

Relaciones semilla-fruto en tres ecotipos de uchuva (*Physalis peruviana* L.)

Seed fruit relationship in three cape gooseberry
(*Physalis peruviana* L.) ecotypes

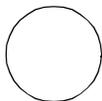


JUAN FELIPE PEÑA¹
JULIÁN DAVID AYALA¹
GERHARD FISCHER^{1,3}
BERNARDO CHÁVES¹
JULIÁN F. CÁRDENAS-HERNÁNDEZ²
PEDRO JOSÉ ALMANZA²

Fruto de uchuva
fisiológicamente madura.
Foto: G. Fischer

RESUMEN

Con el objetivo de determinar las relaciones semilla-fruto, se tomaron muestras de frutos de uchuva de los ecotipos 'Colombia', 'Kenia' y 'Sudáfrica', cultivados en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá), a 2.464 msnm, temperatura promedio de 15°C y precipitación promedio anual de 980 mm. Las uchuvas fueron plantadas en arreglo de 2,5 x 1,8 m, y los frutos se cosecharon después de la madurez fisiológica (estado 3 de Icontec). En cada fruto se determinó peso fresco, diámetro ecuatorial, diámetro polar, número y peso de semillas, y luego se calcularon las variables peso de una semilla e índice de semilla (número de semillas/100 g de fruto). El análisis de componentes principales mostró que los datos correspondientes al ecotipo 'Colombia' se separan claramente de los otros dos ecotipos. La procedencia Colombia presentó los menores valores de peso fresco del fruto, diámetro polar y diámetro ecuatorial, y el mayor valor del índice de semilla de los tres ecotipos, mientras 'Kenia' y 'Sudáfrica' solo presentaron diferencias estadísticas en el peso de semillas por fruto. Las relaciones más importantes se encontraron entre el peso fresco de fruto y el peso de semillas por fruto en el ecotipo 'Colombia', mientras que la relación del peso del fruto con el número de semillas/fruto fue menor.



Palabras clave adicionales: peso de fruto, diámetro del fruto, peso de semilla, índice de semilla.

¹ Facultad de Agronomía, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

² Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja (Colombia).

³ Autor para correspondencia. gfisher@unal.edu.co



ABSTRACT

In order to determine the seed/fruit relationship in the 'Colombia', 'Kenya' and 'South Africa' ecotypes of the cape gooseberry, samples of fruits from an orchard located in Nuevo Colón (Boyacá; 2,464 m a.s.l., 15°C average temperature and 980 mm annual precipitation) were taken. The plant arrangement was 2.5 x 1.8 m and fruits were harvested after physiological maturity (stage 3 according to Icontec). For each fruit, the variables: fresh weight, equatorial diameter, polar diameter, number and weight of seeds were measured and then the variables seed weight and seed index (number of seeds/100 g fruit weight) were calculated. Analysis of the principal components showed that the corresponding data clearly separated the ecotype Colombia from the other ecotypes. 'Colombia' presented significant differences for the averages of fresh weight, polar diameter and equatorial diameter per fruit, having smaller values than the other two ecotypes, but a higher seed index, whereas the Kenyan and South African ecotypes only presented statistical differences for the variable seed weight per fruit. The most important relationship was between the fruits' fresh weight and the weight of seeds per fruit found in the Colombian ecotype, while the relationship between fruit weight and seed number/fruit was less so.

Additional key words: fruit weight, fruit diameter, seed weight, seed index.

Fecha de recepción: 03-02-2010

Aprobado para publicación: 02-06-2010

INTRODUCCIÓN

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una especie frutícola andina que se ha destacado como un producto de exportación por excelencia (Perea *et al.*, 2010). Colombia es, probablemente, el país con la mayor área de producción de uchuva (800-1.000 ha) en la última década, con rendimientos entre 15 y 28 t ha⁻¹ (Agronet, 2010), lo que le ha permitido convertir esta fruta en una de las de mayor exportación del país (Fischer *et al.*, 2007).

Sobre el germoplasma del género *Physalis* en Colombia, Ligarreto *et al.* (2005) reportan que hubo 220 entradas de *P. peruviana* en la Universidad Nacional de Colombia (Palmira) y 98 de *Physalis* spp. en Corpoica, C.I. La Selva (Rionegro). A finales de la década de los ochenta, se introdujeron al departamento de Boyacá dos ecotipos africanos procedentes de Kenia y Sudáfrica (Almanza y Fischer, 1993); el ecotipo 'Kenia' se caracteriza por tener longitudes del tallo, de las ramas laterales y del área foliar y tamaño de la hoja menores que los de 'Sudáfrica' y 'Colombia', y el ecotipo originario de Colombia muestra un crecimiento del tallo, de las ramas y foliar muy similar a los originarios de Sudáfrica. El ecotipo keniano produce el mayor rendimiento por planta; mientras el colombiano, el mayor número de frutos por planta. Los frutos de origen

sudafricano son de mayor diámetro y peso, con el más alto peso de semillas por fruto y por unidad entre los tres ecotipos estudiados (Fischer *et al.*, 2007). Los frutos y cálices del ecotipo sudafricano son achatados, mientras los originarios de Kenia son alargados, y los frutos originarios de Colombia son globosos.

La uchuva es una de las 100 especies herbáceas perennes del género *Physalis* (familia Solanaceae), cuyos frutos se forman y permanecen dentro del cáliz durante todo su desarrollo (Legge, 1974); pertenece al tipo de fruto de las bayas, debido a que el endocarpio y el mesocarpio son carnosos (Ryugo, 1993) y contiene entre 100 y 300 semillas; su forma es globosa u ovoide, con un diámetro entre 1,25 y 2,50 cm, y pesa de 4 a 10 g (Fischer, 2000). La estructura interior de la uchuva se parece a la del tomate de mesa; sin embargo, la pulpa está formada por tejido procedente tanto del pericarpio como de la placenta, al contrario de lo que ocurre en el tomate, cuya pulpa procede principalmente de la placenta (Valencia, 1985). El parénquima del fruto de la uchuva no es compacto y presenta numerosas lagunas (vacíos) de más de 4 mm de longitud, cuyo número y tamaño aumenta cuando el fruto madura. El fruto de uchuva se



desarrolla y madura durante 60 a 80 d, dependiendo de las condiciones agroecológicas del sitio (Fischer, 1995); se caracteriza porque su cáscara y pulpa son de color amarillo-naranja en su estado final (Fischer, 2000).

