

Comportamiento agronómico y calidad de poblaciones locales de zanahoria en el sur del Uruguay

García de Souza Margarita¹, Rocha Bruno¹, Gallo Alicia¹, Galván Guillermo A.², Borges Alejandra³, Zaccari Fernanda⁴

¹Departamento Producción Vegetal. Grupo Disciplinario Sistemas de Producción. Centro Regional Sur. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Camino Folle km 35,500 s/n, Progreso 90300, Canelones. Correo electrónico: margacecigarcia@gmail.com

²Departamento Producción Vegetal. Grupo Disciplinario Mejoramiento Genético. Centro Regional Sur. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

³Departamento Biometría Estadística y Cómputo. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

⁴Departamento Producción Vegetal. Grupo Disciplinario Poscosecha. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

Recibido: 28/12/10 Aceptado: 3/1/12

Resumen

La zanahoria (*Daucus carota* L.) es el cuarto rubro hortícola del país. La introducción de cultivares comerciales importados que poseen mejor calidad comercial que las poblaciones locales (PL) ha provocado la pérdida de la diversidad en los materiales genéticos locales. Sin embargo, poblaciones locales continúan bajo cultivo y en el interés de productores. La zanahoria del país o *criolla* (semilla de origen local) se utiliza para siembras de verano, por su precocidad y adaptación a temperaturas altas. En este trabajo se estudió el comportamiento de poblaciones locales y poblaciones mejoradas, en diferentes fechas de siembra y diferentes sitios en la zona sur del Uruguay. Los trabajos se realizaron durante 2007, 2008 y 2009. Se incluyeron los cultivares «Kuroda» y «Brasilia» como controles. En el Análisis de Componentes Principales, los rendimientos comerciales y totales y los indicadores de calidad por color y contenido de carotenos fueron las variables que más diferenciaron el comportamiento de las poblaciones y de los sitios. Los efectos año (clima) y fecha de siembra explicaron las mayores diferencias entre las poblaciones en los sitios. Para siembras de marzo (final del verano) existieron diferencias significativas de los rendimientos totales y comerciales en la interacción poblaciones por año y sitios por año, pero no interacción sitio por población. La PL Rodríguez y la selección mejorada CRS se destacaron por sus rendimientos en los tres años. Los experimentos sembrados en noviembre (comienzo del verano) no mostraron diferencias en el rendimiento entre poblaciones, pero sí entre sitios y entre años, como consecuencia de la intensa sequía del verano 2008-09.

Palabras clave: *Daucus carota*, interacción genotipo por ambiente, poblaciones locales, épocas de siembra, rendimiento

Summary

Agronomic Performance and Quality of Local Carrot Population in South Uruguay

Carrot (*Daucus carota* L.) is the fourth vegetable crop in Uruguay. Introduction of imported commercial cultivars with improved root quality caused losses in genetic diversity in local genetic material (PL). However, local landraces are maintained under cultivation and in the interest of growers. The *zanahoria del país o criolla* (landraces known as 'carrot of the country') are used for summer sowings because of their earliness and adaptation to high temperatures. This research studied productive behaviour of collected landraces and improved selections in experiments carried out in different sowing dates during summer, and different locations in South Uruguay. Experiments were done during 2007, 2008 and 2009. Cultivars 'Kuroda' and 'Brasilia' were included as controls. After performing Principal Component Analysis, marketable yield, total yield, and root color traits

were the variables better explaining the differences between landraces and/or cultivars and locations. Year and sowing date effects were responsible for the largest variations among experiments. For experiments sown in March (ending summer), marketable and total yields not significantly differ between landraces and/or cultivars in the interaction locations for years and populations for years, but the interaction landrace location was not significant. PL Rodríguez and the improved CRS population yielded high during the three years. For experiments sown in November (early summer), marketable and total yields did not significantly differ between landraces and/or cultivars, but did differ between locations and years because of a severe drought in the summer 2008-09.

Key words: *Daucus carota*, genotype environment interaction, landraces, sowing dates, yield

Introducción

El cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) se encuentra ampliamente difundido en la zona sur del Uruguay, principalmente en el departamento de Canelones. En los últimos años se ha verificado un incremento de la producción en la zona norte, en el departamento de Salto (DIEA, 2010). La zanahoria es el cuarto rubro hortícola del país en términos de importancia económica detrás de la papa, el tomate y la cebolla (DIEA, 2010), y el segundo en superficie sembrada en la horticultura a campo en la región Sur (DIEA, 2010). En esta región, la zanahoria es cultivada mayoritariamente por pequeños productores familiares, constituyéndose en muchos casos en un rubro tradicional para estas familias que lo han desarrollado a lo largo de varias generaciones. Una de las prácticas habituales ha sido la producción de semillas para su uso en el predio, dando origen a las *Poblaciones Locales* (PL) de zanahoria, comúnmente llamadas «criollas» o «zanahorias del país».

En otoño se produce una menor oferta de zanahoria que en el resto del año, lo que se corresponde con las siembras de verano y las dificultades productivas en esa estación. Esa situación provoca el aumento de los precios y del volumen de las importaciones en ese momento. Los mayores volúmenes de zanahoria se importan en el período febrero-julio, coincidentemente con el período de cosecha y comercialización de las zanahorias anuales (Barboza *et al.*, 2002). Esto indica que la producción nacional de zanahorias anuales no es suficiente para satisfacer la demanda interna durante estos meses.

