

# Análisis de ruta de tomate Cherry en poscosecha

## Path analysis of Cherry tomato during post-harvest

Fábio Moreira Sobreira<sup>1,5</sup>, Fabrício Moreira Sobreira<sup>2</sup>, Carlos Felipe Barrera Sánchez<sup>1</sup>,  
Diogo Gonçalves Neder<sup>3</sup> y Frederico de Pina Matta<sup>4</sup>

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar las principales variables asociadas a la resistencia poscosecha del tomate Cherry (tomate tipo cereza (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*), y con base en ello, orientar la selección de materiales para programas de mejoramiento. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones y 10 frutos por parcela. Para el análisis de los datos se adoptó un diagrama causal ilustrativo, considerando la resistencia poscosecha como variable básica, y las siguientes variables explicativas: peso medio de los frutos, diámetro de la cicatriz del pedúnculo, grosor del mesocarpio, contenido de sólidos solubles y pH. Se realizaron análisis de varianza, correlaciones genotípicas y multicolinealidad; y desdoblamiento de las correlaciones genotípicas por medio de análisis de ruta (portugués: “análise de trilha”). Considerando separadamente los caracteres estudiados, el grosor del mesocarpio y el peso medio de los frutos son los que contribuyen en una mayor medida a explicar las variaciones en la resistencia poscosecha del tomate Cherry. Es posible obtener ganancias en resistencia poscosecha por medio de selección indirecta vía grosor del mesocarpio. Esta ganancia será mayor si entre los frutos de mayor grosor del mesocarpio se seleccionan los que presentan menor peso.

**Palabras clave:** mejoramiento, selección indirecta, análisis de correlación, *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*.

### ABSTRACT

The current study was aimed at analyzing key variables involved in post-harvest resistance of Cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) that are useful for guiding the selection of new materials in breeding programs. A completely randomized block design with three replications and 10 fruits per plot was applied. The data were analyzed by means of a causal diagram considering post-harvest resistance as the basic variable, and the following explanatory variables: fruit mean weight, peduncle scar diameter, mesocarp thickness, soluble solids content and pH. Further analyses were: Anova, genotypic correlations, diagnosis of multicollinearity, and the display of genotypic correlations through path analysis (portuguese: “análise de triha”). Mesocarp thickness and fruit mean weight are the characters that explained Cherry tomato post-harvest resistance variations to a greater extent. Gains in this feature could be obtained through indirect selection of mesocarp thickness. Such improvement could be optimized by further selecting lighter fruits out of those having a thicker mesocarp.

**Key words:** improvement, indirect selection, correlation analysis, *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*.

## Introducción

El tomate es una de las más importantes hortalizas cultivadas en el mundo. Este hecho se deriva de los diversos tipos de frutos que la especie presenta y de las variadas formas de consumo que ofrece (Gusmão *et al.*, 2000; Marim *et al.*, 2005). Se destaca actualmente el tomate Cherry (tomate tipo cereza) (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*), caracterizado por pequeños frutos con diferentes tamaños, colores y sabores, que explican su creciente uso en restaurantes,

bares y en la fabricación de diversos platos como aperitivo (Machado *et al.*, 2003).

Para que los frutos de tomate Cherry expresen la máxima calidad organoléptica, estos deben ser colectados maduros para ser comercializados (Wills y Ku, 2002). Sin embargo, la cosecha en una etapa más avanzada de maduración reduce de forma significativa la vida poscosecha de los

Fecha de recepción: 27 de marzo de 2009. Aceptado para publicación: 6 de noviembre de 2009

<sup>1</sup> Departamento de Biología General, Universidad Federal de Viçosa, Viçosa, MG (Brasil).

<sup>2</sup> Departamento de Agricultura, Universidad Federal de Lavras, Lavras, MG (Brasil).

<sup>3</sup> Departamento de Biología, Universidad Federal de Lavras, Lavras, MG (Brasil).

<sup>4</sup> Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES (Brasil).