En general, el tamaño de los frutos es determinado por dos componentes fijados genéticamente: el número de células y la capacidad de elongación de estas, y ambos pueden ser modulados por las condiciones ambientales (Friedrich y Fischer, 2000). Grange (1993) manifiesta que el crecimiento potencial del fruto está claramente determinado por factores genéticos, pues el componente varietal tiene gran influencia sobre la velocidad de crecimiento, el tamaño final y la forma del fruto, y que la variación en el tamaño del fruto, dentro de la misma especie, proviene de las diferencias en el número de células del ovario antes de la antesis.

Además de los efectos importantes del agua, la temperatura, la radiación lumínica y los elementos nutricionales (principalmente K y N) sobre la expansión del fruto (Grange, 1993), las semillas en desarrollo desempeñan una función decisiva en la promoción del crecimiento de este órgano y constituyen una fuente importante de hormonas (Crane, 1969). Sin embargo, Monselise (1986) reporta que las hormonas que producen las semillas tienden a retrasar la maduración del fruto.

La semilla es el producto de la fecundación del óvulo por el polen (Almanza, 2000). Una vez formadas las semillas, el ovario se desarrolla y se transforma en fruto (Agustí, 2004). Las semillas de uchuva son pequeñas, de forma lenticular y están desprovistas de hilos placentarios (Fischer, 2000). En diversos estudios se ha encontrado que el peso promedio de 1.000 semillas de uchuva es de 1 g (Almanza, 2000). Un fruto de uchuva, ecotipo 'Colombia', produce en promedio de 210 a 240 mg de semillas, que corresponden a un número de 250 a 320 por fruto. Brücher (1977) menciona que con el incremento del tamaño de la semilla de uchuva, los frutos de la siguiente cosecha son más grandes.

De acuerdo con Villamizar *et al.* (1993), la semilla representa, en promedio, el 5,4% del peso total

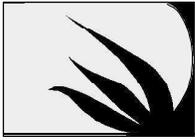
del fruto de uchuva. Por otra parte, Camacho (2000) obtuvo una relación de 26,5 semillas por cada 100 g de fruto y encontró que la uchuva (con cáliz) está compuesta en un 70% por la pulpa, en un 6,4% por el cáliz y en un 23,6% por la semilla y la cáscara.

Las semillas de uchuva pasan de un color blanquecino a pardo claro cuando están aptas para germinar y el fruto alcanza su madurez fisiológica (Almanza y Espinosa, 1995); para las condiciones de Tunja (Boyacá) esta madurez inició a los 42 d del desarrollo del fruto para el ecotipo 'Colombia', con un 20% de germinación. La madurez fisiológica, reportan Mazorra *et al.* (2003), para frutos de 40 d, producidos en Subia (Cundinamarca), tuvieron un porcentaje de germinación de semillas superior al 90%, mientras Criollo e Ibarra (1992) obtuvieron en Pasto (Nariño) una germinación de 75%.

Las semillas son centros de actividad metabólica, y una vez ha comenzado su desarrollo parecen ejercer un efecto predominante sobre el crecimiento de muchos frutos (Grange, 1993). Según Crane (1969), en muchas especies existe una correlación marcada entre el número de semillas y el tamaño final del fruto; relación que se encontró también en tres ecotipos de uchuva cultivadas en dos altitudes diferentes en Boyacá (Fischer *et al.*, 2007). En tomate (*Lycopersicon esculentum*), Varga y Bruinsma (1986) observaron que los frutos con un número menor de semillas tomaron más tiempo para desarrollarse que aquellos normales.

Crane (1969) propuso que las semillas servían como un punto focal para la movilización de hormonas y fotosintatos del fruto. Su proposición está basada en la habilidad de las auxinas sintéticas, citoquininas y giberelinas para inducir el amarre de fruto y desarrollo en ausencia de la fecundación. Igualmente, Barceló *et al.* (2001) afirman que el desarrollo del fruto es controlado por las semillas en desarrollo, las cuales regulan su crecimiento hormonalmente.

También Ryugo (1993) define que el tamaño del fruto es proporcional al número de semillas maduras viables en frutos en desarrollo que normalmente producen muchas semillas (por ejemplo kiwi, mora, fresa, breva).



Imanishi e Hiura (1975) afirman que el cuajado y desarrollo del fruto son ligeramente promovidos por fitohormonas, principalmente auxinas y citoquininas, las cuales se producen a partir del polen, tejidos del estilo y la semilla durante los procesos normales de polinización, fertilización y formación de la semilla. Después del cuajado, el fruto crece por el aumento del tamaño de las células promovido por las hormonas sintetizadas por las semillas en desarrollo. Esto sugiere que una buena formación de semillas produce una gran cantidad de auxinas y citoquininas, lo que conduce a un desarrollo normal del fruto con un crecimiento óptimo de sus células.

Según Agustí (2004), las hormonas sintetizadas en las semillas juegan un papel importante en el crecimiento del fruto, debido a que la actividad hormonal influye la expresión de la información genética, la actividad enzimática y la funcionalidad de las membranas. La mayor parte de las hormonas producidas en el fruto, con algunas excepciones, se sintetizan en las semillas y ejercen su acción a través de su desarrollo.

