



Kale

(Brassica oleracea convar. acephala var. sabellica)

Gabriel Saavedra del Real, Ing. Agrónomo, M.Sc. Ph.D.
INIA – Carillanca

CENTRO DE ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

Especie perteneciente a la familia *Brassicaceae* al igual que las mostazas, rábanos, repollos y otras hortalizas. Las plantas de la especie *Brassica oleracea* son nativas de la región mediterránea de Europa, siendo en cierta forma muy parecidas a una planta de canola por sus hojas. Es una planta bianual como un repollo que no forma cabeza, tiene las hojas erectas de color verde a azul oscuro verdoso características, muy rizadas, con bordes rugosos y ondulados, y peciolo largos. Esta planta alcanza entre los 30 y 40 cm de altura (Figura 1).

Los orígenes del kale pueden ser encontrados en ecotipos y plantas silvestres que crecen en la península Ibérica y en la región del mar Negro (Christensen y otros, 2011). Probablemente, fueron seleccionadas al comienzo de la domesticación de los primeros repollos como una planta de hoja, y como el órgano de consumo eran las hojas, fueron seleccionadas las plantas con hojas más grandes, las cuales serían propagadas para el próximo año. Esto resultó, por lo tanto, en plantas con hojas cada vez más grandes, las cuales fueron favorecidas por la conservación y reproducción por parte de los agricultores. El kale ha sido cultivado por más de 2.000 años en Europa, fue la hortaliza verde más consumida hasta la Edad Media, cuando los repollos se hicieron más populares. Históricamente ha sido de mayor importancia en regiones frías debido a su resistencia a heladas. En la actualidad, es una hortaliza globalmente cultivada en un amplio rango de latitudes, pero principalmente en el norte y centro de Europa, como también en Norteamérica (Neugart y otros, 2012).

La planta de kale es bastante robusta y puede tolerar temperaturas frías bajo punto de congelamiento (Steindal y otros 2015). Las bajas temperaturas activan los procesos de aclimatación a frío de las plantas, lo que implica una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos, que al final estimulan la tolerancia a congelamiento (Levitt, 1980). Por esto, es común observar plantas sin cosechar en campo durante el invierno, en países fríos, para ser utilizadas como hortaliza fresca durante esa temporada del año.

Actualmente, variedades mejoradas genéticamente e híbridos dominan el mercado de esta especie, pero muchos cultivares tradicionales han sido estudiados para identificar su potencial en resistencia a enfermedades, caracteres agronómicos específicos y cualidades sensoriales, o fitoquímicos beneficiosos para la salud humana, tales como glucosinatos, flavonoides, carotenoides, agliconas, kaempferol y quercetina (Schmidt y otros, 2010; Huang y otros, 2007; Kopsell y otros, 2007; Hertog y otros, 1992). Además, su follaje es rico en nutrientes y otros compuestos bioactivos como vitaminas, minerales y compuestos fenólicos (Ayaz y otros, 2006).



Figura 1. Kale verde y púrpura.

ADAPTACIÓN AGROCLIMÁTICA

Distribución nacional y zonas productoras

Esta especie no está muy difundida en el país, actualmente sólo es sembrada con fines de procesamiento en la zona central por una o dos compañías que exportan como jugo o concentrado.

La producción ha estado concentrada en la zona central del país, sin embargo, esta especie por sus características de crecimiento en zonas frías de Europa podría tener un potencial muy alto en la Patagonia chilena como hortaliza fresca en otoño – invierno.

Requerimientos climáticos

El kale es una de las hortalizas de invierno que expuesta a bajas temperaturas y radiación solar es capaz de crecer. Es una de las plantas más versátiles de cultivar, prefiere temperaturas frescas para crecer, inclusive tolera temperaturas de -7°C hasta 27°C , pero el óptimo está entre 15 y 21°C . Esta versatilidad le permite ser cultivado en invierno, con bajas temperaturas y radiación solar en latitudes bajas (áreas sobre el círculo polar ártico) y en verano en latitudes mayores (Decoteau, 2000).