Los problemas diagnosticados en el cultivo de zanahoria en el Uruguay, se centran en los bajos rendimientos y mala calidad a la cosecha, comparadas con la calidad de las zanahorias importadas (Guidobono, 2001). El mal estado del recurso suelo de las zonas productoras del sur del Uruguay influye en la obtención de los bajos rendimientos, afectando la emergencia del cultivo, la población efectiva de

plantas y el crecimiento y desarrollo posterior (García de Souza y Reyes, 2005, 2001; García de Souza, 1994). El deterioro físico-químico de los suelos, la mala sistematización de los cuadros de plantación, el monocultivo de zanahoria, y la heterogeneidad del producto a la cosecha, ubican al cultivo de zanahoria en una situación de baja competitividad a nivel regional. Antecedentes de trabajos de investigación señalan respuestas significativas con mayores rendimientos comerciales en suelos con mejores propiedades físico-químicas (García de Souza, 1994). Suelos con mejores características como son los Vertisoles, constituyen un recurso favorable para aumentar el potencial productivo de la zanahoria. Por otra parte, en ensayos realizados con agregado de materiales orgánicos al suelo (estiércol de aves con cáscara de arroz, abonos verdes) o con incorporación de praderas de alfalfa, la zanahoria manifestó incrementos significativos de rendimiento y calidad de raíz en tamaño y forma (García de Souza y Reyes, 2005, 2001; Malán y Reyes, 1997; Barrera y Sganga, 1996; García de Souza, 1994).

Los diferentes atributos de calidad de la raíz difieren significativamente entre los cultivares comerciales y entre las PL. Estas características también están afectadas por el ambiente: tecnologías del manejo del cultivo, estado del suelo, momento de cosecha y maduración, y las condiciones de poscosecha (García de Souza, 1994). Rachetti *et al.* (2005) y Rachetti (2006) señalan que las PL colectadas en el sur del Uruguay presentan variabilidad en el rendimiento y en los atributos que determinan la calidad externa de la raíz, y que en general presentan el eje central (xilema) de la raíz con color más pálido y con diámetros mayores que los cultivares testigos.

Existen respuestas diferenciadas de las poblaciones locales y de los cultivares de zanahoria a las variaciones ambientales, y éstas dificultan la recomendación de uno o más genotipos, para una amplitud de ambientes. Normal-

mente, la recomendación es realizada en base a las medias de sus productividades en varias localidades, sin tener en consideración las situaciones específicas inherentes a cada región (Oliveira *et al.*, 2005; Cruz y Castoldi, 1991). Uno de los factores que contribuye a la obtención de rendimientos competitivos en el cultivo de zanahoria es el uso correcto del cultivar de acuerdo a la época de siembra (Oliveira *et al.*, 2005; Duda y Reghin, 2000).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento productivo y la calidad de poblaciones locales de zanahoria y de selecciones mejoradas (producto de los avances en el mejoramiento genético) en diferentes ambientes: sitios (tipos de suelo y manejo del cultivo) y fechas de siembra (noviembre y marzo) en la zona sur del Uruguay.

Materiales y métodos

Descripción de los experimentos y del material vegetal

Durante tres años (2007, 2008 y 2009), se realizaron diferentes experimentos en dos épocas de siembra: marzo y noviembre. En cada fecha se instalaron experimentos en diferentes sitios del departamento de Canelones y San José (Cuadro 1). Los sitios fueron el Centro Regional Sur de la

Facultad de Agronomía (CRS Progreso) y predios de productores en Costas de Pando (CP, ruta 11 km 118, Canelones), en San Antonio (SA, ruta 33 km 50, Canelones), en Rincón de la Bolsa (RB Ruta 1 vieja, km 32, San José) y en Rincón de Pando (RP, Camino Rincón de Pando, Canelones). Para la comparación de medias por fecha de siembra se utilizaron los sitios comunes en todos los experimentos.

El diseño experimental utilizado en cada sitio fue de bloques completos al azar, con 3 ó 4 repeticiones, con parcelas de 1,4 m de ancho y 6 m de largo. La siembra se hizo en forma manual, con una densidad objetivo de 70 plantas por m². La cantidad de semilla a sembrar se ajustó por el porcentaje de germinación y el peso de semilla, a fin de evitar la práctica de raleo. En el Cuadro 1 se presentan las PL, selecciones mejoradas y cultivares comerciales (testigos) que fueron utilizados en los distintos sitios y años, con las fechas de siembra y cosecha de cada ensayo. Para la comparación de medias de las poblaciones por fecha de siembra se utilizaron las PL (marzo: Becarúa, González y Rodríguez; noviembre: Becarúa, González, Guarisco, Rodríguez y Vega), selecciones mejoradas CRS y cultivares comerciales (testigos: Kuroda en marzo y Brasilia en noviembre) que fueron comunes en todos los sitios y en las

Cuadro 1. Cultivares en las fechas de siembra y en los sitios en los años 2007-2009.

Fecha de	Años	Cultivares	Sitios	Fecha de	Fecha de	Ciclo en
Marzo	2007	Becarúa, CRS*, González, cv. 'Kuroda', Rodríguez, Brasilia	CRS Progreso	14/mar	07/sep	177
			Costas de Pando	15/mar	01/ago	139
			Rincón Pando	15/mar	31/ago	165
			Rincón de la	16/mar	17/ago	150
			San Antonio	15/mar	07/sep	172
	2008	Becarúa, CRS*, González, cv. 'Kuroda', Rodríguez, CRS30*, Guarisco, Vega	CRS Progreso	12/mar	03/sep	175
			Costas de Pando	13/mar	12/sep	183
			Rincón de la	13/mar	24/sep	196
			San Antonio	12/mar	03/sep	176
	2009	Becarúa, CRS*, González, cv. 'Kuroda', Rodríguez, CRS30**, Guarisco, Pérez, Vega	CRS Progreso	18/mar	13/ago	148
			Costas de Pando	11/mar	05/ago	147
			San Antonio	13/mar	10/ago	150
Noviembre	2007	Becarúa, cv. 'Brasilia', CRS*, González, Guarisco, Rodríguez, Vega, cv. 'Kuroda'	San Antonio	26/nov	14/abr	139
			CRS Progreso	20/nov	31/mar	131
			Costas de Pando	10/dic	16/abr	127
			Rincón de la	05/dic	23/abr	139
			Rincón de Pando	20/nov	31/mar	131
	2008	Becarúa, cv. 'Brasilia', CRS*, González, Guarisco, Rodríguez, Vega, Pérez	San Antonio	05/dic	13/mar	98
			CRS Progreso	05/dic	18/mar	103
			Costas de Pando	15/dic	20/mar	95

* CRS: cultivar selección masal de PL original productor Medina, Canelones, desde año 2003.