En la medida en que aumente el número de semillas, se incrementa la producción seminal de las auxinas por fruto. Un fuerte flujo basípeta de auxinas resulta en que el fruto desarrolla una alta capacidad vertedero de elementos minerales y fotoasimilados, y así puede crecer más que los frutos con pocas semillas (Friedrich y Fischer, 2000). Coombe (1989) constató que una baya en maduración es un fuerte vertedero para solutos provenientes de la fotosíntesis y de los órganos de reserva. Esta relación fue atribuida a hormonas como las auxinas, giberelinas y citoquininas formadas en las semillas y liberadas a la pulpa, las cuales promueven la división y extensión celular y modifican la composición de la pulpa del fruto (Scienza *et al.*, 1978). Algunas de estas sustancias, obviamente, provienen de órganos externos al fruto, y el efecto de las semillas se enfatiza especialmente en la relación entre el peso de la baya y el número de sus semillas (Boselli *et al.*, 1995).

Para el caso de otra solanácea, el tomate, Agustí (2008) constata que el AIA no tiene un efecto directo sobre el desarrollo del fruto, sino su acción debe estar restringida a las semillas y, más bien, está implicada en el crecimiento del embrión,

sobre el que crea un potente efecto vertero del que se aprovecha el pericarpio para crecer.

Con relación a las giberelinas (GA), en peras y mandarinas, cuando se impide la formación de semillas mediante emasculación, el contenido de estas sustancias en los frutos es menor que en aquellos que han desarrollado frutos normalmente, por lo que Agustí (2004) concluye que esta hormona contribuye al desarrollo inicial del fruto. El contenido de GA en las semillas es alto; en arveja las GA transportadas desde las semillas regulan el crecimiento del pericarpio (Ludford, 1995). En frutos pomáceos, cuando las semillas se forman después de la fecundación producen ácido giberélico, que estimula la producción de AIA (Westwood, 1993).

Algunos autores señalan que la presencia de las citoquininas en el fruto es consecuencia de su transporte desde las raíces, más que de su síntesis en las semillas en desarrollo; a pesar de ello, han podido ser aisladas de semillas de kiwi y de limón (Agustí, 2004).

Debido a que el número de semillas puede ser considerado un indicador en el desarrollo del fruto (Imanishi e Hiura, 1975), este artículo pretende contribuir al conocimiento básico y fisiológico de la relación entre semillas y fruto, a través de la determinación de la relación semilla-fruto en cada uno de los ecotipos estudiados, con el fin de aportar información útil en programas de fitomejoramiento y selección de ecotipos (cultivares) para producir frutos de uchuva, bien sea para su posterior procesamiento o para la exportación en fresco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de los ecotipos de uchuva 'Colombia' y los procedentes de África ('Kenia' y 'Sudáfrica') se desarrollaron entre los meses de septiembre y noviembre en una finca ubicada en la vereda Centro Rural, del municipio boyacense de Nuevo Colón (5°21' N y 73°27' W, altitud: 2.464 msnm, temperatura promedio: 15°C, precipitación promedio anual: 980 mm; bajo condiciones de bosque seco montano bajo [bs-MB]). La distancia de plantación fue 2,5 m (entre hileras) y 1,8 m entre plantas, cuyas ramas estuvieron amarradas



con fibra a dos alambres. Los frutos se cosecharon después de haber pasado la madurez fisiológica (estado 3 de acuerdo con Icontec, 1999).

Se tomaron muestras de 50 frutos por cada ecotipo en una sola cosecha. Las variables medidas a cada fruto fueron: peso fresco, diámetro ecuatorial, diámetro polar, número y peso de las semillas por fruto. Se determinaron otras características a partir de los datos obtenidos, como el peso de una semilla y el índice de semilla (número de semillas/100 g de fruto). Las semillas se colocaron dentro de un tamiz en un recipiente con agua; de esta forma, descendieron al fondo, mientras la pulpa quedó flotando; estas se secaron sobre papel periódico (sin tinta) durante 24 h en un sitio a la sombra y a temperatura ambiente (18°C).

Para evaluar las variables definidas se realizó un análisis de componentes principales, mediante la herramienta Biplot® versión 1.1 (Departamento de Estadística de Virginia Tech.), con transformación de la matriz (centrada y reducida). El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica estadística de análisis multivariable ampliamente utilizada para encontrar patrones de datos de alta dimensión. Esto se logra analizando la estructura de la matriz de correlación de las variables analizadas y a través de combinaciones lineales de los datos originales, que permite expresar la información de tal forma que se acentúen las similitudes y diferencias de los datos bajo estudio. La ventaja fundamental de ACP es que una vez que se han encontrado los patrones en los datos, se puede seleccionar la información más importante por medio de la reducción de las dimensiones originales, sin que exista pérdida significativa de información (Chatfield y Collins, 1980).

Se realizaron pruebas para determinar el cumplimiento de supuestos para análisis paramétricos; se encontró que las variables, si bien presentan forma aproximadamente normal, no se ajustan a la distribución. Lo anterior condujo a realizar transformaciones de las variables para cada ecotipo; se encontró que estandarizándolas se comportan de manera normal y se homogeneizan los errores.

Para el análisis de la información se usó el software estadístico SAS 9.1.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC). Se empleó análisis de varianza para comparar los ecotipos, y para determinar las relaciones entre las variables evaluadas se realizó un análisis de correlación de las variables en cada ecotipo evaluado. Adicionalmente, se realizaron ajustes de modelos de regresión lineal para determinar algunas funciones de interés para los diferentes ecotipos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de componentes principales

Con las variables medidas y calculadas se realizó el análisis de componentes principales, que determinó que el componente horizontal explica el 67,25% de la varianza total de la matriz de datos, y el componente vertical explica un 17,52%. La figura 1 ilustra los dos primeros componentes principales sobre los cuales se ubican las características observadas en los tres ecotipos. En el componente horizontal se ubican, con mayor importancia por la longitud de sus ejes, las variables peso fresco del fruto, diámetro ecuatorial, diámetro polar, peso de semillas por fruto y peso de semilla. Más relacionadas con el componente vertical se encuentran las variables número de semillas por fruto e índice de semilla.

