

Caracterización por contenido de β -carotenos de ocho cultivares de zanahoria (*Daucus carota* L.) y su relación con el color

Characterization β -carotene content of eight cultivars of carrot (*Daucus carota* L.) and its relation to the color

Nancy Beatriz Ventrera ¹, Lucía Vignoni ¹, María Soledad Alessandro ², Matilde Césari ³, Ricardo Césari ⁴, Viviana Guinle ¹, Adriana Giménez ¹, Olga Tapia ¹

Originales: Recepción: 09/05/2012 - Aceptación: 22/08/2013

RESUMEN

El objetivo fue determinar, durante dos años, el contenido de β -caroteno y su relación con el Índice de Color (IC), de ocho cultivares comerciales del tipo 'Flakkee' cultivadas en el INTA La Consulta. El diseño experimental a campo utilizado fue en bloques al azar con 3 repeticiones. Se evaluó β -caroteno (espectrofotometría a 450 nm) y se calculó el IC, mediante captación de imagen digital con PC y escáner, midiendo L, a y b del Sistema CIELAB. Los datos fueron analizados por ACP (análisis de componentes principales), la visualización de la variabilidad, por cartografiado de datos, análisis de varianza, pruebas de diferencia de medias y correlaciones. Los contenidos de β -carotenos y el IC de los cultivares se mantuvieron constantes durante los dos años estudiados, resultando las cultivares Natasha, Flakesse y Colmar las de mayor valor nutricional en cuanto a aporte de β -carotenos. En el rango de valores menores de 18 mg%g de β -carotenos, se observó una correlación positiva significativa en las cultivares Supreme, Spring y Laval. No se encontró una correlación alta lineal entre el IC y el contenido de β -carotenos. El uso del IC resulta adecuado para predecir, en un intervalo de valores, el contenido de β -carotenos en cultivares de zanahoria.

ABSTRACT

The aim was to determine, eight commercial cultivars such as 'Flakkee' cultivated at INTA (National Institute of Agricultural Technology), Experimental Station La Consulta during two years, according to β -carotene content and its relationship with Color Index (CI). An experimental design with blocks at random with 3 replications was used. β -carotene was evaluated (spectrophotometry at 450 nm) and calculated the CI, by capture of digital image with PC and scanner, measuring L, a and b of CIELAB system. The results were analyzed by principal components analysis (PCA) and visualization of variability by mean of data mapping, analysis of variance, test of mean difference and correlations. The contents of β -carotene and the IC of cultivars remained constant during the two years studied, resulting Natasha, Flakesse and Colmar the ones with the greatest nutritional value in terms of contribution of β -carotene. In the range of values under 18 mg%g of β -carotene, we observed a significant positive correlation in the Supreme, Spring and Laval cultivars. It was found no significant high lineal correlation between the IC and β -carotene content. It is appropriate the use of color index to predict, in a range of values, β -carotene content in carrot cultivars.

- 1 Cátedra de Bromatología. Dpto. de Ciencias Enológicas y Agroalimentarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Alte. Brown 500. Chacras de Coria, Mendoza, Argentina. M5528AHB. nventrera@fca.uncu.edu.ar
- 2 Estación Experimental Agropecuaria La Consulta - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). ex Ruta 40 km 96. C. C. 8. (M5567) La Consulta, Mendoza, Argentina.
- 3 Laboratorio DHARMA. Dpto de Sistemas de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza. Rodríguez 273. Mendoza. M5502AJE.
- 4 Facultad de Artes y Diseño. Centro Universitario. Mendoza, Argentina. M5502JMA.

Palabras clave

Daucus carota L. • calidad • β -caroteno
• índice de color

Keywords

Daucus carota L. • quality • β -carotene
• color index

INTRODUCCIÓN

En Argentina se cultivan anualmente entre 7.000 y 9.800 ha de zanahoria (3), con una producción estimada de alrededor de 231.000 toneladas (4). Si bien existen variaciones intercensales, las provincias con mayor participación en superficie cultivada con esta hortaliza son: Mendoza (32,7%), Buenos Aires (21,4%), Santiago del Estero (16,2%), Santa Fe (7,8%), Córdoba y San Juan (3). Cada zona de cultivo difiere en sus condiciones ambientales, habiéndose adaptado diferentes tipos de cultivares a cada una de ellas. Las provincias de Mendoza y Buenos Aires tienen entre 80 y 90% de su superficie con cultivares de polinización abierta mayormente tipo Flakkee; en consecuencia, este tipo de cultivares es el más difundido en Argentina (1).