**CRS30: cultivar selección mejorada CRS por autofecundación.

fechas de marzo y noviembre. Las selecciones mejoradas CRS incluidas en las evaluaciones fueron variando de acuerdo al avance en los procesos de selección y mejoramiento. Las PL fueron reiteradas en todas las evaluaciones. Estas PL fueron también evaluadas por Rachetti *et al.* (2005), excepto la población Vega y la selección mejorada del CRS.

El tipo de suelo, su manejo y la fertilización, momento y calidad del riego, fueron variables de acuerdo a los sitios y el manejo realizado habitualmente por el productor en cada caso. Por tanto, se contempla dentro de la variabilidad atribuida a este factor (sitio o localidad). El control de malezas se hizo químicamente con Linuron y/o Metribuzina. En general no se tuvieron problemas sanitarios significativos durante los cultivos, con lo cual las aplicaciones sanitarias fueron muy puntuales para el control de pulguilla de la alfalfa (*Sminthurus viridis*).

Descripción de los sitios

En el Cuadro 2 se presentan las características de los suelos de los sitios donde se instalaron los experimentos. Los sitios de Canelones pertenecen a la Unidad Tala-Rodríguez, en la que predominan Brunosoles y Vertisoles, el sitio Rincón de la Bolsa del departamento de San José corresponde al grupo de suelos Brunosoles de la Unidad Angostura en una topografía de planicie. Los Brunosoles utilizados en el CRS (Progreso, Canelones) y en Costas de Pando (Canelones) fueron suelos de ladera media y baja respec-

tivamente. El suelo en Rincón de Pando fue un Brunosol de ladera media, con evidencias de degradación física y tendencia a la formación de costra superficial. Los suelos en San Antonio fueron Vertisoles rúpticos, con topografía de ladera alta, con síntomas de degradación física y erosión severa.

Evaluaciones

Rendimiento y calidad comercial. En cada parcela se evaluó el número y peso (kg) de las zanahorias a la cosecha, clasificadas según categorías: Comercial, Descartes y Total (suma de comercial y descartes). En la categoría comercial se incluyeron raíces con tamaño mayor a 15 cm de largo y mayor a 15 mm de calibre y sin defectos de calidad graves (bifurcaciones, hombros verdes o púrpuras, rajaduras, pudriciones) (Barboza *et al.*, 2002). En la categoría descartes se incluyeron las raíces que no reunieron las características de calidad de la categoría comercial.

La fracción del rendimiento comercial, fue subdividida por categorías de tamaños comerciales según su calibre (Díaz *et al.*, 2009): C1 (50-35 mm), C2 (35-25 mm) y C3 (25-15 mm) y considerando el largo para cada categoría en una diferencia no mayor a 50 mm. Las categorías se evaluaron en número, peso, rendimiento ($Mg\ ha^{-1}$) y porcentaje del total comercial. Se evaluaron los componentes o causas del descarte en número y peso de raíces, y porcentaje del total de descarte: grandes (por encima de 50 mm de

Cuadro 2. Análisis químico y granulométrico del suelo (0 - 20 cm) en cada localidad de ensayo.

Localidad	pH H ₂ O	pH KCl	MO %	P ppm	K *	Ca*	Mg *	Ar %	Lim %	Arc %	Clase textural	Grupo suelos
CRS Progreso	6,2	5,5	3,7	>60	1,29	14,6	3,4	24	44	32	Franco arcilloso	Brunosol
Costas de Pando Canelones	5,0	4,4	3,0	>60	0,78	7,4	2,3	42	31	27	Franco - franco limoso	Brunosol
San Antonio (2008)	7,4	6,5	2,6	32	0,89	30,2	3,9	23	32	45	Arcilloso-franco arc.	Vertisol
San Antonio (2009)	6,6	5,5	1,9	38	0,70	20,8	6,4	sd	sd	sd	Arcilloso-Franco arc	Vertisol
Rincón de la Bolsa. San José	5,6	4,5	1,2	>60	0,60	2,8	0,7	63	22	15	Franco arenoso	Brunosol
Rincón de Pando Canelones	6,2	5,1	2,0	49	0,58	10,8	4,3	37	36	27	Franco	Brunosol

*meq/100g.
sd: sin dato.

calibre), chicas (menores a 15 mm de calibre), bifurcadas, rajadas, deformes, hombros púrpuras, blancas, rojas, podridas, otros.

Color y contenido de β -caroteno. Las variables de calidad relacionadas al color externo e interno de las raíces se evaluaron en fresco en el momento de cosecha determinando el color externo (piel) y color interno (xilema y floema). El color fue medido por colorimetría, mediante el sistema CIE-L*a*b* utilizando un colorímetro (Minolta CR-10, Japón), D65, 10°, 8 mm apertura. Se cuantificaron las variables L* (Luminosidad, 0=negro a 100=blanco), a* (-a=verde, a=rojo) y b* (-b=amarillo, b=azul). Se calculó la saturación del color (Croma) y el tono (ángulo Hue) con las siguientes ecuaciones: $Croma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ y $\text{ángulo hue} = \text{arco tangente}(b^*/a^*)$. A su vez, se midió como variable de calidad de las zanahorias el contenido de β -carotenos. La extracción y cuantificación de β -carotenos totales fueron realizadas en el Laboratorio de Calidad de Alimentos y Calidad de Productos de la Facultad de Agronomía de acuerdo a Szpylka y DeVries (2005) con modificaciones. Los datos se expresaron en mg de β -carotenos /100 g de peso fresco.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis multivariado con toda la información obtenida de los ensayos de fechas de siembra marzo y noviembre en los seis sitios (Cuadro 1) para los tres años de evaluación y con todas las poblaciones (PL, seleccio-

nes mejoradas y cultivares comerciales), mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP). Primeramente el ACP se realizó con todas las variables de rendimiento en $Mg\ ha^{-1}$. En segundo lugar, se realizó con variables asociadas a la calidad (proporción de categorías comerciales y variables asociadas al color de xilema, floema y piel y contenido de carotenos). Las unidades fueron clasificadas en año, fecha de siembra y población.