En cuanto a la relación entre las variables, se tiene que las de diámetro polar y diámetro ecuatorial del fruto se encuentran muy cercanas a la de peso del fruto, debido a que se trata de frutos de forma redonda. También se observa que los datos correspondientes al ecotipo 'Colombia' se separan claramente de los otros dos ecotipos; así, se evidenció una relación positiva más alta entre el ecotipo 'Colombia' y la variable índice de semilla; además, una relación negativa de ese ecotipo con las variables número de semillas y peso de semillas por fruto.

Los datos correspondientes al ecotipo 'Kenia' se ubican, en su mayoría, por debajo y a la derecha del eje vertical, lo que indica una relación positiva con las variables peso de semilla y peso de fruto; mientras que la relación es negativa con la variable índice de semilla. Los datos de la procedencia 'Sudáfrica' se encuentran dispersos alrededor de la intersección de los ejes.

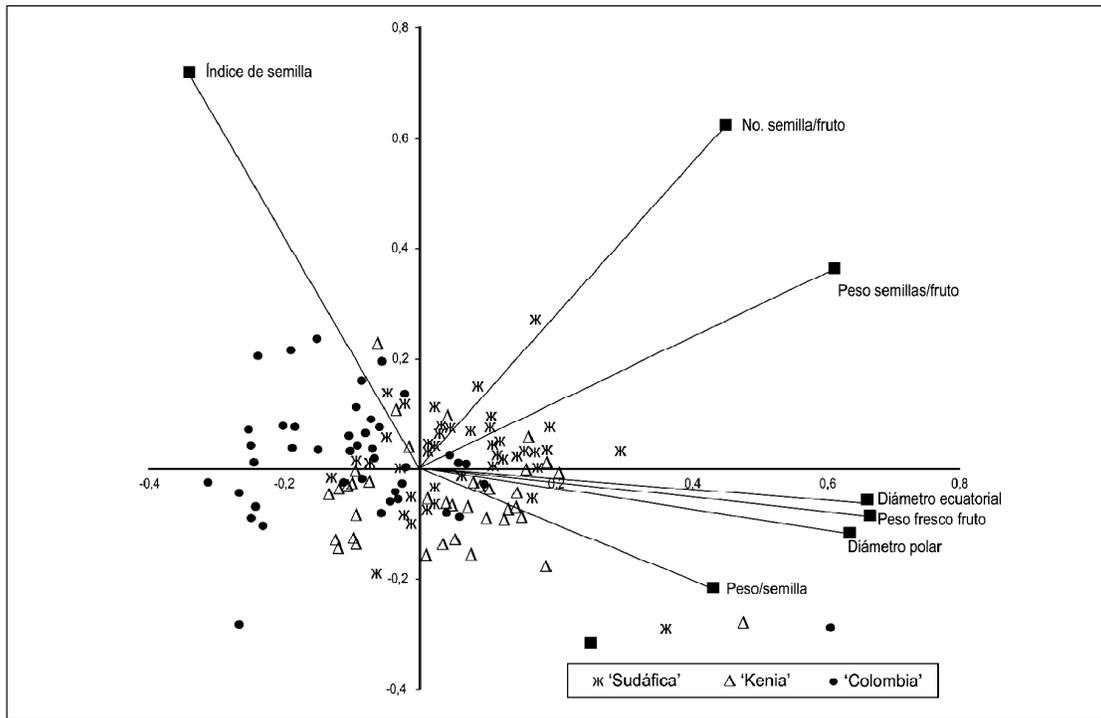


Figura 1. Análisis de componentes principales y comportamiento de las características medidas de los tres ecotipos en los dos primeros componentes.

Análisis de la varianza para las variables medidas y calculadas

Peso fresco y tamaño de los frutos

El peso fresco del fruto en el ecotipo 'Colombia' es el menor y se diferencia estadísticamente de los otros dos orígenes. Las medias del peso fresco de fruto en los ecotipos 'Kenia' y 'Sudáfrica' no presentan diferencias significativas (tabla 1), lo que coincide con lo encontrado por Fischer *et al.*

(2007) con las mismas proveniencias cultivadas en Boyacá. Los promedios de diámetro polar y ecuatorial fueron significativamente menores para 'Colombia' (tabla 1); para ambos diámetros, lo obtenido concuerda con lo reportado por Fischer *et al.* (1998) con los mismos ecotipos cultivados en dos localidades, Villa de Leyva y Tunja, en Boyacá. El mayor peso y tamaño del fruto de las procedencias africanas se podría explicar considerando que la selección de estos ecotipos se ha realizado según estas características, donde el

Tabla 1. Promedios de peso, tamaño y de contenido de semillas del fruto en tres ecotipos de uchuva.

Variable	Unidad	'Colombia'	'Kenia'	'Sudáfrica'
Peso fresco fruto	g	4,13 b	6,04 a	6,03 a
Diámetro polar	cm	1,84 b	2,04 a	1,99 a
Diámetro ecuatorial	cm	1,95 b	2,25 a	2,32 a
No. de semillas/fruto	n	236,7 b	241,7 a	263,6 a
Peso de semillas/fruto	g	0,20 c	0,25 b	0,28 a
Peso/semilla	mg	0,84 b	1,04 a	1,08 a
Índice de semilla	-	6.170 a	4.159 b	4.476 b

Promedios con letras distintas, en la misma línea horizontal, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

keniano, según Rodríguez y Bueno (2006), tiene doble dotación cromosómica ($2n = 48$) que el colombiano ($2n = 24$), que es categorizado por Ligarrero *et al.* (2005) como un ecotipo silvestre.

