y=4,6377x^{-0,601}$	0,8233	1,8969	2	$y=7,3738x^{-0,829}$	0,7995	2,6907	3	$y=6,5344x^{-0,297}$	0,5549	1,6673	2
Color externo (h°)	$y=0,8334x^{-0,234}$	0,6623	0,2658	1	$y=5,2806x^{-0,516}$	0,9919	1,9371	2	$y=2,7146x^{-0,825}$	0,7546	1,5554	2
Color externo (C*)	$y=4,2738x^{-0,834}$	0,8800	1,9997	2	$y=8,7297x^{-0,547}$	0,9458	2,7472	3	$y=8,8919x^{-0,518}$	0,9338	2,735	3
Color interno (L*)	$y=6,5646x^{-0,308}$	0,6120	1,7130	2	$y=9,0695x^{-0,333}$	0,3016	2,2914	3	$y=3,7722x^{-0,43}$	0,783	1,4024	2
Color interno (h°)	$y=5,3602x^{-0,409}$	0,7686	1,7456	2	$y=3,2883x^{-0,506}$	0,4158	1,4022	2	$y=1,8593x^{-0,675}$	0,4604	1,1452	2
Color interno (C*)	$y=9,2301x^{-0,273}$	0,8033	2,0667	3	$y=5,5841x^{-0,323}$	0,3514	1,5617	2	$y=14,869x^{-0,774}$	0,7333	3,9636	4