Aunque tolera algo de falta de humedad y temperaturas mayores, estos factores afectan la calidad del producto haciéndolo más amargo y tosco, pero además pueden favorecer la floración de la planta.

La planta prefiere suelos fértiles, con alto contenido de materia orgánica, bien drenado y levemente ácido (pH entre 5,5 y 6,5).

La temperatura requerida para germinación está entre 13 y 24°C, germinando la semilla entre los 5-10 días siguientes de sembrada.

AGRONOMÍA DEL CULTIVO

Ciclo de desarrollo

Este es un cultivo netamente de invierno, es recomendable sembrar entre abril y junio, aunque siembras tempranas tienen mejor comportamiento en rendimiento y calidad de hojas, principalmente debido a que el cultivo experimenta mejor acumulación térmica y radiación solar. La siembra temprana también permite tener un cultivo más maduro durante el invierno, lo que podría significar un producto de menor calidad. La cosecha se inicia a partir de julio, en forma escalonada.

Sistema de plantación

Este cultivo se puede manejar de las dos maneras tradicionales, siembra directa y almácigo trasplante. En siembra directa se usan aproximadamente 4 a 5 kg/ha de semilla en hilera simple distanciando entre hileras 0,7 a 0,75 m. En este sistema, la fecha de siembra debe ser más temprano para favorecer la germinación de la semilla con mejor temperatura de suelo antes que comience el enfriamiento y el posterior desarrollo primario de plantas en su establecimiento.

En caso de almácigo-trasplante, la siembra se puede hacer protegida en bandejas de poliestireno u otro medio, aprovechando las ventajas como adelantar la etapa de producción en campo, ahorrar semilla, obtener plantas uniformes en tamaño y edad fisiológica, y asegurar en terreno definitivo una buena población y distribución de las plantas.

El trasplante debe hacer con plántulas de al menos 10 cm de altura y con grosor de tallo no menor a 4 mm, el cubo de sustrato debe estar bien lleno de raíces y al sacar el cubo no debe desprenderse nada de sustrato o desarmarse.

Población

El kale tiene aproximadamente entre 300 a 350 semillas por gramo, es una semilla no pequeña, esférica como todas las brásicas y muy parecida a la de repollo y col de Bru-

selas. Se recomiendan poblaciones de entre 30.000 a 35.000 plantas por hectárea, con distancias entre hileras de 0,7 a 0,75 m, pero trasplantando aproximadamente 2,5 plantas por metro lineal.

Fertilización

La información sobre fertilización de kale es bastante poca o nula, sin embargo para formarse una idea de las necesidades nutricionales se puede asimilar a los requerimientos de repollo (Cuadro 1). Esta hortaliza es muy cercana al kale y los rendimientos son bastante similares, el nitrógeno y el potasio son los principales nutrientes extraídos, pero se debe tener en cuenta el contenido de azufre, debido a la alta presencia de compuestos órgano-sulfurados en los tejidos de esta familia. Las brásicas son una fuente importante de glucocianolatos, bien conocidos como metabolitos secundarios que contienen azufre, hasta ahora se han identificado 130 moléculas.

Cuadro 1. Extracción de nutrientes en repollo con un rendimiento de 50 t/ha.

Elemento		kg/ha cosechado	Kg/ha desecho
Nitrógeno	N	190 – 210	90 - 120
Fósforo	P	28 – 33	9 - 13
	P ₂ O ₅	65 - 75	20 - 30
Potasio	K	241 – 266	91 - 108
	K ₂ O	290 – 320	110 - 130
Calcio	Ca	60	
Magnesio	Mg	25	
Azufre	S	50 - 60	

Fuente: Maroto y Baixauli, 2017.

Las aplicaciones de fertilizantes recomendadas para la producción de 50 t/ha se presenta en el Cuadro 2. El nitrógeno se recomienda aplicar la mitad antes del trasplante y la segunda mitad con plantas bien establecidas de unos 20 a 25 cm de altura. El resto de los elementos se deben aplicar en su totalidad previo al trasplante, incorporados al suelo.