Contenido de semillas

Al igual que el peso y el tamaño, el número de semillas por fruto en el ecotipo 'Colombia' es menor, mientras los ecotipos africanos no presentan diferencia significativas entre sí (tabla 1). En el caso de la proveniencia 'Colombia', este resultado es similar a lo encontrado por Fischer (1995) en Tunja (245 semillas/fruto); sin embargo, los dos ecotipos africanos produjeron más semillas en Tunja que las encontradas en el presente trabajo. En Villa de Leyva (2.300 msnm), los tres ecotipos de uchuva desarrollaron un número mayor de semillas por fruto, especialmente 'Kenia' (348/fruto) (Fischer *et al.*, 2007), comparado con Nuevo Colón.

Peso de semillas por fruto

Los promedios del peso total de las semillas por fruto revelan diferencias significativas entre los tres ecotipos; el mayor peso de las semillas por fruto se presentó en el ecotipo 'Sudáfrica', seguido por 'Kenia' y 'Colombia' (tabla 1). El valor para 'Colombia' es similar a lo reportado por Almanza (2000), quien encontró en este ecotipo un peso promedio de semillas de 210 a 240 mg; sin embargo, estos pesos son menores a los reportados por Fischer *et al.* (2007) en Tunja y Villa de Leyva, los cuales, probablemente, están influenciados por el manejo del cultivo y las condiciones climáticas que se presentaron en los diferentes sitios durante estos estudios.

Esto sugiere un mayor efecto vertedero del embrión de las semillas (Agustí, 2008) del ecotipo 'Kenia', ya que presentó estadísticamente ($P \leq 0,05$) menos peso de semillas por fruto que el de Sudáfrica, pero produjo un peso fresco del fruto igual entre estas dos procedencias.

Peso por semilla

La tabla 1 muestra que los promedios de peso de una semilla no son significativamente diferentes

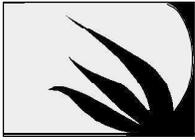
entre los ecotipos 'Kenia' y 'Sudáfrica', con medias de 1,04 mg y 1,08 mg, respectivamente, los cuales son estadísticamente mayores que el del ecotipo 'Colombia', que tiene una media de 0,84 mg. Este resultado muestra que el peso individual de la semilla podría ser un indicador para la selección de ecotipos o programas de fitomejoramiento en uchuva, porque en los dos ecotipos africanos las semillas más pesadas resultaron también en pesos frescos por fruto más altos comparado con el colombiano (tabla 1). La semilla en desarrollo es un vertedero fuerte para carbohidratos que son suministrados como sacarosa vía floema (Öpik y Rolfe, 2005), favoreciendo el peso final del fruto.

El menor peso por semilla en las uchuvas colombianas fue también encontrado por Fischer *et al.* (2007); sin embargo, en este estudio las semillas de 'Sudáfrica' fueron mucho más pesadas que las de 'Kenia'. Es posible que la menor incidencia de luz en Nuevo Colón (régimen de lluvia unimodal con un largo periodo lluvioso) pudiera haber influenciado el menor peso de las semillas sudafricanas. Copeland y McDonald (2001) constatan que una menor radiación solar resulta en semillas más pequeñas, debido a la reducción de la tasa fotosintética que disminuye el periodo del llenado de las semillas.

El menor peso de las semillas puede afectar la germinación y el desarrollo inicial de la plántula. Díaz (2007) observó que semillas de uchuva de 1,107 mg produjeron un mayor peso seco de la parte aérea de la plántula, comparado con las de 0,916 mg. Posiblemente, en las semillas demasiado livianas la cantidad de materiales de reserva, almacenados en los cotiledones y el endospermo (Matilla, 2008), no es suficiente para garantizar un crecimiento inicial óptimo de la plántula. De acuerdo con lo encontrado por Díaz (2008), se podría suponer que las semillas de los dos ecotipos africanos originarán plántulas de mayor vigor que las del colombiano.

Número de semillas por 100 g de fruto (índice de semilla)

Los promedios del número de semillas por 100 g de fruto no muestran diferencias significativas entre los ecotipos 'Kenia' y 'Sudáfrica', con



medias de 4.159 y 4.476 semillas, respectivamente; pero sí de estos dos ecotipos con respecto al ecotipo 'Colombia', que tiene una media en esta variable de 6.170 (tabla 1). Este resultado obedece a la interacción entre las variables peso de semilla, peso de fruto y número de semillas por fruto, en donde el ecotipo 'Colombia' presenta semillas y frutos de menor peso y con un mayor número de semillas, contrario a lo que ocurre en los ecotipos africanos.

En general, las semillas más grandes inducen mayor crecimiento inicial de las plántulas y mayor habilidad de competir con las malezas. Las semillas pequeñas normalmente germinan más rápido, pero producen un menor peso de la parte aérea; el tamaño de la semilla es responsable, en un alto porcentaje, de la variabilidad en el crecimiento de plántulas en algunos cereales (Bennett, 2004). Por estas razones, se esperaría un mejor comportamiento en la germinación de las semillas de origen colombiano, pero un mejor establecimiento de las plántulas del material africano.

Relaciones entre el peso fresco, el tamaño y el contenido de semillas de los frutos Diámetro ecuatorial y polar

Se obtuvieron los coeficientes de correlación de Pearson entre el peso fresco del fruto y sus diámetros polar y ecuatorial para cada uno de los ecotipos; esta correlación para los tres ecotipos en conjunto no fue significativa.

En los ecotipos 'Colombia' y 'Kenia', la correlación entre la variable peso de fruto y los diámetros ecuatorial y polar fue alta, lo que indica, junto con la correlación entre los dos diámetros, que la forma del fruto de estos ecotipos es muy cercana a la esfera. Para el caso de la proveniencia 'Sudáfrica' existe una correlación alta entre el peso del fruto y el diámetro ecuatorial ($r = 0,96$), siendo menor esta correlación con el diámetro polar ($r = 0,85$); esto indica que la forma del fruto es más ancha que alta, es decir, como una esfera achatada en los polos, lo que coincide con lo mostrado por Almanza (2000).

Tabla 2. Correlaciones del peso fresco del fruto con sus diámetros y el contenido de semillas en tres ecotipos de la uchuva.