*

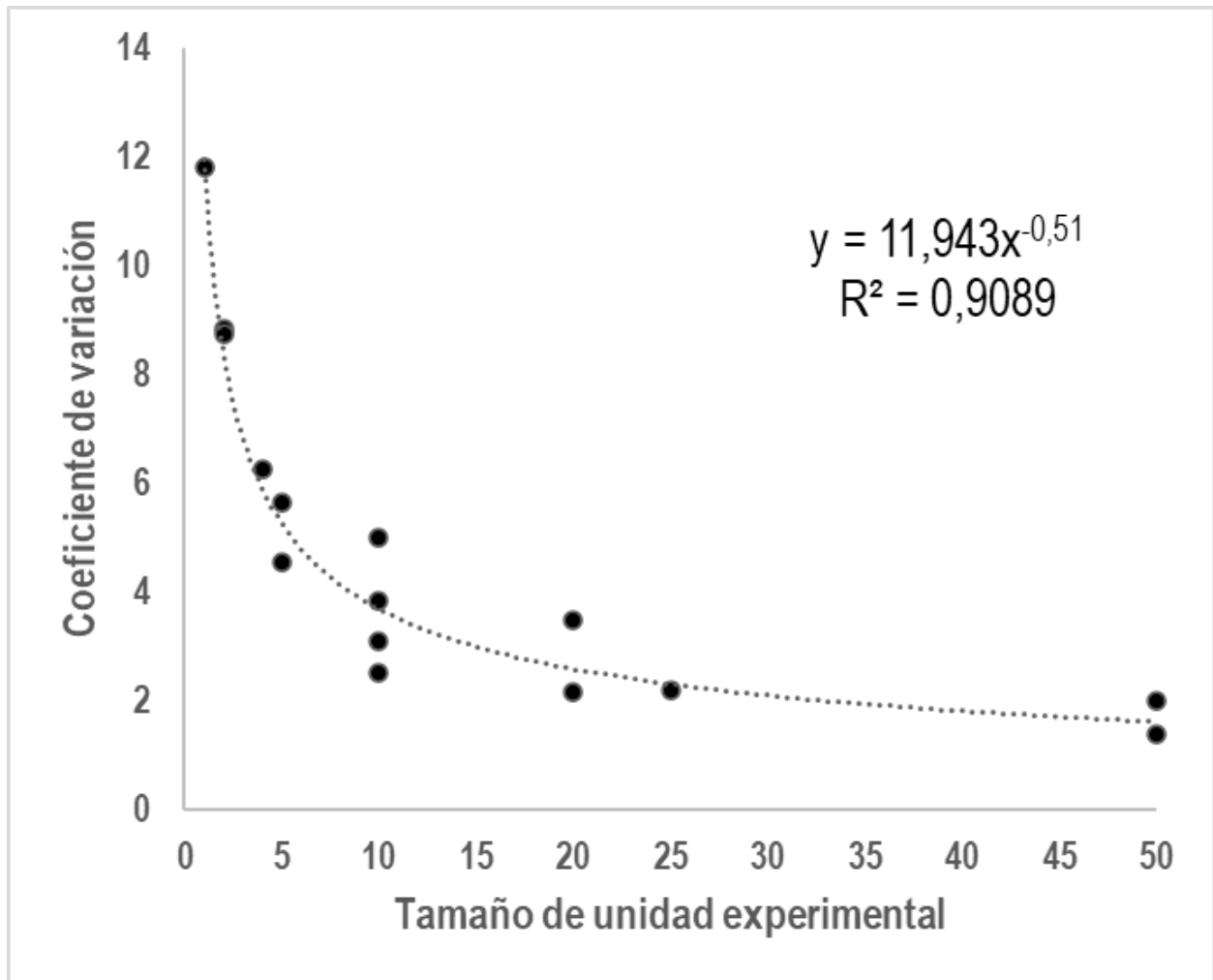


Figura 5. Gráfico de dispersión utilizado para la determinación del tamaño óptimo de unidad experimental mediante el método de curvatura máxima para fruta de banano (*Musa* sp., grupo AAA, subgrupo Cavendish), correspondiente al día 1 del primer ensayo en la evaluación para la variable de sólidos solubles.

Figure 5. Scattered plot used for the optimal experimental unit size determination determined using the maximum curvature method for banana fruit (*Musa* sp., AAA group, Cavendish subgroup), corresponding to day 1 of the first trial for the soluble solids variable.