Posteriormente se realizaron análisis univariados para las fechas de siembra de las variables: peso de zanahorias cosechadas por hectárea: rendimiento total, comercial y descartes; porcentaje de categorías comerciales por tamaño (C1, C2 y C3). Para estos análisis se trabajó con modelos mixtos y se estimaron los componentes de varianza por el método de máxima verosimilitud restringida (REML) para año, sitios y poblaciones y todas las interacciones, separados por fecha de siembra. Las comparaciones de medias se realizaron mediante el test de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para los modelos mixtos se utilizó el paquete estadístico SAS, versión 9.1.3. (SAS Institute, Cary, NC, 2005).

Resultados y discusión

Análisis de componentes principales

En la Figura 1 se presenta el agrupamiento por componentes principales (CP1 y CP2) que explican más del 71% de la variabilidad observada entre los casos: año, fecha,

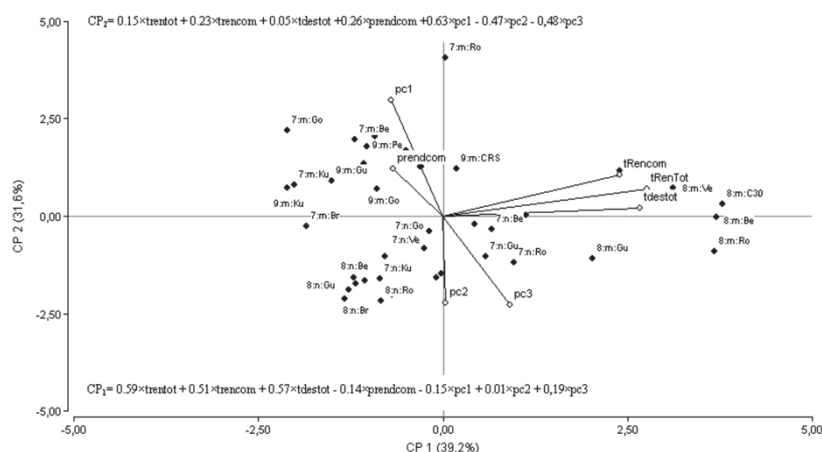


Figura 1. Análisis Componentes Principales por rendimientos.

Los casos se identifican mediante puntos negros por el año de ensayo (7: 2007; 8:2008; 9:2009), la fecha de siembra (m: marzo; n: noviembre), la población (Ro: Rodríguez, Be: Becaría; CRS; Go: González; Gu: Guarisco; Pe: Pérez; Ku: Kuroda; Ve: Vega; Br: Brasilia). Las variables se identifican mediante vectores que terminan en puntos grises: *rencom*: rendimiento comercial; *tot*: rendimiento total; *tdestot*: descartes totales; *prendcom*: porcentaje de rendimiento comercial; *pc1*, *pc2* y *pc3*: porcentaje rendimiento comercial por categoría.

población y sitio. Las variables de rendimiento más asociadas al componente 1 fueron rendimiento total, comercial y descarte, diferenciando fundamentalmente a las observaciones por año y fecha de siembra. Las fechas de marzo 2008 se agruparon con los mayores rendimientos, separándose de las fechas marzo 2007 y noviembre 2008. Así, los efectos año (condiciones climáticas) y fecha de siembra, afectaron la estación de crecimiento, y por tanto explicaron las mayores variaciones entre el comportamiento de las poblaciones en todos los experimentos. No aparecieron agrupamientos que respondan a poblaciones o sitios que se destaquen y/o asocien a determinadas variables

La selección mejorada CRS 30 y las PL Becaría y González aparecen con los mejores rendimientos en marzo 2008. Los porcentajes de categorías comerciales fueron las variables que explicaron en mayor medida la variación con respecto al eje 2, destacándose las observaciones de marzo 2007 por mayores porcentajes en la categoría comercial 1 y en las fechas de noviembre 2007 y 2008 los mayores porcentajes de las categorías comerciales 2 y 3. En la figura se presentan las ecuaciones con los autovectores de cada eje y su contribución a la variabilidad.

Oliveira *et al.* (2005) señalan que la diversidad de clima existente en las diferentes épocas y localidades puede influir en la adaptabilidad, estabilidad y consecuentemente en el desarrollo y productividad de los genotipos de zanahoria utilizados en los experimentos, en virtud de que estas características están directamente correlacionadas con el ge-

notipo y el ambiente del cultivo. Ellos condujeron experimentos en el estado de San Pablo, Brasil, durante los meses de octubre y noviembre, enero y marzo, evaluando 9 cultivares comerciales de polinización abierta con dos densidades de siembra: espaciamento a línea simple y doble. Solo tres de ellos presentaron comportamiento potencialmente favorable para el cultivo en todas las épocas y densidades.

En la Figura 2 se presenta el análisis de componentes principales a partir de variables de calidad. Se presentan los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2) que explican el 63% de la variabilidad entre los casos definidos por población, año, fecha de siembra y sitio. Los parámetros de color: tono, saturación y luminosidad del color (Hue, L^* , y Chrome), y β -carotenos aparecieron aportando a la variabilidad de los casos estudiados junto a las proporciones de rendimiento comercial por categoría 1, 2 y 3. En la figura se presentan las ecuaciones con los autovectores de cada eje y su contribución a la variabilidad.