Cuadro 2. Fertilización recomendada para la producción de 50 t/ha de repollo.

Elemento		kg/ha
Nitrógeno	N	230 – 250
Fósforo	P	28 – 33
	P ₂ O ₅	65 - 75
Potasio	K	241 – 266
	K ₂ O	290 – 320
Boro	B	5
Magnesio	Mg	60 – 134
Azufre	S	34 - 56

Fuente: Maroto y Baixauli, 2017.

Esta información es una referencia, las necesidades de fertilizantes se deben calcular basándose en un análisis y el aporte que entrega el suelo, haciendo la diferencia con el requerimiento o extracción. Sin embargo, al no tener esta herramienta, se sugiere utilizar la recomendación, usando la dosis de acuerdo al tipo de suelo, contenido de materia orgánica y pH del suelo. Por ejemplo, en suelos más ácidos es recomendable usar la dosis mayor de fósforo.

RIEGO

El riego es necesario para un buen desarrollo del cultivo, especialmente en las etapas iniciales de almácigo, donde se debe mantener húmedo el sustrato para tener una buena germinación y crecimiento de la plántula, más aún si se siembra en febrero cuando la temperatura ambiental es bastante elevada.

Al trasplante, se debe tener el suelo con bastante humedad, de manera que el estrés se minimice y mejore el establecimiento de las plántulas en el potrero. Los primeros riegos deben ser pos trasplante durante marzo, la frecuencia dependerá del tipo de suelo y del método de distribución de agua (surco o cinta). El riego se debería realizar hasta el mes de abril, cada vez con menor frecuencia, pero va a depender de la pluviometría. Si no llueve lo suficiente durante el periodo de crecimiento, es recomendable regar durante los siguientes meses.

SANIDAD

Este cultivo es atacado por plagas y enfermedades similares a toda la familia brassicaceae, como repollo, coliflor y brócoli. Para disminuir el daño económico se deben tomar precauciones y realizar acciones de control cultural como rotaciones de cultivos con especies que no pertenezcan a esta familia, eliminar malezas crucíferas como yuyo, rábano y otras que sirven de reservorio para las plagas y enfermedades en el campo, preparación de suelo anticipada y bien realizada, invirtiendo el suelo para exponer al sol micelios, larvas y todos los organismos que potencialmente pueden ser nocivos para el cultivo.

Por ser el kale un cultivo invernal, presenta menos probabilidades de ataques de plagas y enfermedades, pero no significa que sea inmune. Una de las principales plagas de la familia brassicaceae es la mariposa blanca de las crucíferas (*Pieris brassicae* L.), la cual es muy activa en primavera y otoño, por lo tanto, es un peligro para el kale solamente al trasplante y establecimiento, durante el crecimiento con temperaturas más bajas este insecto hiberna, al igual que *Plutella xylostella* L., la cual pasa el invierno oculta en restos de cultivos de brásicas, por lo tanto, se deben eliminar del campo para evitar futuras apariciones de esta especie. Otras plagas comunes son los áfidos como *Myzus persicae* y *Brevicorine brassicae*, los cuales eventualmente podrían aparecer durante la época de cultivo del kale, especialmente en otoño. Estos se pueden controlar con productos químicos específicos para áfidos como: pirimicarb, tiame-toxam o lambda cihalotrin, sin embargo, en la actualidad se recomienda el uso de productos para producción orgánica que tienen muy buena eficiencia en el control de áfidos como los extractos de cítricos y jabones potásicos.

En cuanto a enfermedades, muy pocas afectan el cultivo durante su desarrollo. Sin embargo, se debe considerar a la siembra de almácigos la “caída de plántulas” como una posibilidad de daño. Hay una serie de labores culturales que permiten un menor riesgo de infección, como usar bandejas limpias y desinfectadas para almácigos, sembrar semilla sana y desinfectada, usar sustratos estériles o sanitizados, no regar en exceso, ni aplicar exceso de nitrógeno como fertilizante, permitir una adecuada circulación de aire entre las plántulas y eliminar plantas muertas o enfermas.