<sup>5</sup> Autor de correspondencia. fabiomsobreira@yahoo.com.br

frutos, convirtiéndose en un obstáculo para una mayor comercialización de este tipo de tomate (Jha y Matsuoka, 2005). Varios autores utilizan el análisis de ruta (portugués: “análise de trilha”) centrado en la producción del cultivo (Coimbra *et al.*, 2004; Marchezan *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2005). Sin embargo, la utilización de la metodología en otras variables básicas de igual importancia, como la resistencia en poscosecha, ha sido desestimada.

El conocimiento de la correlación entre caracteres puede ser relevante cuando el objetivo es la selección simultánea de caracteres, o cuando un carácter de interés presenta baja heredabilidad, siendo de difícil identificación y respuesta para obtener ganancia genética. Al seleccionar un carácter de alta heredabilidad, de fácil cuantificación e identificación, y que presente alta correlación con el carácter deseado, el mejorador podrá obtener mayores ganancias en relación con la utilización de selección directa (Falconer y Mackay, 1996).

La cuantificación y la interpretación de la magnitud de una correlación puede ocasionar errores en la estrategia de selección, pues alta correlación entre los caracteres puede ser resultado del efecto sobre estos, de un tercero o de un grupo de caracteres (Cruz y Regazzi, 1994). Por medio del análisis de ruta desarrollado por Wright (1921) y detallado por Li (1975) es posible ampliar los coeficientes de correlación en efectos directos e indirectos sobre una variable básica, cuyas estimativas son obtenidas por medio de ecuaciones de regresión considerando la normalización de las variables. Además de comprender las relaciones de causa-efecto entre las variables, el desarrollo de la correlación depende del conjunto de variables estudiadas, normalmente establecidas por el conocimiento previo del mejorista, de la importancia de estas y de su posible interrelación, definidas en el diagrama de ruta (Cruz y Carneiro, 2003).

Este trabajo tuvo como objetivo analizar las principales variables relacionadas con la resistencia poscosecha en tomate Cherry, y orientar la selección de materiales para programas de mejoramiento.

## Materiales y métodos

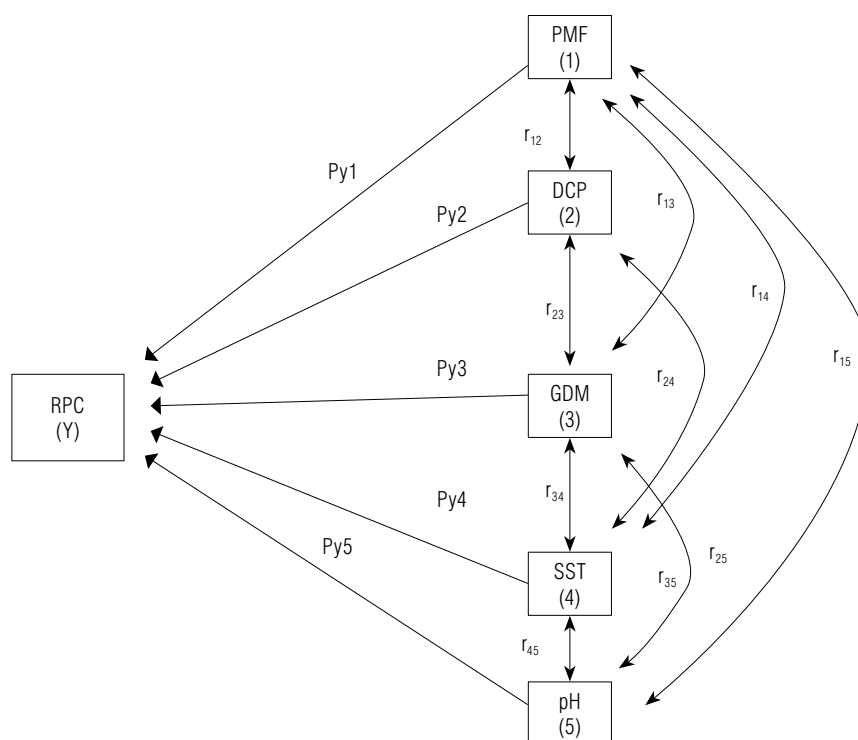
El experimento fue conducido en el Centro de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Espírito Santo (CCA-UFES), en el municipio de Alegre, ES (Brasil), durante el año 2006. Para el desarrollo del trabajo se utilizaron 15 accesiones de tomate Cherry del banco de germoplasma del CCA-UFES, las cuales fueron seleccionadas por su creciente demanda.