La variable de color luminosidad (L^*) de la zanahoria, estuvo asociada a la fecha de siembra de marzo 2007. En este ciclo de cultivo la lluvia determinó mayor disponibilidad de agua obteniéndose probablemente un mayor contenido de agua que provocara el mayor brillo en el color en las raíces cosechadas. Estos resultados coinciden con lo obtenido por Howard *et al.* (1996) quienes obtuvieron menor brillo en zanahorias con bajo contenido de agua y alto contenido de fibra.

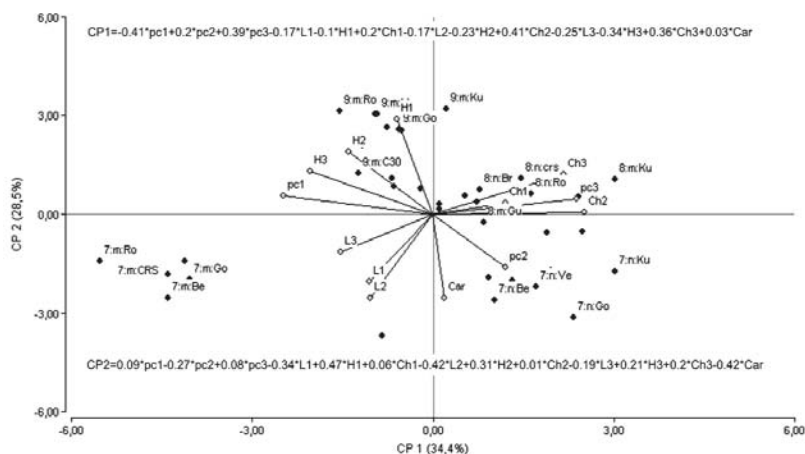


Figura 2. Análisis de Componentes Principales por componentes de rendimiento y calidad.

Los casos se identifican mediante puntos negros por el año de ensayo (7: 2007; 8: 2008; 9: 2009), la fecha de siembra (m: marzo; n: noviembre), la población (Ro: Rodríguez; Be: Becaría; CRS: Go: González; Gu: Guarisco; Pe: Pérez; Ku: Kuroda; Ve: Vega; Br: Brasilia). Las variables se identifican mediante vectores que terminan en puntos grises: pc1, pc2 y pc3: porcentaje rendimiento comercial por categoría; car: mg^2 β -carotenos/100 g; saturación del color de piel (Ch1), floema (Ch2) y xilema (Ch3); luminosidad del color de piel (L1), floema (L2) y xilema (L3); tono del color de piel (H1), floema (H2) y xilema (H3).

A su vez la variable de saturación del color (Ch1, Ch2, Ch3) estuvo asociada a la fecha de siembra de noviembre 2008. El ciclo de cultivo de verano tuvo menor cantidad de agua (lluvia) disponible para el cultivo, determinando probablemente menor tamaño de células, mayor contenido de materia seca en las zanahorias, generando mayor concentración de pigmentos e intensidad del color (Banga, 1954).

El contenido de β -carotenos estuvo asociado a las fechas de siembra de noviembre, cuyo ciclo de cultivo se desarrolla durante el verano, observándose el efecto contrario con la siembra de marzo (ciclo de cultivo otoño-invierno). En zanahorias anaranjadas el color está determinado por la cantidad y distribución en el floema y xilema de carotenoides, siendo los principales carotenos β -carotenos y α -carotenos (Rubatzky *et al.*, 1999). La biosíntesis de los carotenoides es óptima en temperaturas entre 18 a 24 °C (Banga *et al.*, 1955; Banga y De Bruyn, 1968), condiciones que se dan en el ciclo de crecimiento de las raíces durante el verano. Se destacaron en esta comparación las PL González, Becaría y Vega con los más altos valores de contenido en β -carotenos.

Asimismo, el contenido de β -carotenos de las zanahorias explica el tono de color (°hue) anaranjado (Nicolle *et al.*, 2004). El valor 45 °hue indica el tono anaranjado, siendo amarillo el valor 90 °hue y verde 180 °hue (Voss, 1992). En este sentido, un mayor valor de ángulo hue evidencia zanahorias menos anaranjadas con menor contenido de β -carotenos. Esto es coincidente con lo observado en la asociación de las variables °hue (H1, H2, H3) y el contenido de β -carotenos de las zanahorias estudiadas.

Para profundizar en los efectos de los factores (año, sitio y población) en las variables de rendimiento y calidad comercial, se realizó una comparación de medias para las fechas de siembra (marzo y noviembre) en los años.

Análisis de rendimientos de poblaciones en siembras de marzo

Se encontraron diferencias significativas en el rendimiento total y comercial entre las poblaciones, los sitios y los diferentes años. La interacción sitio por población no fue significativa. Las interacciones sitio por año y año por población fueron muy significativas. Por tanto las poblaciones y los sitios se comportan diferente en los años. Las interacciones triples no fueron significativas. Debido a las interacciones mencionadas, los resultados de rendimientos se presentan por sitios y años (Cuadro 3) y por poblaciones y años (Cuadro 4).

El rendimiento total fue más alto en marzo 2008 en el sitio CRS Progreso. En cuanto a los rendimientos comerciales se obtuvieron los mayores valores en 2008 en los dos sitios y en 2007 en Costas de Pando. Por otro lado los menores rendimientos comerciales obtenidos correspondieron al año 2009 en los dos sitios, junto con el sitio CRS Progreso en el 2007. De acuerdo a este análisis el comportamiento de las poblaciones fue diferente entre años, dependiendo de los sitios.

Los registros de precipitaciones (mm acumulados) de los años evaluados fueron similares, pero la dispersión de las lluvias caídas fue diferente, afectando las etapas críticas del cultivo de zanahoria en forma diferente según el sitio. En el año 2007, cayeron 195 mm en la primera semana de

Cuadro 3. Rendimiento total y comercial ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y categorías comerciales (%) de los sitios en los años, para siembras de marzo.