Correlación	Coeficiente de correlación con el peso fresco del fruto		
	'Colombia'	'Kenia'	'Sudáfrica'
Diámetro ecuatorial	0,96 **	0,97 **	0,96 **
Diámetro polar	0,97 **	0,93 **	0,85 **
No. de semillas/fruto	0,56 **	0,69 **	0,72 **
Peso desemillas/fruto	0,87 **	0,82 **	0,73 **

** Coeficiente de correlación de Pearson altamente significativo.

Número y peso de semillas por fruto

Se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson para las variables peso fresco del fruto, número de semillas por fruto y peso de semillas por fruto, para cada ecotipo individualmente (tabla 2) y para los tres ecotipos en conjunto (tabla 3). También se realizaron las regresiones lineales para los tres ecotipos en conjunto e individualmente, con el fin de determinar modelos que permitan definir claramente estas relaciones.

La relación entre el peso fresco del fruto y el peso de las semillas por fruto presenta un coeficiente de correlación más alto ($r = 0,84$) con respecto a la relación entre el peso fresco del fruto y el número de semillas por fruto, que fue de 0,62. Por lo tanto, en este caso el peso de las semillas explica un mayor porcentaje del peso fresco del fruto que el número de semillas; sin embargo, en ambos casos existen otras variables, no estudiadas acá, que determinan el comportamiento del peso fresco del fruto.

Tabla 3. Correlaciones para las variables peso fresco de fruto, número de semillas por fruto y peso de semillas por fruto en tres ecotipos de uchuva.

Variable	Peso fresco de fruto	No. de semillas por fruto	Peso de semillas por fruto
Peso fresco de fruto	1	0,62 **	0,84 **
No. de de semillas por fruto	0,62 **	1	0,79 **
Peso de semillas por fruto	0,84 **	0,79 **	1

** Coeficiente de correlación de Pearson altamente significativo.

Analizando cada proveniencia independientemente, se encontró que el ecotipo 'Colombia' presentó coeficientes de correlación bajos, sobre todo en la relación entre el peso fresco del fruto y el número de semillas por fruto ($r = 0,56$); sin embargo, la relación entre el peso fresco del fruto y el peso de semillas por fruto tiene un coeficiente de 0,87, que indica que el peso del total de las semillas por fruto es más determinante sobre el peso del fruto que el número de semillas, lo cual sugiere que no

siempre un mayor número de semillas implica un mayor peso total de semillas. Sumado a lo anterior, el coeficiente de correlación entre el número de semillas por fruto y el peso de semilla por fruto fue de 0,76, por lo tanto, se puede afirmar, para el ecotipo 'Colombia', que el peso de las semillas presenta alta variación, por lo que frutos con el mismo número de semillas pueden presentar diferente peso total de estas, y será más pesado aquel fruto con mayor peso total de semillas.

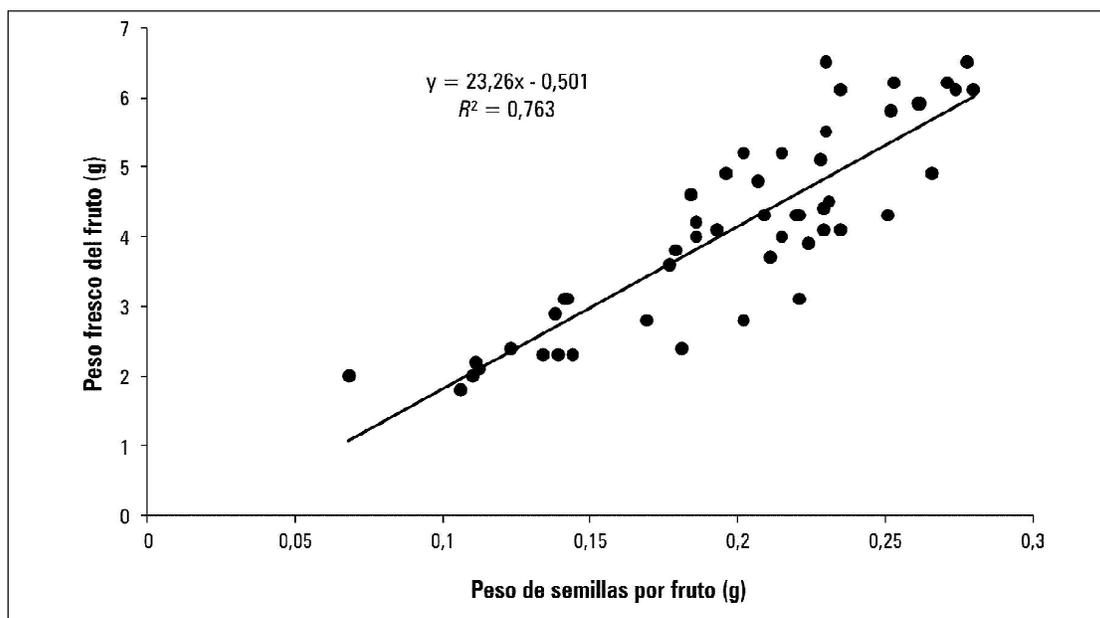


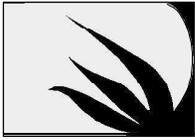
Figura 2. Regresión lineal de las variables peso de semillas por fruto y peso fresco de fruto para el ecotipo 'Colombia' en uchuva.

Los anteriores resultados se reflejan en el comportamiento del R^2 , ya que entre las variables peso fresco de fruto y número de semillas por fruto fue de 0,31; mientras que el valor de este parámetro para la relación peso fresco de fruto y peso de semillas por fruto fue de 0,76, y esta relación está determinada por la ecuación $y = 23,268x - 0,5015$ (figura 2).