El delineamiento experimental empleado fue de bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones y 10 frutos por parcela. Las plantas fueron cultivadas en invernadero conforme recomendaciones de Filgueira (2003), siendo los frutos en estado maduro, recolectados y caracterizados con descriptores morfoagronómicos, propuestos por el International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 1996). La resistencia poscosecha fue evaluada en laboratorio sobre condiciones ambientales, con temperatura media de 26°C y 65% de humedad relativa del aire, siguiendo el método de aplanación no destructiva propuesto por Calbo y Nery (1995). Esta técnica es empleada en todo el mundo para la medición de la firmeza de frutos, relacionada con la presión de turgencia de las células.

Se realizó el análisis de varianza, estimando la correlación genotípica y el coeficiente de determinación genotípico, conforme Mode y Robinson (1959) y Vencovsky y Barriga (1992), respectivamente. Fue cuantificada la multicolinealidad de la matriz  $X'X$  según los criterios indicados por Montgomery y Peck (1981). Para detectar las variables que contribuirán para el surgimiento de la multicolinealidad, se efectuó el análisis de los elementos de auto vectores asociados a los autovalores, descrita por Belsley *et al.* (1980). Se procedió al descarte adecuado de estas, y se realizaron los desdoblamiento de las correlaciones genotípicas en efectos directos e indirectos por medio del análisis de ruta desarrollado por Wright (1921).

Para el análisis de los datos se adoptó un diagrama casual ilustrativo considerando la variable resistencia poscosecha (RPC en  $\text{kgf cm}^{-2}$ ) como variable básica y las variables explicativas primarias: peso medio de los frutos (PMF en g), diámetro de la cicatriz del pedúnculo (DCP en mm), grosor del mesocarpio (GDM en mm), contenido de sólidos solubles totales (SST en °Brix) y pH, conforme lo ilustrado en la Fig 1. En esta se observa el interrelacionamiento de las variables analizadas, donde la flecha unidireccional indica el efecto directo (coeficiente de ruta) de cada variable explicativa, en cuanto la flecha bidireccional representa la interdependencia de dos variables explicativas, cuya magnitud es cuantificada por la correlación genotípica.

Los resultados del análisis de ruta fueron interpretados de acuerdo con Vencovsky y Barriga (1992), considerando que los coeficientes de correlación y efectos directos elevados indican que estas variables independientes explican parte de la alteración de la variable básica, y coeficientes de correlación positivos, o negativos, pero con efecto directo de señal diferente o insignificante, indican que variables con mayores efectos indirectos deben ser consideradas simul-



**FIGURA 1.** Diagrama casual ilustrativo que demuestra los efectos directos e indirectos de las variables explicativas: (1) peso medio de los frutos, (2) diámetro de la cicatriz del pedúnculo, (3) grosor del diámetro del mesocarpio, (4) contenido de sólidos solubles totales y (5) pH sobre la variable básica: (Y) resistencia poscosecha de los frutos.

$P_{yi}$ : efecto directo de cada una de las cinco variables explicativas sobre la variable básica.

$r_{ij}$ : coeficiente de correlación genotípica entre las variables explicativas.

táneamente para explicar la alteración de la variable básica. Los análisis estadísticos fueron realizados de acuerdo con Cruz *et al.* (2004), siendo procesados en el programa GENES (Cruz, 2001).

## Resultados y discusión

Por medio del análisis de varianza se verificó la existencia de diferencias significativas al 1% de probabilidad por el test F en todas las variables (Tab. 1), evidenciando variación entre los genotipos. Se obtuvieron estimativas

de correlación genotípica significativas entre todas las variables. El diagnóstico de multicolinealidad de la matriz de correlación genotípica indicó  $NC < 100$ , caracterizado como multicolinealidad baja, no siendo problema para el análisis de ruta.