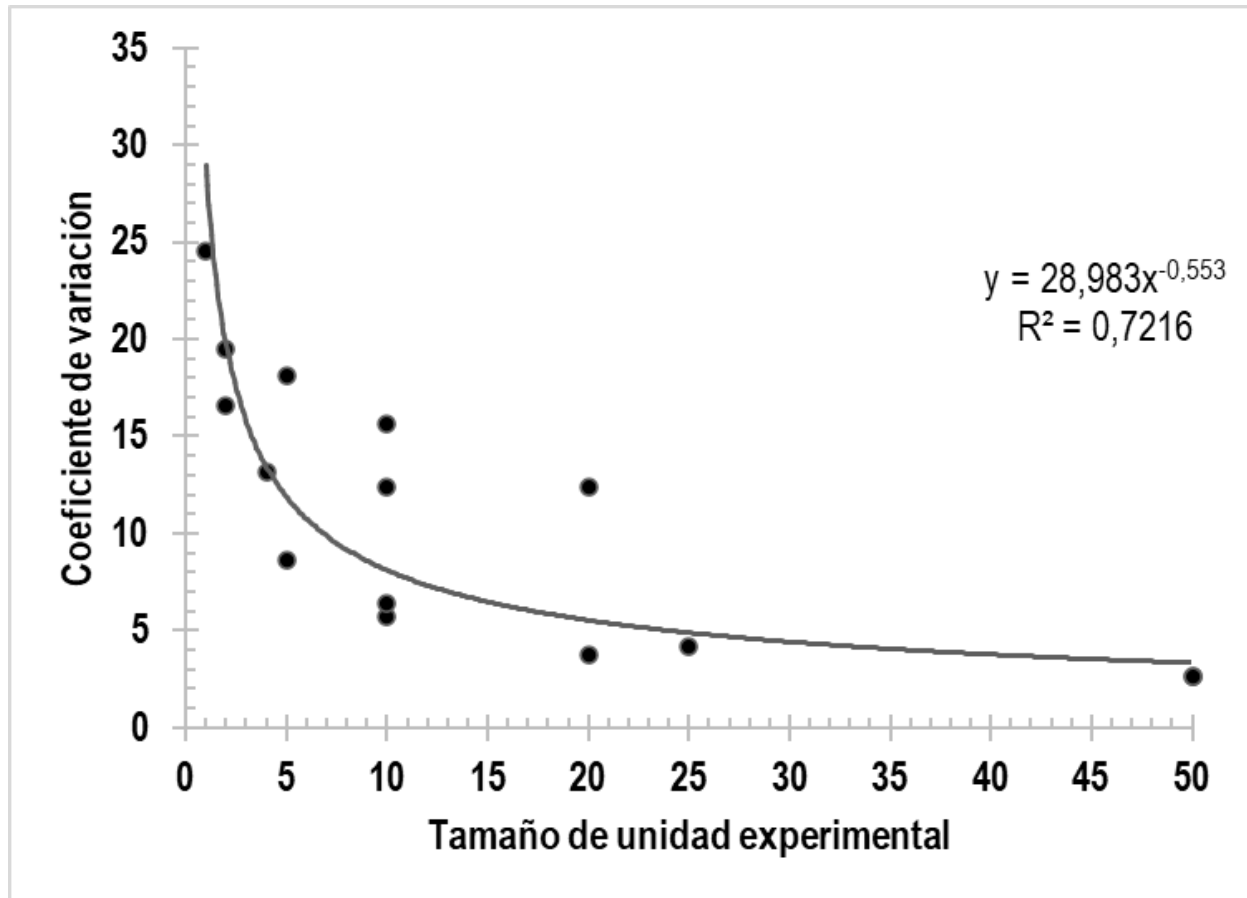


Figura 6. Gráfico de dispersión utilizado para la determinación del tamaño óptimo de unidad experimental mediante el método de curvatura máxima para fruta de banano (*Musa* sp., grupo AAA, subgrupo Cavendish), correspondiente al segundo ensayo en la evaluación del día 1 para la variable de sólidos solubles.

Figure 6. Scattered plot used for the optimal experimental unit size determination determined using the maximum curvature method for banana fruit (*Musa* sp., AAA group, Cavendish subgroup), corresponding to the second trial on day 1 for the soluble solids variable.

Discusión

Tamaño óptimo de muestra para ensayos poscosecha de banano

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que el tamaño óptimo de unidad experimental para la evaluación de variables de calidad poscosecha está conformado por 6 dedos de banano. Debido a que en los ensayos realizados este valor fue el mayor, todos los valores menores a estos se encuentran involucrados de manera implícita. En adición, este tamaño de muestra también involucra todas las etapas de evaluación poscosecha que fueron parte de esta investigación: 1) banano verde al iniciar el ensayo, 2) banano verde al finalizar la simulación de transporte y en grado 5 de maduración, luego de la exposición a etileno. En el caso de los valores de tamaño óptimo de unidad experimental definidos en esta investigación, para los 6 dedos en banano, se estimó un R^2 de 74%. De Lima et al. (2007) respaldan el uso de este enfoque de máxima curvatura, el cual además de establecer la ecuación de regresión, tiene la ventaja de brindar valores de alto coeficiente de determinación.

Ventajas y desventajas del método de curvatura máxima en ensayos de banano

Los valores determinados por medio del método de curvatura máxima se definen como valores óptimos, los cuales brindan información correspondiente al tamaño de unidad experimental útil. Estos resultados son de suma importancia, ya que se consideran como valores de referencia de uso confiable en futuras investigaciones en ensayos poscosecha de banano. Al respecto, Da Silva et al. (2003) mencionan que este método de máxima curvatura permite establecer resultados más precisos al proporcionar una ecuación de regresión que explica la relación entre los coeficientes de variación y los tamaños de unidad experimental. Valores altos de un coeficiente de determinación R^2 indican que el modelo de regresión se ajusta satisfactoriamente a la dispersión de los datos, debido a que este parámetro cuantifica la proporción de la variabilidad explicable por el modelo de regresión ajustado para una variable respuesta en específico (Díaz, 2009).

Como una potencial desventaja del método de curvatura máxima, De Lima et al. (2007) mencionan que este método no considera los costos asociados del experimento, lo cual representa un detalle de suma importancia que debe ser integrado cuando se plantean investigaciones con ensayos de uniformidad. Sin embargo, dichos costos podrían compensarse si este diseño experimental contribuye al incremento de la precisión del experimento y la obtención de resultados más confiables.