Los coeficientes de correlación en el ecotipo 'Kenia' muestran una relación más alta entre el peso de semillas por fruto y el número de semillas por fruto ($r = 0,93$), en comparación con el ecotipo 'Colombia'. Con respecto a la relación entre las variables peso fresco de fruto y número de semillas por fruto (tabla 2), muestra un

coeficiente de 0,69, que indica una baja relación entre las variables, mientras que la relación entre el peso fresco de fruto y el peso de semillas por fruto es más alta ($r = 0,82$).

El R^2 entre las variables peso fresco de fruto y número de semillas por fruto para el ecotipo 'Kenia' fue de 0,47, y para la relación entre el peso fresco de fruto y el peso de semillas por fruto fue de 0,67; en ambos casos son valores comparativamente bajos; estos resultados indican que el ecotipo 'Kenia' presenta mayor homogeneidad en el tamaño de las semillas, sin embargo, la relación entre el tamaño del fruto y el contenido de semillas es menor en comparación con el ecotipo 'Colombia'.



En el ecotipo 'Sudáfrica', los coeficientes de correlación entre la variable peso fresco de fruto y número de semillas o peso de semillas por fruto son muy similares (tabla 2), teniendo 0,72 y 0,73, respectivamente; a su vez, la correlación entre el número de semillas por fruto y peso de semillas por fruto es de 0,79. Una posible interpretación de estos resultados es que en este ecotipo el peso de los frutos se encuentra relacionado de forma similar con estas dos variables (peso total y número de semillas por fruto) y que el peso de las semillas es más homogéneo que en el ecotipo 'Colombia', pero menos que en el 'Kenia'.

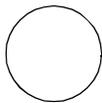
En otras especies, la correlación entre el número de semillas y el tamaño del fruto fue más acentuada que en la uchuva. Una correlación positiva entre el número de semillas y el tamaño del fruto encontraron Stenvers y Staden (1976) en tomate, también determinaron una alta correlación positiva entre el número de semillas y los días desde la polinización hasta la madurez del fruto, lo que puede indicar que con un mayor número de semillas se incrementa el periodo de desarrollo del fruto. Así mismo, Boselli *et al.* (1995) encontraron, en dos variedades de uva (*Vitis vinifera* L.), que el tamaño final de los frutos estuvo relacionado con el número de semillas contenidas; las bayas con una semilla fueron más pequeñas que las que tuvieron dos, tres o cuatro semillas.

En manzano se encontró que a medida que se incrementó el número de las semillas por fruto, se aumentó el tamaño de este y su concentración de calcio (Bramlage *et al.*, 1990); esto puede constituir un punto de referencia importante para seleccionar ecotipos, condiciones ecofisiológicas o prácticas de manejo del cultivo de la uchuva, que contribuyan a aumentar el número de semillas por fruto con el fin de

disminuir la incidencia del rajado por deficiencia de Ca (Gordillo *et al.*, 2004; Cooman *et al.*, 2005). Sin embargo, en este caso se necesita estudiar más a fondo el aumento del tamaño del fruto por un mayor número de semillas, que puede originar por sí solo un mayor rajado (Fischer, 2005), que enmascara el efecto positivo sobre la absorción de Ca.

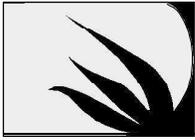
CONCLUSIONES

- Los frutos del ecotipo 'Kenia' presentan el índice de semilla más bajo, derivado de un mayor peso fresco de fruto y menor número de semillas por fruto; esto le confiere una ventaja a este ecotipo en el procesamiento agroindustrial, en el que se requieren frutas de mayor tamaño y menor número de semillas, lo que permite alcanzar un mayor rendimiento de la parte comestible.
- El ecotipo 'Sudáfrica' muestra frutos con mayor cantidad de semillas, lo que indica que puede ser útil en futuros programas de fitomejoramiento y en producción de plántulas.
- El ecotipo 'Kenia' presenta mayor homogeneidad en el peso de las semillas, mientras el ecotipo 'Colombia' es el que presenta mayor variabilidad; esto podría verse reflejado en la capacidad germinativa de cada ecotipo.
- En uchuva, el peso fresco del fruto tiene mayor relación con el peso fresco de las semillas que con el número de semillas por fruto, sin embargo, estas relaciones varían dependiendo del ecotipo, existiendo una mayor correlación en la procedencia 'Kenia'.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agronet. 2010. Producción nacional por producto, Uchuva. En: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb/AnalisisEstadisticas/tabid/73/Default.aspx>; consulta: abril de 2010.
- Agustí, M. 2004. Fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Agustí, M. 2008. Crecimiento y maduración del fruto. pp. 519-535. En: Azcón-Bieto y M. Talón. (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamerican de España, Madrid.
- Almanza, P.J. 2000. Propagación. pp. 27-40. En: Flórez, V.J.; G. Fischer y A.D. Sora (eds.). Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Almanza, P.J. y C.J. Espinosa. 1995. Desarrollo morfológico y análisis físico-químico de frutos de uchuva *Physalis peruviana* L. para identificar el momento óptimo de cosecha. Trabajo de final. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- Almanza, P.J. y G. Fischer. 1993. Nuevas tecnologías en el cultivo de la uchuva. Agro-Desarrollo 4(1-2), 288-300.
- Barceló, J.; B. Savater; R. Sánchez y G. Rodrigo. 2001. Fisiología vegetal. Ediciones Pirámide, Madrid.
- Bennett, M.A. 2004. Chapter 3. Seed and agronomic factors associated with germination under temperature and water stress. pp. 97-124. En: Benech-Arnold, R.L. y R.A. Sánchez (eds.). Handbook of seed physiology: applications to agriculture. The Haworth Press. Inc., NY.
- Boselli, M.; B. Volpe y C. Di Vaio. 1995. Effect of seed number per berry on mineral composition of grapevine (*Vitis vinifera* L.) berries. J. Hort. Sci. 70(3), 509-515.
- Bramlage, W.J., S.A. Weis y D.W. Greene. 1990. Observations on the relationships among seed number, fruit calcium, and senescent breakdown in apples. HortScience 25(3), 351-353.
- Brücher, H. 1977. Tropische Nutzpflanzen. Springer-Verlag, Berlín.
- Camacho, G. 2000. Procesamiento. pp. 129-146. En: Flórez, V. J., G. Fischer y A. D. Sora (eds.). Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Chatfield, C. y A.C. Collins. 1980. Introduction to multivariate analysis. Chapman and Hall, London.
- Cooman, A.; C. Torres y G. Fischer. 2005. Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta: II. Efecto de la oferta de calcio, boro y cobre. Agron. Colomb. 23(1), 74-82.
- Coombe, B.G. 1989. The grape berry as a sink. Acta Hort. 239, 149-158.
- Copeland, L.O. y M.B. McDonald. 2001. Principles of seed science and technology. 4a edition. Kluwer Academic Publishers, Boston. pp. 17-38.
- Crane, J.C. 1969. The role of hormones in fruit set and development. HortScience 4(2), 1969-1970.
- Criollo, H. y V. Ibarra. 1992. Germinación de la uvilla (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes grados de madurez y tiempo de almacenamiento. Acta Hort. 310, 183-187.
- Díaz, L.A. 2007. Germinación y obtención de plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en seis sustratos utilizando dos pesos de la semilla. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Fischer, G. 1995. Effect of root zone temperature and tropical altitude on the growth, development and fruit quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). Tesis de doctorado. Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlín.
- Fischer, G. 2000. Crecimiento y desarrollo. pp. 9-26. En: Flórez, V.J., G. Fischer y A.D. Sora (eds.). Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Fischer, G. 2005. El problema del rajado del fruto de uchuva y su posible control. pp. 55-82. En: Fischer, G., D. Miranda, W. Piedrahita y J. Romero (eds.). Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia. Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Fischer, G.; G. Ebert y P. Lüdders. 2007. Production, seeds and carbohydrate contents of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting Colombian altitudes. J. Appl. Bot. Food Qual. 81(1), 29-35.
- Fischer, G.; D. Miranda; W. Piedrahita y J. Romero. 2005. Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia.



- Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Fischer, G.; F. Torres C. y P. Lüdders. 1998. Efecto de la altitud sobre los componentes de la producción en uchuva (*Physalis peruviana* L.). Ciencia y Agricultura 4, 156-170
- Friedrich, G. y M. Fischer. 2000. Physiologische Grundlagen des Obstbaues. Verlag Ulmer, Stuttgart. pp. 76-84.
- Gordillo, O.; G. Fischer y R. Guerrero. 2004. Efecto del riego y de la fertilización sobre la incidencia del rajado en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Silvania (Cundinamarca). Agron. Colomb. 22(1), 53-62.
- Grange, R. 1993. Crecimiento del fruto. pp. 449-462. En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Fisiología y bioquímica vegetal. McGraw-Hill Interamericana, Bogotá.
- Icontec. 1999. Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Instituto Colombiano de Normas Técnicas, Bogotá.
- Imanishi, S. e I. Hiura. 1975. Relationship between fruit weight and seed content in the tomato. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 44(11), 33-40.
- Legge, A.P. 1974. Notes on the history, cultivation and uses of *Physalis peruviana* L. J. Royal Hort. Soc. 99(7), 310-314.
- Ligarreto, G.A., M. Lobo y A. Correa. 2005. Recursos genéticos del género *Physalis* en Colombia. pp. 9-27. En: Fischer G., D. Miranda, W. Piedrahita y J. Romero (eds.). Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. en Colombia. Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Ludford, P.M. 1995. Postharvest hormone changes in vegetables and fruit. pp. 715-750. En: Davies, J.P. (ed.). Plant hormones. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, London.
- Matilla, A.J. 2008. Desarrollo y germinación de las semillas. pp. 537-558. En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Fundamentos de la fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana de España, Madrid.
- Mazorra, M.F., A.P. Quintana, D. Miranda, G. Fischer y B. Cháves. 2003. Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca). Agron. Colomb. 21(3), 175-189.
- Monselise, S.P. 1986. Handbook of fruit set and development. CRC Press, Boca Ratón, Florida.
- Öpik, H. y S. Rolfe. 2005. The physiology of flowering plants. 4th edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Perea D., M.; N.C. Rodríguez; G. Fischer; M. Velásquez e Y. Micán G. 2010. Uchuva. pp. 466-490. En: Perea D., M.; L.P. Matallana R. y A. Tirado P. (eds.). Biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Rodríguez, N. y M. Bueno. 2006. Estudio de la diversidad citogenética de *Physalis peruviana* L. (Solanaceae). Acta Biol. Colomb. 11(2), 75-85.
- Ryugo, K. 1993. Fruticultura – Ciencia y arte. AGT Editor, México, D.F. pp. 22-30.
- Scienza, A.; R. Miravalle; C. Visai y M. Fregoni. 1978. Relationships between seed number, gibberellin and abscisic acid levels and ripening in Cabernet Sauvignon grape berries. Vitis 17, 361-368.
- Stenvers, N. y O.L. Staden. 1976. Growth, ripening and storage of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill.). III: Influence of vegetative plant parts and effects of fruit competition and seed number on growth and ripening of tomato fruits. Gartenbauwiss. 41(6), 253-256.
- Valencia, M.L. 1985. Anatomía del fruto de la uchuva. Acta Biol. Colomb. 1(2), 63-89.
- Varga, A. y J. Bruinsma. 1986. Tomato. pp. 461-481. En: Monselise, S.P. (ed.). Handbook of fruit set and development. CRC Press, Boca Ratón, FL.
- Villamizar, F.; A. Ramírez y M. Meneses. 1993. Estudio de caracterización física, morfológica y fisiológica poscosecha de la uchuva *Physalis peruviana*. Agro-Desarrollo 4(1-2), 305-320.
- Westwood, M.N. 1993. Temperate zone pomology: physiology and culture. Wilshire, Portland, OR.