Índice de cosecha

El indicador que las hojas están listas para ser cosechadas es el tamaño y suavidad de estas, que no alcancen a ponerse fibrosas y duras. La cosecha se realiza inicialmente por hojas desde abajo, o sea las hojas más viejas, pero una vez que la planta alcanza su altura definitiva, se debe cosechar completa para que no pierda calidad culinaria.

PRODUCTIVIDAD

Rendimiento

En el país no hay mucha información sobre resultados de rendimiento de este cultivo, pero en publicaciones internacionales se puede tener una visión del potencial de rendimiento. Cosecha de hojas para consumo humano ha mostrado rendimientos informados de 29 a 36 t/ha por Balčau y otros (2013) con una población de 31.200 plantas por hectárea, Korus (2010) reportó 34 a 40 t/ha en una población de 40.000 plantas por hectárea, mientras que en EEUU se informan rendimientos que fluctúan entre 15 y 60 t/ha.

En Chile, la temporada 2008/2009 se evaluaron cuatro variedades de kale en el INIA La Platina (RM), con resultados, como se presenta en el Cuadro 3, que variaron desde 13 hasta 27 t/ha en peso fresco en dos cosechas (abril y mayo) en una población de 57.000 plantas por hectárea. Los híbridos F1 tuvieron menor rendimiento que una variedad de polinización abierta común, pero estos resultados pudieron variar con una fecha de siembra más tardía y con cosecha invernal, tal como recomienda en países productores de hoja para consumo fresco.

Cuadro 3. Rendimiento fresco e industrial de kale. INIA La Platina, Región Metropolitana. Temporada 2008/2009.

Variedades	Peso fresco (t/ha)	Materia seca (t/ha)	Materia seca (%)	Sólidos solubles (°Brix)
Darkibor F1	13,34	2,32	17,27	9,1
Winterbor F1	14,28	2,32	16,53	10,0
Redbor F1	15,32	2,46	16,07	8,4
Kale	27,50	4,12	15,00	10,4

Rendimiento industrial

El kale es usado industrialmente para producir jugo, el cual es mezclado con otras hortalizas para su comercialización, por lo tanto, el contenido de sólidos solubles es importante. De acuerdo al Cuadro 3, los azúcares fluctuaron entre 8 y 10ºBrix y el porcentaje de materia seca entre 15 y 17%, valores bastante buenos para la agroindustria.

El rendimiento en materia seca entre 2,3 y 4,1 t/ha está dentro de lo esperado para kale hortícola. Al respecto, Korus (2010) informa rendimientos entre 3,0 y 3,6 t/ha. Sin embargo en Nueva Zelanda al ser usado como forraje con poblaciones alrededor de 90.000 plantas por hectárea obtuvieron rendimiento en materia seca de 6 y 19 t/ha (Wilson y otros, 2006), 12 a 15 t/ha (Brown y otros, 2007) y 7 a 10 t/ha (Adams y otros, 2005). Estos valores indican el potencial productivo agroindustrial de este cultivo, además de que podría ser una buena fuente de verdura fresca en zonas de climas fríos como la patagonia chilena en otoño–invierno.

VARIETADES

En Chile no hay variedades comerciales en la actualidad, los materiales genéticos evaluados han sido traídos por compañías semilleras a modo de prueba. Se encuentran algunas variedades de polinización abierta en el mercado, pero en pequeñas cantidades, como para jardines y huertas caseras.

Sin embargo, de acuerdo a lo evaluado por INIA, se distinguen tres tipos de variedades, clasificadas por el tipo de hoja y color, tal como se presenta en la Figura 2.



a) Crespo Morado



b) Liso Verde



c) Crespo Verde

Figura 2. Clasificación de variedades de kale según tipo de hoja.