La raíz de zanahoria es muy valorada nutricionalmente por su contenido en β -carotenos (precursor de la vitamina A), con un aporte aproximado de 12 mg%g (11) a 20 mg%g (2). El β -caroteno es conocido por sus propiedades antimutagénicas, fotoprotectoras, inmunológicas, antioxidantes y por los efectos benéficos para la vista y la piel (10). En EEUU, la zanahoria es la fuente más importante de provitamina A, aportando 30% del total en la dieta de sus habitantes (4). Los pigmentos carotenoides no se distribuyen uniformemente en las raíces, la síntesis de carotenos está más avanzada en tejidos maduros, por eso la concentración del pigmento decrece longitudinalmente desde la parte superior hacia el ápice (10). El floema (parte más externa) de la zanahoria es más rico en sólidos y azúcares que el xilema (parte central) y acumula potencialmente más carotenos (8). Una zanahoria de buena calidad es aquella que tiene un corazón pequeño y color naranja intenso uniforme en floema y xilema.

El mejoramiento del color naranja oscuro hecho por selección visual está acompañado por incrementos en el contenido total de carotenos en zanahoria, existiendo cultivares nuevas con 120 a 150 ppm de carotenos, mientras que las cultivares originales tienen entre 80 y 100 ppm (12). Por selección se obtuvieron cultivares con niveles hasta 400 ppm de carotenos (14). Esto demuestra que existe una gran variabilidad en la calidad nutracéutica de las diversas cultivares comerciales de zanahoria, variando su contenido de carotenos en raíces desde 6 a más de 54 mg%g (60-540 ppm) (13).

Los métodos de determinación de β -carotenos se basan, mayoritariamente, en la extracción de los pigmentos y su cuantificación por HPLC o espectrofotometría. Son metodologías lentas que requieren equipamientos costosos y personal altamente capacitado, es por ello que resulta de interés establecer si el contenido de los precursores de la Vitamina A guarda una relación lineal con el color, lo que posibilitaría el uso de una PC y escáner para una rápida determinación. Se plantea la siguiente hipótesis: estimar el contenido de β -carotenos de raíces de zanahorias utilizando el Índice de Color.

Objetivo

- Determinar el contenido de β -carotenos y su relación con el color de las cultivares de zanahoria de polinización abierta más utilizadas en Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante dos años fueron implantadas, en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental La Consulta, ocho cultivares comerciales: de polinización abierta, tipo Flakkee: Beatriz INTA, Colmar (Ohlsens Enke), Flakkese (Seminis), Laval (Clause), Natasha (Seminis), Spring (Semillas Emilio), Supreme (Vilmorin) y TimTom (Florensa). Los materiales fueron sembrados a chorrillo a dos caras en parcelas de 2 camas por 5 m de largo en un suelo torrifluente típico franco arenoso profundo. Los riegos se realizaron por surco dos veces por semana hasta la emergencia y luego uno por semana hasta cosecha. El diseño experimental a campo utilizado fue bloques al azar con 3 repeticiones. La muestra para los análisis estuvo conformada por 10 raíces, de tamaño mediano, de cada cultivar para cada repetición. En la determinación de β -carotenos se utilizó el jugo de las raíces, obtenido por juguera centrífuga. Se tomó un volumen de jugo (5 ml) y la extracción se realizó con solventes (éter sulfúrico, alcohol isopropílico) en una proporción de (1:3) y éter etílico en igual volumen a la mezcla anterior y posterior cuantificación en espectrofotómetro a 450 nm (9).