Año	Sitio	Rendimiento total promedio ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Rendimiento comercial promedio ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Categoría comercial 1 (Porcentaje)	Categoría comercial 2 (Porcentaje)	Categoría comercial 3 (Porcentaje)
2008	CRS (Progreso, Canelones)	48,3 a	20,9 a	0,09 c	0,24 b	0,56 a
2008	Costas de Pando, Canelones	35,4 b	17,6 ab	0,43 b	0,27 b	0,17 b
2009	Costas de Pando, Canelones	26,2 bc	15,0 bcd	0,54 ab	0,34 b	0,13 bc
2007	Costas de Pando, Canelones	24,8 bcd	17,7 abc	0,73 a	0,26 b	0,02 c
2007	CRS (Progreso, Canelones)	20,6 cd	11,0 cd	0,33 b	0,58 a	0,13 bc
2009	CRS (Progreso, Canelones)	18,3 d	9,6 d	0,13 c	0,44 ab	0,48 a

Medias seguidas por misma letra minúscula en la columna, no difieren entre sí por el test de Tukey ($P < 0.05$).

instalado el cultivo afectando la emergencia del cultivo, provocando encostramiento, compactación de la cama de siembra y escurrimiento superficial de suelo y semillas. Esta situación fue crítica en el sitio CRS Progreso, donde se registraron menores valores de rendimiento comercial. Durante el otoño 2009, las lluvias fueron escasas en los primeros diez días del cultivo, afectando la emergencia por baja humedad del suelo, en los dos sitios evaluados, con un menor rendimiento comercial obtenido. El año 2008 se caracterizó por un régimen de lluvias más homogéneo para el período marzo-agosto, mejor distribuidas en el tiempo, favoreciendo una mejor respuesta de los cultivos en su rendimiento comercial, evidenciada en un mejor comportamiento de los dos sitios (CRS Progreso y Costas de Pando).

La variación de rendimiento comercial en la respuesta a los sitios según las condiciones del año, responde a la diferente capacidad de recuperación de los sistemas de producción. En Costas de Pando (Brunosol franco franco limoso), el cultivo de zanahoria presentó menores variaciones entre años (2007 y 2008) que el sistema CRS Progreso (Brunosol franco arcilloso), caracterizado por el buen manejo de suelos que realiza el productor, sistemas de rotaciones de cultivos hortícolas con abonos verdes, incorporación de estiércoles, además de intervenir en momentos oportunos de contenido de humedad para armar los canchales. En el CRS Progreso (2007, 2009), la preparación de tierra no se realizó con el suficiente tiempo de antelación como para lograr una buena cama de siembra, muchas veces interviniendo con herramientas para afinar la tierra, y en condiciones de humedad no óptimas para lograr este efecto correctamente. Las condiciones de sequía del año 2009 también afectaron el sitio Costas de Pando, con rendimientos comerciales similares obtenidos en el CRS Progreso.

Las respuestas diferenciadas del cultivo de zanahoria a los diferentes años y sitios de siembra encontradas en este trabajo son reportadas también por Oliveira *et al.* (2005), como efecto interacción cultivares por ambiente.

El sitio en este artículo comprende el tipo de suelo, su textura, su estado actual y el manejo que realiza el productor para su preparación. La calidad del suelo influye en el éxito del cultivo de zanahoria, como fue reportado en los trabajos anteriores realizados con diferentes manejos de suelo y rendimiento de zanahoria (García de Souza y Reyes 2005, 2001; Duda y Reghin, 2000; Malán y Reyes, 1997; Barrera y Sganga, 1996; García de Souza, 1994; Cruz y Castoldi, 1991). Asociado a la calidad del suelo, la dinámica del agua en el perfil del suelo y el manejo del agua,

tanto por excesos como por déficit, determinan variaciones en la respuesta del cultivo. El rendimiento potencial de un cultivo depende de la preparación anticipada del suelo, de su sistematización para sacar posibles excesos de agua y de la posibilidad de riego complementario en momentos de déficit, particularmente en el momento de la emergencia.

Considerando la calidad comercial medida como porcentaje de categorías por tamaño de raíz (pc1, pc2 y pc3), para las siembras de marzo (Cuadro 3), se verificó para todas las categorías efecto del sitio y del año; y en el caso de las categorías 2 y 3, la interacción sitio por año fue significativa. El efecto población no marcó tendencia en las categorías comerciales, por lo que no se encontraron diferencias significativas de categorías comerciales entre las poblaciones. Considerando los sitios la categoría pc1 en el sitio Costas de Pando fue superior en promedio que en el sitio CRS, Progreso.

En el Cuadro 4 se presentan los rendimientos totales y comerciales de todas las poblaciones en los años, promediados los sitios. La PL Rodríguez y la selección mejorada CRS mostraron mejor comportamiento en los rendimientos, en los tres años. Las PL Becaría y González mostraron diferencias en los rendimientos entre los años. El cultivar comercial Kuroda utilizado como testigo tuvo rendimientos inferiores a las poblaciones, variando entre los años.

Análisis de los rendimientos de poblaciones en siembras de noviembre

En las siembras de noviembre se encontró un efecto año muy significativo en los rendimientos totales y comerciales, en los ciclos de siembra evaluados (ciclos noviembre 2007 a marzo 2008 y noviembre 2008 a marzo 2009). Las interacciones año por sitio y año por población fueron significativas (Cuadro 5). Las interacciones sitio por población no mostraron diferencias significativas. Las siembras de noviembre del 2007 resultaron con mejores rendimientos que las del 2008, variando el comportamiento de los sitios de acuerdo a los años, pero siempre Costas de Pando estuvo por encima en los resultados en rendimiento que los otros dos sitios. Las interacciones triples no fueron significativas.