Con respecto a la precisión y a la confiabilidad de los tamaños de unidad experimental determinados por el método de curvatura máxima para su uso en futuras investigaciones, Peixoto et al. (2011) menciona que estos pueden ser considerados como los tamaños óptimos mínimos. En ese sentido, se podría aumentar el tamaño de la unidad experimental en función del objetivo del diseño experimental y si los recursos necesarios no son limitantes. Sin embargo, Vieira y da Silva (2008) indican que, si bien el aumento del tamaño de la parcela o unidad experimental puede disminuir la variación, esta disminución no será infinitamente proporcional entre estas variables, ya que la ganancia de precisión que se obtendría será cada vez más pequeña.

Cargnelutti et al. (2012) señalan que cuando se incrementa el tamaño de la unidad experimental a partir del tamaño óptimo, todos los aumentos adicionales en la precisión solo podrían significar el uso excesivo de recursos. Por todo esto, los autores recomiendan utilizar un mayor número de repeticiones.

Es importante recalcar que el tamaño de unidad experimental determinado en la presente investigación no tiene un carácter de uso estricto. En ese sentido, este tamaño de muestra podría cambiar si se utiliza alguna variedad distinta o si se evalúa otro tipo de variables como las de enfermedades poscosecha, pero servirá como referencia para aplicaciones futuras en ensayos de calidad poscosecha, ya que no existen investigaciones registradas anteriormente para dicho propósito.

El tamaño óptimo resultante para la fruta de banano (6 frutas) correspondió a la variable de sólidos solubles, la cual presentó en el día 1 de vida útil poscosecha en el segundo ensayo un valor de coeficiente de determinación de 74%. Para el final de ese ensayo (día 28), esta variable disminuyó el tamaño de unidad experimental a 1 fruta, así como su R^2 a 68%. Este comportamiento fue similar para la misma variable en el primer ensayo, pues en el día 1 la cantidad de frutas fue de 4 y el coeficiente de determinación de 90%; y al final (día 28), ambos valores disminuyeron a 3 frutas y a 83%, respectivamente.

Lo anterior se debe a que los sólidos solubles son producto de la degradación del almidón, el cual se acumula en gran proporción en la fruta de banano durante su crecimiento y desarrollo. Además, la cantidad de almidón se mantiene constante antes del proceso de maduración y contribuye a que la fruta verde se mantenga tan firme (Xiao et al., 2018). En ese sentido, Millán y Ciro (2011) mencionan que conforme avanza la maduración, también lo hace la degradación del almidón y aumenta la cantidad de sólidos solubles, lo que confiere variabilidad entre frutas. Marriot et al. (2006) añaden que la sacarosa en el fruto de banano puede llegar a constituir hasta el 70% de los sólidos solubles totales, por lo que podrían existir diferencias considerables entre las cantidades de los azúcares de la fruta. Mahajan et al. (2010) señalan que la aplicación externa de etileno en la fruta de banano para inducir a la maduración favorece que la variabilidad entre frutas no sea tan grande.

Es importante considerar que la variabilidad intrínseca no se puede eliminar completamente, ya que como mencionan Ciro et al. (2005) la cantidad de sólidos solubles totales, la firmeza y otras variables de calidad en las frutas es altamente dependiente de varios factores precosecha. Algunos de estos factores son la variedad, las variables ambientales (temperatura y radiación solar), el sistema de producción (convencional u orgánico), el momento de cosecha, el grado de madurez, la posición de la fruta en el racimo, etc. (García & Rodríguez, 2017). Además, la fruta utilizada en esta investigación provino de fincas en donde se manejan grandes volúmenes que durante la cosecha y el transporte favorece la heterogeneidad.

Conclusiones

El método de curvatura máxima permitió determinar que el tamaño óptimo de unidad experimental para la evaluación de variables de calidad poscosecha en banano corresponde a 6 frutos, valor que garantiza una adecuada representación de la variabilidad presente durante las diferentes etapas de evaluación y proporciona un nivel aceptable de precisión.

Los resultados obtenidos evidencian que este método constituye una herramienta confiable para la definición de unidades experimentales en estudios poscosecha, ya que establece tamaños mínimos óptimos que pueden emplearse como referencia en futuras investigaciones.