Los efectos de las variables explicativas sobre la variable básica son presentados en la Tab. 2. El coeficiente de determinación del modelo de análisis de ruta ( $R^2$ ) superior a la unidad demuestran que las variaciones de la variable básica son totalmente explicadas por el esquema casual.

**TABLA 1.** Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios del análisis de varianza de las variables: peso medio de los frutos (PMF), diámetro de la cicatriz del pedúnculo (DCP), grosor del mesocarpio (GDM), contenido de sólidos solubles totales (SST), pH y resistencia poscosecha (RPC).

FV	GL	Cuadrados medios					
		PMF	DCP	GDM	SST	pH	RPC
Bloques	2	9,77	0,130	0,330	0,040	0,003	0,005
Genotipo	14	293,28 **	6,000**	4,230**	4,620**	0,070**	0,022 **
Residuo	28	9,42	0,400	0,180	0,500	0,030	0,007
Media		14,96	3,63	3,36	3,31	4,30	0,56
cv (%)		20,52	17,42	12,78	21,30	3,78	15,50

\*\*Significativo al 1% de probabilidad por el test F.

**TABLA 2.** Estimativas de los efectos directos e indirectos de las variables explicativas: peso medio de los frutos (PMF), diámetro de la cicatriz del pedúnculo (DCP), grosor del mesocarpio (GDM), contenido de sólidos solubles totales (SST) y pH sobre la variable básica: resistencia poscosecha (RPC).

Variable	Efecto	Estimativa	Variable	Efecto	Estimativa
<b>PMF</b>	Directo sobre RPC	-0,660	<b>SST</b>	Directo sobre RPC	0,336
	Indirecto vía DCP	-0,117		Indirecto vía PMF	0,254
	Indirecto vía GDM	1,410		Indirecto vía DCP	0,043
	Indirecto vía SST	-0,129		Indirecto vía GDM	-0,586
	Indirecto vía pH	-0,006		Indirecto vía pH	0,139
	Total	0,495		Total	0,187
<b>DCP</b>	Directo sobre RPC	-0,161	<b>pH</b>	Directo sobre RPC	0,343
	Indirecto vía PMF	-0,482		Indirecto vía PMF	0,012
	Indirecto vía GDM	0,981		Indirecto vía DCP	0,001
	Indirecto vía SST	-0,090		Indirecto vía GDM	0,244
	Indirecto vía pH	-0,003		Indirecto vía SST	0,136
	Total	0,243		Total	0,738
<b>GDM</b>	Directo sobre RPC	1,549	<b>GDM</b>	Indirecto vía SST	-0,127
	Indirecto vía PMF	-0,601		Indirecto vía pH	0,054
	Indirecto vía DCP	-0,102		Total	0,772
<b>Coefficiente de determinación (<math>R^2</math>) 1,14597</b>					

Para la variable PMF, con coeficiente de correlación positivo de 0,495 y efecto directo negativo (-0,660) sobre la RPC, se observa que la correlación genética es causada principalmente por los efectos indirectos, no existiendo relación de causa-efecto. En este caso, caracteres casuales indirectos y significativos deben ser considerados simultáneamente en el proceso de selección, como es sugerido por Cruz y Regazzi (1997). Entre los efectos indirectos, se destaca el elevado efecto positivo de la variable GDM sobre la variable básica (1,410), lo cual evidencia que a pesar de que la variable explicativa se presenta positivamente correlacionada con la variable básica, la selección por medio de la variable PMF solamente será eficiente al aumentar la RPC, si son considerados simultáneamente los efectos indirectos vía GDM. De esta forma, la selección indirecta usando la obtención de ganancias en RPC vía PMF deberá ser realizada en frutos de menor peso y, dentro de estos, los que presenten mayor grosor.