La diferencia entre los dos años se pudo explicar por la cantidad de lluvia acumulada hasta aproximadamente la mitad de ciclo de la zanahoria (ciclo noviembre 2007 con 122 mm acumulados y el ciclo noviembre 2008 con 41 mm de precipitaciones acumuladas). La sequía arrastrada de la segunda mitad del año 2008, provocó menores rendimien-

Cuadro 4. Rendimiento total y comercial de poblaciones y cultivares en los años (Mg.ha⁻¹) en siembras de marzo, promedio de todos los sitios.

Año	Poblaciones y Cultivares	Rendimiento total promedio (Mg.ha ⁻¹)	Rendimiento comercial promedio (Mg.ha ⁻¹)
2007	Becaría	21,5 cd	11,6 bcde
	Rodríguez	33,4 abc	22,0 ab
	CRS	22,9 cd	13,7 abcde
	González	17,5 cd	10,0 bcde
	Kuroda	18,9 cd	14,7 abcde
2008	Becaría	50,0 a	21,1 abc
	Rodríguez	49,1 a	23,0 ab
	CRS	45,9 a	19,2 abcd
	González	43,8 ab	25,1 a
	Kuroda	20,6 cd	7,9 de
2009	Becaría	23,3 cd	10,5 cde
	Rodríguez	28,1 bc	19,0 abcd
	CRS	29,7 bc	15,5 abcde
	González	18,6 cd	9,55 de
	Kuroda	11,7 d	6,7 e

Medias seguidas por misma letra en la columna, no difieren entre sí por el test de Tukey (P<0,05).

Cuadro 5. Rendimiento total y comercial (Mg.ha⁻¹) de los sitios en los años, para siembras de noviembre.

Año	Sitio	Rendimiento total promedio (Mg.ha ⁻¹)	Rendimiento comercial promedio (Mg.ha ⁻¹)	Categoría comercial 3 (%)
2007	Costas de Pando, Canelones	34,6 a	24,8 a	0,28 ab
2007	San Antonio, Canelones	33,1 ab	26,1 a	0,23 b
2007	CRS (Progreso, Canelones)	27,5 bc	14,8 b	0,41 a
2008	Costas de Pando, Canelones	21,3 c	12,0 b	0,33 ab
2008	CRS (Progreso, Canelones)	19,1 c	9,6 bc	0,22 ab
2008	San Antonio, Canelones	11,4 d	5,4 c	0,29 ab

Medias seguidas por misma letra minúscula en la columna, no difieren entre sí por el test de Tukey (P<0,05).

Cuadro 6. Rendimiento total y comercial de los cultivares en los años (Mg.ha⁻¹) en siembras de noviembre, promedio de todos los sitios.

Año	Poblaciones y Cultivares	Rendimiento total promedio (Mg.ha ⁻¹)	Rendimiento comercial promedio (Mg.ha ⁻¹)
2007	CRS	37,8 a	26,7 a
	Becaría	33,9 ab	23,4 ab
	Rodríguez	33,3 abc	21,4 ab
	Brasilia	32,9 abc	24,4 ab
	Guarisco	30,7 abcd	20,7 ab
	González	27,7 abcde	19,2 abc
	Vega	26,1 bcde	17,6 bcd
2008	CRS	17,6 de	8,7 d
	Becaría	16,8 de	8,3 d
	Rodríguez	18,2 de	9,1 cd
	Brasilia	15,6 e	8,1 d
	Guarisco	13,4 e	8,3 d
	González	19,8 cde	10,1 cd
	Vega	19,6 bcde	10,4 cd

Medias seguidas por misma letra en la columna, no difieren entre sí por el test de Tukey (P<0,05).

tos a pesar de la instalación del riego complementario, en los tres sitios.

En el Cuadro 6 se muestran los rendimientos totales y comerciales de las poblaciones en los años 2007 y 2008. Todas ellas mostraron rendimientos estadísticamente similares en los años, destacándose la PL Vega como la de rendimiento más bajo en el 2007. En el año 2008 todas las poblaciones tuvieron más bajos rendimientos totales y comerciales que el año anterior, respondiendo a las dificultades climáticas sufridas en ese período.

Analizando dentro del rendimiento comercial, en las fechas de siembra de noviembre, no se encontró efecto del sitio en las categorías comerciales, ni efecto año. Pero sí un efecto de las poblaciones, donde la PL Guarisco, presenta mayor pc3 que González, Brasilia y Becaría (44% contra 25, 23 y 21% respectivamente). Para pc1 González (21%) se diferencia significativamente de Guarisco (8%) y Rodríguez (10%). La selección mejorada CRS se encuentra en el medio del ranking. Para pc3 la interacción sitio por año dio significativa, señalando una diferencia marcada entre los sitios CRS Progreso (41%) y San Antonio (23%) en el

año 2007. En esta fecha de noviembre y solamente para las categorías comerciales por tamaño, quedó en evidencia las diferencias genéticas de las distintas poblaciones incluidas en los experimentos.

Conclusiones

Los efectos año (clima) y fecha de siembra explicaron las mayores diferencias entre las poblaciones en los sitios. Los rendimientos comerciales y totales y los indicadores de calidad por color y contenido de carotenos fueron las variables que más diferenciaron el comportamiento de las poblaciones y de los sitios.

Se encontró un efecto muy significativo en la interacción de los años con los sitios y con las poblaciones para las dos fechas de siembra estudiadas (marzo y noviembre). No se encontró efecto de la población, ni del sitio, ni de la interacción sitio por población.

Las selecciones mejoradas CRS junto la PL Rodríguez mostraron buenos comportamientos en rendimiento comercial en los diferentes sitios, según el año. Se destacaron en

esta comparación las PL González, Becaría y Vega con los más altos valores de contenido en β -carotenos. Esto señala un camino para continuar trabajando.

Las diferencias genéticas aparecieron en las fechas de noviembre para el componente de categorías comerciales, donde la PL Guarisco se destacó por la mayor proporción de categoría comercial 3, junto con la PL Rodríguez, diferenciándose de González y Becaría.