Se calculó el Índice de Color (15), utilizando la técnica de captación de imagen digital con PC + escáner y se midieron los parámetros del sistema color CIE-L*a*b*. Para obtener imágenes de las muestras promediadas en coordenadas L, a y b se configuró el escáner tipo de imagen color 24 bit, resolución 300 ppp para establecer las condiciones para la captación de imágenes. Se capturaron con escáner digital y se emplearon técnicas de procesamiento y promediado de imágenes mediante el software Corel Photo-Paint 12; las imágenes obtenidas se convirtieron al canal CIE-L*a*b*. Las zanahorias se cortaron por el centro en forma longitudinal para visualizar bien el floema y el xilema, se colocaron en el escáner y con la herramienta seleccionar se marcó un área en la zona de floema de 25 mm x 5 mm; fueron procesadas mediante el menú imagen, opción Histograma, para determinar la media aritmética de todos los píxeles para cada canal. Con la herramienta cuentagotas se tomó una muestra del color promediado cuyas coordenadas CIE L* a* b* quedaron reflejadas en la paleta de colores.

Para la aplicación de las técnicas de análisis multivariante fue necesario tabular los datos en diversas tablas de distinta naturaleza (cualitativa y cuantitativa), en función del conocimiento que se deseaba extraer para cada caso (Césari, R. y Césari, M., comunicación personal, 2011). En columna se colocaron dos atributos numéricos medidos (β -caroteno e Índice de Color) y dos atributos cualitativos discretizados en rangos, para lo cual se utilizó método de partición univariada de Fisher, clases óptimas (5). En fila se ubicaron e identificaron las observaciones de cada muestra (cada cultivar) (ocho cultivares comerciales) en un año (2008 y 2009), se agregaron dos variables cualitativas para identificar año y cultivar de las muestras observadas.

Para el análisis de una tabla de datos haciendo uso de métodos multivariados, se siguió la estrategia de realizar un análisis factorial según la naturaleza de los datos. Para la caracterización de los cultivares se utilizan los valores test, que son índices descriptivos construidos siguiendo la metodología de pruebas de hipótesis (6).

1. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para visualizar las correlaciones lineales entre las variables continuas β -carotenos e IC con los datos observados en ambos años. Punto de partida para evaluar la validez y fiabilidad de cada dato, detectar mediciones extrañas o atípicas (outliers).
2. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) proyectando de manera ilustrativa y excluyendo las valoraciones atípicas, para visualizar la asociación entre rangos¹ (relación no lineal) de las variables nominales discretizadas de β -carotenos e IC.
3. Se aplicaron las técnicas de descripción y validación estadística DESCO (excluyendo valoraciones atípicas) para interpretación del ACP e identificación de diferencias significativas entre cultivares.
4. Se aplicó las técnicas de descripción y validación estadística DEMOD (excluyendo valoraciones atípicas) para caracterizar cuantitativa y cualitativamente cultivares.
5. Para la puesta en práctica de la estrategia de análisis multivariante se utilizó el software de libre distribución para uso académico DTM-Minería de Datos y Textos, que trata la estadística exploratoria multidimensional datos complejos, incluyendo datos numéricos y textuales (7) y el módulo de análisis sensorial del software comercial Xlstat (16).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

β -carotenos

En los dos años, los contenidos de β -carotenos en la mayoría de las cultivares superaron el valor medio citado en la bibliografía (12 mg%g) (11) encontrándose diferencias significativas entre ellas. Los datos bibliográficos hacen referencia a zanahorias en general, sin diferenciar por cultivares, tipo de cultivos, zonas, etc.

De las cultivares estudiadas, Supreme presentó el menor contenido de β -carotenos (14,3 y 10,7 mg%g), destacándose Natasha con los contenidos más altos (21,8 y 23 mg%g) para los dos años de estudio.

Relaciones lineales

En los dos años estudiados la correlación lineal entre contenido de β -carotenos e índice de color fue media (0,44) evidenciando una relación no totalmente lineal, siendo una tendencia con alto nivel de significación estadística $\alpha = 0,01$ ($V_{test} 3,14 = 99\%$).

1 Para coeficiente de correlación lineal medio bajo (entre 0,45 y 0,55) se lleva a considerar que las relaciones predominantes entre las mismas pueden ser no totalmente lineales, para lo cual es indicado emplear otra métrica de relación que permita evaluar el conjunto de las "relaciones no lineales" que se observan entre las variables, abandonando las mediciones continuas, discretizándolas y transformándolas en variables ordinales.