La variable DCP presenta baja correlación positiva (0,243) y efecto directo negativo de reducida magnitud (-0,161) sobre la variable básica. No se recomienda para selección indirecta la utilización de variables que presentan bajos valores de correlación y efecto directo sobre la variable básica, siendo descartada la utilización de la variable DCP.

En relación con la variable GDM, se observa correlación positiva de elevada magnitud (0,772), asociada a un alto efecto directo positivo sobre la variable básica (1,549), in-

dicando relación causa-efecto. Según Severino *et al.* (2002), es importante, para fines de mejoramiento, identificar las características de alta correlación con la variable básica, aquellas de mayor efecto directo en sentido favorable a la selección, de modo que la respuesta correlacionada por medio de la selección indirecta sea eficiente. De esta forma, la variable GDM se destaca como la principal variable para ser considerada cuando se practica la selección indirecta para RPC. Los efectos indirectos negativos de otras variables sobre la variable básica causan una reducción de la magnitud de la correlación. Entre estos efectos, se destaca el efecto indirecto de la variable PMF sobre la variable básica (-0,601).

La presencia de efectos indirectos negativos muestra la dificultad en seleccionar solamente con base en el comportamiento de la variable principal. Vencovsky y Barriga (1992) relatan que, aparentemente, no existe un método adecuado para maximizar la respuesta a la selección considerando apenas los componentes principales de la variable principal. En este caso, los autores sostienen que es necesario aplicar una selección restricta, pensando en eliminar los efectos indirectos indeseables para aprovechar el efecto directo existente.

Así, la selección para una única característica sobre la variable GDM será menos eficiente en promover el mejoramiento para la variable básica RPC que la selección restricta, pues la restricción permitirá la selección de los frutos de mayor

grosor, y dentro de estos la selección de los que presentan menor PMF, eliminando la influencia del efecto indirecto indeseable sobre la variable básica y, por consiguiente, proporcionando mayor incremento de la RPC.

Considerando la variable SST, se observó correlación baja (0,187) y reducido efecto directo positivo (0,336) sobre la RPC. Según los conceptos expuestos arriba, esta variable debe ser descartada para selección indirecta.

La variable pH presenta correlación elevada de 0,738 y efecto directo positivo sobre la variable básica (0,343), lo cual demuestra baja relación de causa-efecto. La selección vía pH también puede permitir la obtención de ganancia en la variable básica, a través de los efectos indirectos de las variables, GDM y SST, correspondiendo a 0,244 y 0,136, respectivamente. Sin embargo, las ganancias en RPC serán reducidas debido a los bajos efectos directos e indirectos sobre la variable básica, no siendo indicada la utilización de esta variable para la selección indirecta.

En la revisión de la literatura no fue encontrado ningún trabajo con análisis de ruta aplicado a poscosecha en tomate Cherry, lo que resalta la importancia de esta investigación. La mayoría de los trabajos han relacionado el análisis de ruta a caracteres productivos en diversos cultivos (Hidayatullah *et al.*, 2008; Lopes *et al.*, 2007; Marchezan *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2005; Coimbra *et al.*, 2004). El presente estudio demuestra que así como los componentes de rendimiento, otras variables básicas deben ser más utilizadas, vista la relevancia y utilidad que poseen en la selección indirecta de materiales, conforme es elucidado por Falconer y Mackay (1996).

## Conclusiones

El grosor del mesocarpio y el peso medio de los frutos son los caracteres que aisladamente explican más las variaciones en la resistencia poscosecha de tomate Cherry.

Ganancias en resistencia poscosecha pueden ser obtenidas por medio de selección indirecta vía grosor del mesocarpio. Esta ganancia será mayor si dentro de los frutos de mayor grosor del mesocarpio son seleccionados los que presentan menor peso.

## Literatura citada

Belsley, D.A., E. Kuh y R.E. Welch. 1980. Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity. John Wiley & Sons, New York, NY.

Calbo, A.G. y A.A. Nery. 1995. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. Hortic. Bras. 13(1), 14-18.

Coimbra, J.L. M., A.F. Guidolin, M.L. de Almeida, L. Sangoi, M. Ender y A. Meroto Júnior. 2004. Análise de trilha dos componentes do rendimento de grãos em genótipos de canola. Ciência Rural 34(5), 1421-1428.