El tipo crespo de color morado corresponde en este caso a la variedad híbrida Redbor (Figura 2a) de buen rendimiento en el ensayo antes mencionado, pero también citada por otros autores por su rendimiento (Balčau y otros, 2013; Korus, y otros, 2010).

El tipo liso de color verde presenta algunas corrugaciones en las hojas y corresponde, en este caso, al híbrido Winterbor (Figura 2b). Finalmente, está el tipo crespo de color verde, que en esta figura 2c corresponde al híbrido Darkibor.

Todas estas variedades son usadas internacionalmente para consumo fresco o para la agroindustria de jugos, pero además algunas son utilizadas como plantas forrajeras como recurso fresco invernal (Brown y otros, 2007).

En España y Portugal aún hay ecotipos locales que usan los agricultores para consumo humano, estas presentan un alto grado de diversidad y es posible usar este material en programas de mejoramiento genético. Cartea y otros (2002) encontraron en las poblaciones que evaluaron una amplia diversidad de caracteres, lo cual permitiría seleccionar y combinar algunos ecotipos interesantes para obtener variedades mejoradas, por lo tanto, hay variabilidad genética disponible para hacer mejoramiento genético de esta especie.

VALOR NUTRITIVO

El órgano de consumo del kale es la hoja fresca tierna, la cual puede ser consumida directamente como ensalada fresca, cocinada en guisos o procesada agroindustrialmente convirtiendo la materia prima en jugo concentrado. Es considerado una de las hortalizas más sanas, nutritiva y además desconocida. Es muy rico en vitaminas C, K y A, además de contener altos niveles de fierro y calcio, tiene un nivel muy elevado de antioxidantes. Tiene 50 Kcal y 2g de fibra dietética por 100g de hojas crudas.

Fructosa, glucosa y sacarosa son los principales azúcares solubles que contiene la hoja de kale, pero también contiene ácidos orgánicos como lo son cítrico y málico (Ayaz y otros, 2006). Los niveles de concentración de azúcares solubles en las hojas se ven afectados por el fotoperiodo y temperatura ambiental. Steindal y otros (2015) encontraron que los niveles de azúcares solubles en los tejidos de hoja de kale incrementaron en respuesta a aclimatación de plantas a bajas temperaturas, probablemente como respuesta a la tolerancia a frío e incrementando el dulzor de las hojas comestibles. Por otra parte, temperaturas altas durante el crecimiento de plantas, combinadas con longitud de día de 12 horas redujeron el contenido de glucosa y fructosa en el tejido foliar.

En cuanto a los ácidos grasos, Ayaz y otros (2006) encontraron 18 ácidos grasos diferentes en hojas de kale, siendo los más abundantes el insaturado α -linolenico (18:3) y los saturados ácido palmítico (16:0) y behénico (22:0), coincidiendo con Steindal y otros (2015). Los ácidos linoleico y α -linolenico son esenciales para la dieta humana porque no pueden ser sintetizados por humanos (Innis, 1996; Sinclair, 1990), las hojas de kale contienen estos ácidos en casi 66% del total de ácidos grasos y podrían satisfacer parte de los requerimientos de omega-3 de la dieta humana. La temperatura de crecimiento y fotoperiodo afectan directamente el contenido de ácidos grasos, Steindal y otros (2015) observaron interacción entre largo de día y temperatura.

Los compuestos nitrogenados, dentro de los cuales predominan los aminoácidos, constituyen cerca de un tercio de la materia seca del kale (Lisiewska y otros, 2008).