En el Biplot (figura 1) del análisis de componentes principales (ACP) se puede visualizar esta correlación, representada por un ángulo cercano a los 75° entre ambos vectores de las variables. Además se puede visualizar que las cultivares más diferenciadas son Supreme caracterizadas por los valores más bajos de β -carotenos y Spring, además caracterizada por los valores más bajos de IC (izquierda de la figura), en contraposición con Natasha y Colmar (derecha de la figura) que presentan los valores más altos de IC y β -carotenos.

En la figura 1 los años están representados juntos, en el centro, donde se encuentran las medias de ambas variables.

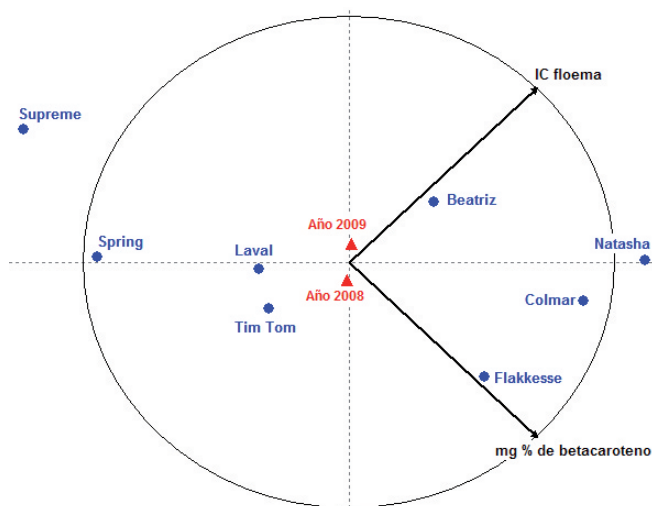


Figura 1. Análisis de Componentes Principales. Centro valores medios de ambas variables representadas por vectores cuyos extremos indican máximo y mínimo. Los puntos representan cultivares y los triángulos centro de grupo de año de estudio.

Figure 1. Principal Component Analysis. Central values of two variables represented by vectors whose ends indicate minimum and maximum. The dots represent cultivars and triangles year center study group.

Validación estadística

A través de los resultados del DESCO sobre los contenidos de β -carotenos, en los dos años, con un nivel de significación del 99%, $\alpha = 0,01$ (Valor de Test de 2,87), la media esperada de β -carotenos de 13,34% (por encima de la media global de 18,26%) caracteriza la cultivar Supreme. En relación con las variables cuantitativas medidas no se aprecian diferencias significativas estadísticamente en las otras cultivares.

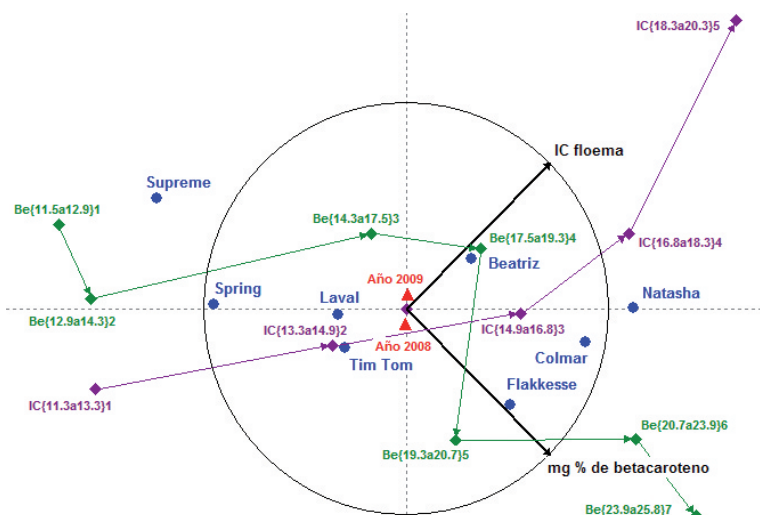
En la tabla 1 (pág. 216) se observan los resultados del DESCO respecto del IC, en los que se evidencia que no hay diferencias significativas entre las cultivares en relación con el índice de color obtenido del sistema CIELAB. Asimismo puede observarse que no existen diferencias significativas estadísticamente entre los años estudiados.