Cruz, C.D. 2001. Programa genes: versão windows: aplicativo computacional em genética e estatística. UFV, Viçosa, Brasil.

Cruz, C.D. y P.C.S. Carneiro. 2003. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Vol. 2. UFV, Viçosa, Brasil.

Cruz, C.D. y A.J. Regazzi. 1994. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. UFV, Viçosa, Brasil.

Cruz, C.D. y A.J. Regazzi. 1997. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2a ed. UFV, Viçosa, Brasil.

Cruz, C.D., A.J. Regazzi y P.C.S. Carneiro. 2004. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Vol. 1. 3a ed. UFV, Viçosa, Brasil.

Falconer, D.S. y T.F.C. Mackay. 1996. Introduction to quantitative genetics. 4a ed. Longman, Essex, UK.

Filgueira, F.A.R. 2003. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2a ed. UFV, Viçosa, Brasil.

Gusmão, S.A.L. de, J.G. Pádua, M.T.A. de Gusmão y L.T. Braz. 2000. Efeito da densidade de plantio e forma de tutoramento na produção de tomateiro tipo "cereja" em Jaboticabal-SP. Hortic. Bras. 18, 572-573.

Hidayatullah, H., A. Shakeel, G. Abdul y M. Tariq. 2008. Path coefficient analysis of yield component in tomato (*Lycopersicon esculentum*). Pak. J. Bot. 40(2), 627-635.

IPGRI. 1996. Descriptors for tomato (*Lycopersicon* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Roma.

Jha, S.N. y T. Matsuoka. 2005. Determination of post-harvest storage life of tomato fruits. J. Food Sci. Tech. Mysore 42(6), 526-528.

Li, C.C. 1975. Path analysis: a primer. 3a ed. Boxwood Press, Pacific Grove, CA.

Lopes, S.J., A. Dal'Colúcio, L. Storck, H.P. Damo, B. Brun y V.J. dos Santos. 2007. Relações de causas e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. Ciência Rural 37(6), 1536-1542.

Machado, J.O., L.T. Braz y G.V.G. Grilli. 2003. Desempenho de produção de cultivares de tomateiro tipo Cereja em diferentes espaçamentos (CD). Hortic. Bras. 21(2), Supl. 2, 356-356.

Marchezan, E., T.N. Martin, F.M. dos Santos y E.R. Camargo. 2005. Análise de coeficiente de trilha para os componentes de produção em arroz. Ciência Rural 35(5), 1027-1033.

Marim, B.G., D.J.H. Silva, M.A. Guimarães y G. Belfort. 2005. Sistemas de tutoramento e condução do tomateiro visando produção de frutos para consumo in natura. Hortic. Bras. 23(4), 951-955.

Mode, J.C. y H.F. Robinson. 1959. Pleiotropism and the genetic variance and covariance. Biometrics 15, 518-537.

Montgomery, D.C. y E.A. Peck. 1981. Introduction to linear regression analysis. 2a ed. John Wiley & Sons, New York, NY.

Severino, L.S., N.S. Sakiyama, A.A. Pereira, G.V.M. Miranda, L. Zambolim y U.V. Barros. 2002. Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. "Catimor"). Acta Scientiarum 24(5), 1467-1471.

- Silva, S.A., F.I.F. Carvalho, J.L. Nedel, P.J. Cruz, J.A.G. Silva, V.R. Caetano, I. Hartwig y C.S. Souza. 2005. Análise de trilha para os componentes de rendimento de grãos em trigo. *Bragantia* 64(2), 191-196.
- Vencovsky, R. y P. Barriga. 1992. Genética biométrica no fitomelhoramento. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, Brasil.
- Wills, R.B.H. y V.V.V. Ku. 2002. Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and post harvest life of ripe tomatoes. *Postharv. Biol. Technol.* 26(1), 85-90.
- Wright, S. 1921. Correlation and causation. *J. Agric. Res.* 20, 557-585.