La variabilidad entre frutos está influenciada por cambios fisiológicos asociados a la maduración, especialmente en variables como los sólidos solubles. Aunque el tamaño de unidad experimental puede variar según la variedad evaluada o las variables de interés, los resultados obtenidos representan una base técnica sólida para el diseño de ensayos de calidad poscosecha en banano, contribuyendo a mejorar la precisión experimental y el uso eficiente de los recursos disponibles.

Literatura citada

- Ahmad, M. S., Siddiqui, M. W. (2015). Factors affecting postharvest quality of fresh fruits. In M. W. Siddiqui (Ed.), *Postharvest quality assurance of fruits* (pp. 7-32). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21197-8>
- Al-Yahyai, L., Al-Yahyai, R., Janke, R., Al-Dairi, M., & Pathare, P. B. (2025). Effect of natural edible oil coatings and storage conditions on the postharvest quality of bananas. *AgriEngineering*, 7(7), 234. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7070234>
- Badii, M. H., Castillo, J., & Guillen, A. (2008). Tamaño óptimo de la muestra. *Innovaciones de Negocios*, 5(1), 53-65. <https://doi.org/10.29105/rinn5.9-5>

- Badii, M. H., López, F., Quiróz, H., & Pazhakh, R. (2004). Muestreo como un requisito fundamental en las ciencias experimentales. *Innovaciones de Negocios*, 1(1), 33-53. <https://doi.org/10.29105/rinn1.1-4>
- Cargnelutti, A., Marchesan, E., Silva, L. S., & Toebe, M. (2012). Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipo de arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(3), 336-343. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2012.v47.11865>
- Ciro, H. J., Montoya, M. L., & Millán, L. D. J. (2005). Caracterización de propiedades mecánicas del banano (Cavendish Valery). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 58(2), 2975-2988. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914237011>
- Da Silva, R., Xavier, A., Garcia, H., Pires, I. E. (2003). Determinacao do tamanho ótimo da parcela experimental pelos métodos da máxima curvatura modificado, do coeficiente correlacao intraclass da análise visual em testes clonais de eucalipto. *Revista Árvore*, 27(5), 669-676. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000500009>
- De Lima, J. F., Peixoto, C. P., Da Silva, C. A., & Faria, G. A. (2007). Tamanho ótimo de parcela para experimentos com plantas de mamoeiro em casa de vegetação. *Ciencia e Agrotecnologia*, 31(5), 1411-1415. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000500021>
- Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos* (2 ed.). Editorial Universidad de Antioquía.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2026) *Bananas*. <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities-overview/bananas-tropical-fruits/bananas/es>
- Gabriel, J., Valverde, A., Indacochea, B., Castro, C., Vera, M., Alcívar, J., & Vera, R. (2017). *Diseños experimentales: teoría y práctica para experimentos agropecuarios*. Grupo COMPÁS. <http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/116/3/Dise%C3%B1os%20Experimentales%20-%20Enero%2026%2C%202021.%20SEGUNDA%20EDICION.pdf>
- Galietta, G., & Zaccari, F. (2013). *La importancia de la poscosecha para asegurarnos alimentos sanos y nutritivos*. FAGRO.
- García, M. C., & Rodríguez, G. A. (2017). *Manejo de cosecha y poscosecha de papaya*. Editorial Corpoica.
- Hailu, M., Seyoum Workneh, T., & Belew, D. (2012). Effect of packaging materials on shelf life and quality of banana cultivars (*Musa* spp.). *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 2947-2963. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0826-5>
- Konica Minolta. (2007). *Precise color communication: Color control from perception to instrumentation*. https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf
- Le Clerg, E. L. (1967). *Significance of experimental design in plant breeding*. Iowa State University Press.