Agradecimientos

Queremos agradecer especialmente a los Ayudantes de Investigación Alicia Gallo, Silvana Machado y Gastón Salvo, por la directa colaboración en los ensayos en el CRS y en los sitios, al igual que a la Téc. Agr. Natalia Curbelo y demás funcionarios de campo del CRS. Nuestro especial agradecimiento a las familias de los productores Sres. Vega, Rodríguez, González, Soca y Machín, que amablemente colaboraron directamente en la atención de los cultivos y otras tantas familias que participaron y nos dedicaron parte de su tiempo para atender la información solicitada en el relevamiento de la información. A la Dra. Ing. Agr. Mónica Cadenazzi por el apoyo estadístico brindado para el análisis multivariado y la interpretación de los resultados. Esta investigación fue posible gracias al aporte en el co financiamiento del proyecto FPTA 249 (INIA 2007-2010).

Bibliografía

- Banga O. 1954. Selection of carrots for carotene. *Euphytica*, 3(3): 203 - 211.
- Banga O, De Bruyn JW. 1968. Effect of temperature on the balance between protein synthesis and carotenogenesis in the roots of carrot. *Euphytica*, 17(2): 168 - 172.
- Banga O, De Bruyn JW, Smeets L. 1955. Selection of carrots for carotene : II Sub-Normal content at low temperature. *Euphytica*, 4(2): 183 - 189.
- Barboza R, Pacheco P, Pérez A. 2002. Relevamiento de precios mayoristas de frutas y hortalizas frescas: Manual de procedimientos : Manual de referencias técnicas por producto [En línea]. Montevideo : Comisión Administradora del Mercado Modelo. 64p. (Trabajos Técnicos). Consultado noviembre 2011. Disponible en: <http://www.mercadomodelo.net/trabajo/trabajo1.pdf>.
- Barrera R, Sganga F. 1996. Efecto de diferentes manejos de suelo en el rendimiento de un cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) y en las propiedades físicas y químicas del suelo [Tesis de grado]. Montevideo : Facultad de Agronomía. 114p.
- Cruz CD, Castoldi FL. 1991. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. *Revista Ceres (Viçosa)*, 38(219): 422 - 430.
- Díaz S, Gargiulo M, Gemelli F, Pacheco P, Rodríguez O, Sallé D, Pérez A. 2009. Manual de procedimientos y referencias técnicas por producto para la tipificación de la calidad de frutas y hortalizas frescas : La formación de los precios en frutas y hortalizas frescas. Montevideo : Comisión Administradora del Mercado Modelo. 73 p. (Trabajos Técnicos).
- DIEA. 2010. Encuestas Hortícolas 2009 : Zonas Sur y Litoral Norte. Montevideo : MGAP. 30 p. (Serie Encuestas ; 290).
- Duda C, Reghin MY. 2000. Efeito da época de sementeira em cultivares de cenoura. En: 4 Encontro de Iniciação científica. São José dos Campos : Universidade do Vale do Paraíba. pp. 47.
- García de Souza M. 1994. Manejo da adubação orgânica e doses de nitrogênio na cultura da cenoura (*Daucus carota* L.) em solos da zona sul do Uruguai [Tesis de Maestría]. Rio de Janeiro : Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 247p.
- García de Souza M, Reyes C. 2005. Manejo de suelos en horticultura : evaluación de la respuesta de cultivos hortícolas a diferentes incorporaciones de abonos orgánicos y su impacto en el suelo. En: Simposio Impacto de la intensificación agrícola en el recurso suelo. Colonia : SUCS.
- García de Souza M, Reyes C. 2001. Informe de avances Proyecto Prenader : Manejo de suelos en Horticultura, sitio Juanicó. Canelones : Facultad de Agronomía.
- Guidobono N. 2001. Taller de Análisis de problemas y planificación de estrategias y actividades en el rubro Zanahoria. En: Mesa Hortícola Predeg/MGAP. Canelones.
- Howard LR, Braswell DD, Asewlage J. 1996. Chemical composition and color of strained carrots as affected by processing. *Journal of Food Science*, 61(2): 327 - 330.
- Malán R, Reyes C. 1997. Efecto de diferentes manejos de suelo en el rendimiento de un cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) y en las propiedades químicas y físicas del suelo. [Tesis de grado]. Montevideo : Facultad de Agronomía. 119 p.
- Nicolle C, Simon G, Rock E, Amouroux P, Rémésy C. 2004. Genetic Variability Influences Carotenoid, Vitamin, Phenolic, and Mineral Content in White, Yellow, Purple, Orange, and Dark-orange Carrot Cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129: 523 - 529.
- Oliveira CD, Braz LT, Banzatto DA. 2005. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de cenoura. *Horticultura Brasileira*, 23(3): 743 - 748.
- Rachetti, M. 2006. Colecta, caracterización y evaluación agronómica de poblaciones locales de zanahoria (*Daucus carota* L.) cultivadas en el sur del Uruguay. [Tesis de grado]. Montevideo: Facultad de Agronomía. 95 p.
- Rachetti M, González H, Repetto C, Banchoa L, Beracochea A, Traversa A, Cassanello ME, González P, García M, Reyes C, Galván G. 2005. Colecta y evaluación de poblaciones locales de zanahoria (*Daucus carota* L.) cultivadas en el sur de Uruguay (resumen). En: X Congreso Nacional de Horticultura; Montevideo, Uruguay. Montevideo : SUHF.
- Rubatzky VE, Quiros CF, Simon P W. 1999. Carrots and related vegetable Umbelliferae. New York : CABI Publishing. 297 p.
- Szpylka J, DeVries JW. 2005. Determination of Carotene in Supplements and Raw Materials by Reversed-Phase High Pressure Liquid Chromatography: Collaborative Study. *Journal of AOAC International*, 88(5): 1279 - 1291.
- Voss DH. 1992. Relating colorimeter measurement of plant color to the Royal Horticultural Society Color Chart. *HortScience*, 27(12): 1256 - 1260.