Tabla 1. Resultados DESCO IC, diferencias significativas entre cultivares.**Table 1.** Results DESCO IC, significant differences between cultivars.

Variable Cualitativa Nominal	Valor de Test (mayor de $2 \geq \alpha = 0,05$)	Probabilidad (p value)	Grados de libertad	Fisher
Cultivares	0,86	0,195	36	1,51
Año	0,36	0,716	42	0,13

Relaciones no lineales

En la figura 2 se observa que en los valores más bajos de β -carotenos de 11,5 a 12,9 mg%g (rango 1), no hay relación² con el rango más bajo del índice de color de 11,3 a 13,3; la relación positiva³ se da a partir de β -carotenos de 12,9 hasta 19,3 mg%g (rangos 2, 3 y 4) e IC de 11,2 a 16,8 (rangos 1, 2 y 3). De 17 a 19 mg%g β -carotenos tampoco hay relación con el índice de color. Finalmente se observa una relación inversa⁴ en los últimos rangos de valores más altos de β -carotenos (rangos 6, 7) e IC (rangos 4, 5).

**Figura 2.** Análisis de Componentes Principales. Rombos representan la proyección de rangos.**Figure 2.** Principal Component Analysis. Diamonds represent the ranks' projection.

Validación estadística

El DEMOD arrojó características significativas estadísticamente, en relación con rangos de β -caroteno e IC que permiten describir y diferenciar 4 de los 8 cultivares.

² Son fenómenos independientes ya que la variación de una no influye sobre la otra.

³ Relación lineal positiva es cuando una variable aumenta, la otra también tiende a aumentar en relación.

⁴ Relación lineal negativa o inversa es cuando una variable aumenta, la otra tiende a disminuir.

Los resultados de la tabla 2 revelan que Supreme se caracteriza significativamente (95% de certeza) por valores de β -carotenos entre 11,5 y 12,9 mg%g, el rango más bajo. También con nivel de significación del 95% de certeza, es posible describir el cultivar Beatriz asociado a un IC de 16,8 a 18,3, al cultivar Natasha por los valores altos de β -carotenos de 20,7 a 23,9 mg%g (rango 6), al cultivar Colmar por los más altos valores de β -carotenos de 23,9 a 25,8 mg%g (rango 7). Esto último no revelado por el estudio de los datos cuantitativos, al discretizar se obtiene mayor contraste descubriendo nuevas evidencias ocultas por las relaciones no lineales.

Tabla 2. Resultados DEMOD cultivares, caracterización.

Table 2. DEMOD results cultivars characterization.

Cultivar	Modalidad o Intervalo asociado	Valor de Test (mayor de 2 es $\alpha = 0,05$)	Probabilidad (p value)
Beatriz (13,64%)	IC[16,8 a 18,3]	2,28 (95%)	0,011
Natasha (11,36%)	Be[20,7 a 23,9]	2,21 (95%)	0,013
Colmar (13,64%)	Be[23,9 a 25,8]	2,21 (95%)	0,013
Supreme (11,36%)	Be[11,5 a 12,9]	2,21 (95%)	0,013

Respecto de las asociaciones entre rangos, el DEMOD muestra en la tabla 3, la asociación significativa (95%) entre β -carotenos de rango 4 (17,5 a 19,3 mg%g) e IC de rango también 4 (16,8 a 18,3). Para el rango 3 de β -carotenos (14,3 a 17,5 mg%g) la asociación es entre el rango 3 del IC (14,9 a 16,8). Finalmente el rango 2 de β -carotenos se asocia al rango 1 del IC.

Tabla 3. Resultados DEMOD rango Betacarotenos, asociaciones no lineales.