- Lessman, K. J., & Atkins, R. E. (1963). Optimum plot size and relative efficiency of lattice designs for grain sorghum yield tests. *Crop Science*, 3(6), 477-481. <https://doi.org/10.2135/cropsci1963.0011183X000300060006x>
- Mahajan, B. V. C., Kaur, T., Gil, M. I. S., Dhaliwal, H. S., Ghuman, B. S., & Chahil, B. S. (2010). Studies on optimization of ripening techniques for banana. *Journal of Food Science and Technology*, 47(3), 315-319. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0050-0>
- Marriot, J., Robinson, M., & Simon, K. (2006). Starch and sugar transformation during the ripening of plantains and bananas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32(10), 1021-1026. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740321011>
- Millán, L., & Ciro, H. (2011). Caracterización mecánica y fisico-química del banano tipo exportación (Cavendish Valery). *Desarrollo y Transversalidad*, 163-191. <https://repository.unilasallista.edu.co/items/d33ac6e0-5a28-4e03-a7f4-b7b3ae259659>
- Paranaiba, P. F., Ferreira, D. F., & De Moraes, A. R. (2011). Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposicao de métodos de estimacao. *Revista Brasileira de Biometria*, 27(2), 255-268. https://biometria.ufla.br/antigos/fasciculos/v27/v27_n2/Patricia.pdf
- Peixoto, A., Faria, G. A., Moraes, A. R. (2011). Using regression plateau models in estimation of plot sizes for experiments with passion fruit. *Ciencia Rural*, 41(11), 1907-1913. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011001100010>
- Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). (2025). *Estadísticas de comercio exterior*. <https://procomer.com/fr/anuario-estadistico/>
- Rodríguez, RA; Nogueira, C; Rosales, R; Da Silva, P; Camilo de Moraes, H. (2018). Tamaño óptimo de parcela y número de repeticiones para evaluar el rendimiento de boniato con mulch y suelo descubierto. *Agrociencia Uruguay*, 22(1), 90-97. <https://doi.org/10.31285/agro.22.1.9>
- Santos, D., Machado, F., Dal'Col, A., Lidolfo, S., & Cargnelutti, A. (2012). Tamanho ótimo de parcela para a cultura do feijao vagem. *Revista Ciencia Agronomica*, 43(1), 119-128. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100015>
- Siddiqui, M. W (2015). *Postharvest biology and technology of horticultural crops: Principles and practices for quality maintenance*. Academic Press. <https://doi.org/10.1201/b18438>
- Singh, A., & Masuku, M. (2014). Sampling techniques and determination of sample size in applied statistics research: An overview. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, 2(11), 1-22. <https://ijecm.co.uk/wp-content/uploads/2014/11/21131.pdf>
- Smith, F. (1938). An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. *Journal of Agricultural Science*, 28(1), 1-23.

- Vargas, J. C. V., & Navarro, J. R. N. (2017). Determinación del tamaño y la forma de unidad experimental, con el método de curvatura máxima, para ensayos de rendimiento de maíz (*Zea mays*), Guanacaste, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 9, 10. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1689>
- Vargas Rojas, J. C., & Navarro Flores, J. R. (2019). Tamaño y forma de unidad experimental para ensayos de rendimiento de arroz (*Oryza sativa*). Guanacaste, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*: 355-360. <http://dx.doi.org/10.22458/urj.v11i3.2653>.
- Viana, A. E. S., Sedyama, T., Cecon, P. R., Lopes, S. C., & Sedyama, M. A. N. (2002). Estimativas de tamanho de parcela em experimentos com mandioca. *Horticultura Brasileira*, 20(1), 58-63. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000100011>
- Vieira, J. V., & Da Silva, G. O. 2008. Tamanho mínimo de parcela para avaliacao de caracteres de raiz em cenoura. *Bragantia*, 67(4), 1047-1052. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000400029>
- Von Loesecke, H. W. (1950). *Bananas: Chemistry, physiology and technology*. Interscience Publishers.
- Wongs-Aree, C., & Noichinda, S. (2014). Postharvest physiology and quality maintenance of tropical fruits. In *Postharvest handling* (pp. 275-312). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408137-6.00010-7>
- Xiao, Y. Y., Kuang, J. F., Qi, X. N., Ye, Y. J., Wu, Z. X., Chen, J. Y., & Lu, W. J. 2018. A comprehensive investigation of starch degradation process and identification of a transcriptional activator MabHLH6 during banana fruit ripening. *Plant Biotechnology Journal*, 16(1), 151-164. <https://doi.org/10.1111/pbi.12756>