Table 3. Results DEMOD range beta carotene, nonlinear associations

Grupo o Intervalo de betacaroteno	Intervalo Índice de Color asociado	Valor de Test (mayor de 2 es $\alpha = 0,05$)	Probabilidad (p value)
Be[17,5 a 19,3] (31,82%)	IC[16,8 a 18,3]	2,07 (95%)	0,019
Be[14,3 a 17,5] (15,91%)	IC[14,9 a 16,8]	1,96 (95%)	0,025
Be[12,9 a 14,3] (11,36%)	IC[11,3 a 13,3]	2,16 (95%)	0,015

CONCLUSIONES

Siendo que el contenido de β -carotenos e índice de color no presentan modificaciones significativas entre años; y hay intervalos específicos de IC asociados (de manera significativa estadísticamente) a determinados rangos de β -carotenos, se podría estimar (en un intervalo de valores) los β -carotenos en función del IC, de esta manera se comprueba la hipótesis, lo que permite validar la medición del IC como instrumento de medición indirecta de β -carotenos. Sin embargo, dado que no se observó una alta correlación lineal entre el Índice Color y el porcentual de β -carotenos, no es adecuado el uso del mismo para predecir valores puntuales de contenido de precursores de Vitamina A en cultivares de zanahoria.

Las cultivares comerciales de polinización abierta estudiados poseen contenidos de β -carotenos superiores a los valores citados en la bibliografía (12 mg%g) (6). No obstante es posible caracterizar 3 de los 8 cultivares: Supreme asociado a rango de valores más bajo de β -carotenos, Natasha asociado a los altos y finalmente, Colmar asociado al más alto; de manera de posicionarlas como alimentos de interés nutricional como precursores de Vitamina A. Se podría ofrecer a los consumidores zanahorias diferenciadas como alimentos funcionales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alessandro, M. S.; Gabriel, E. 2011. Panorama varietal del cultivo de zanahoria en Argentina. *Horticultura Argentina*. 30(72): 14-19.
2. Bernice, K.; Merrill, A. 1975. Composition of foods. *Agricultura Handbook N° 8*. Washington, D.C. United States Department of Agricultura. 183 p.
3. Censo Nacional Agropecuario 2002. Disponible en: http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/programas/economia_agraria/index/censo/Informe%20IV%20Parte.pdf
4. FAOSTAT, 2009. Disponible en: <http://faostat.fao.org>
5. Fisher, W. D. 1958. On grouping for maximum homogeneity. *Journal American Statistics Association*, 53: 789-798.
6. Langrand, C.; Pinzón, L. M. 2009. Análisis de datos. Métodos y ejemplos. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garabito, Bogotá, Colombia. 388 p.
7. Lebart, L. 2007. DTM. Data and Text Mining, Software Estadística Exploratoria Multidimensional para datos complejos que incluyen datos numéricos y textuales. Disponible en: <http://ses.telecom-paristech.fr/lebart/>
8. Phan, C. T.; Hsu, H. 1973. Physical and chemical changes occurring in the carrot root during growth. *Canadian Journal of Plant Science*. 53: 629-634.
9. Pinnola, O.; Oberto, S. 1975. Mejoramiento de color del jugo de naranja. *Revista del Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA) Santa Fe, Argentina*. 1: 117-127.
10. Rubatzky, V. E.; Quiros, C. F.; Simon, P. W. 1999. Carrots and related vegetable umbelliferae. *Crop production science in horticultural series*; 10. Nueva York, CABI Publ. 287 p.
11. Senser, F.; Scherz, H. 1999. Tablas de composición de alimentos. El pequeño Souci-Fachmann-Kraut. Zaragoza. Acribia. 442 p.
12. Simon, P. W. 1987. Genetic improvement of carrots for meeting human nutritional needs. In: Quebedeaux, B.; Bliss, F. A. (eds). *Horticulture and Human Health*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. p. 208-214.
13. Simon, P. W.; Wolff, X. Y. 1987. Carotenes in typical and dark orange carrots. *J. Agric. Food. Chem.* 35: 1017-1022.
14. Simon, P. W.; Peterson, C. E.; Gabelman, W. H. 1990. B493 and B9304. Carrots inbreds for use in breeding, genetics and tissue culture. *HortScience*: 25(7): 815.
15. Vignoni, L.; Césari, R.; Forte, M.; Mirábile, M. 2006. Índice color en ajo picado. *Revista Internacional de Información Tecnológica*. 17(6): 63-67.
16. Xlstat versión 2009, licencia para investigación. add-in de análisis estadístico para Microsoft Excel desarrollada por Addinsoft 1996-2012. Disponible en: www.xlstat.com/es/products/xlstat-pro/