Los mismos autores encontraron que predominan el ácido glutámico, prolina y ácido aspártico con aproximadamente el 34% de contenido de aminoácidos, coincidiendo con Ayaz y otros (2006). Todos los estudios han mostrado que los aminoácidos azufrados, como cisteína y metionina, son limitantes en las hojas de kale (Ayaz y otros, 2006; Eppendorfer y Bille, 1996). Al comparar el porcentaje de aminoácidos esenciales presentes en las hojas de kale con los estándares de proteína de la Organización Mundial de la Salud (OMS), según Ayaz y otros (2006), solamente lisina presentó un nivel inferior, pero triptófano tuvo 3 veces y valina 1,8 veces superior el nivel indicado por la OMS. Sin embargo, se debe considerar que el contenido de aminoácidos es afectado tanto por la genética del cultivar, como por la fecha de siembra y cosecha (Krezel y otros, 1998), pero también por la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y azufre (Eppendorfer y Bille, 1996). La cocción y/o procesamiento de las hojas de kale también afectan el contenido de aminoácidos presentes en las porciones que se consumen, así las hojas cocinadas contienen 78% del total encontrado en hojas frescas, similar resultado se vio en productos congelados (Lisiewska y otros, 2008).

Los minerales tienen un rol esencial como activadores de reacciones enzimáticas catalizadoras, por ejemplo, potasio es un nutriente esencial que cumple un rol fundamental en la síntesis de aminoácidos y proteínas, o calcio y magnesio con su acción en la fotosíntesis, metabolismo de carbohidratos, ácidos nucleicos y otras funciones en la pared celular. Las hojas de kale son ricas en calcio, elemento que presenta el nivel mayor al compararlo con los otros minerales presentes. Potasio es el otro macronutriente en alta concentración en hojas de kale, mientras que el micronutriente más abundante es hierro, siendo manganeso y zinc los segundos más abundantes. Además, las hojas contuvieron una alta concentración del elemento traza estroncio, que es esencial y su función es similar al calcio en la formación de huesos y prevención de caries dentales (Ayaz y otros, 2006).

Valor nutracéutico

El kale es una planta que además de contener altos niveles de elementos nutricionales es rica en antioxidantes beneficiosos para la salud humana. Estos antioxidantes están compuestos por diferentes vitaminas (C, E, carotenos, tocoferoles, etc.), compuestos fenólicos (flavonoides, antocianinas, etc.) y glucosinolatos, los cuales han sido asociados a la disminución del riesgo de contraer una serie de enfermedades crónicas como arterioesclerosis y cáncer (Gosslau y Chen, 2004; Kris-Etherton y otros, 2002).

Vitaminas

Las vitaminas solubles en agua como la C y liposolubles como la E y los carotenoides son la primera línea de defensa contra el estrés oxidativo, protegiendo las células y previniendo enfermedades crónicas. El kale tiene alto contenido de vitamina C, pero presenta una gran variación con diferencias de hasta el doble (Podsdek, 2007) dependiendo del genotipo (Kurilich y otros, 1999). La concentración de vitamina C en la planta es afectada por las condiciones climáticas (Howard y otros, 1999), pero también por la fertilización nitrogenada, la cual incrementa el tamaño de las plantas, entonces disminuye la concentración de ácido ascórbico, en parte debido al efecto dilución (Stefanelli y otros, 2010). Los diferentes tratamientos para procesado de hojas de kale producen disminución de contenido de vitamina C, Korus y Lisiewska (2011) reportaron una reducción de 57% en vitamina C y 45% de actividad antioxidante.

Los carotenoides, α y β -caroteno, son pigmentos de color amarillo, naranja y rojo presentes en muchas hortalizas, los cuales son precursores de la vitamina A, que tiene un papel importante en la salud de la piel, huesos, sistema gastrointestinal y sistema respiratorio, pero su acción importante también está en la actividad antioxidante. El kale tiene los niveles más altos entre las hortalizas de los carotenoides β -caroteno y luteína (Kopsell y otros, 2003). Kurilich y otros (1999) encontraron entre 3 y 6 veces más contenido de β -caroteno en kale que en las otras especies hortícolas de bráscica como repollo, coliflor y brócoli, mientras que de α -caroteno solo lo dobló o triplicó. Podsdek (2007) en su revisión señala resultados similares de otras investigaciones, pero además agrega niveles muy elevados de luteína y zeaxantina (Holden y otros, 1999). El contenido de carotenoides en kale se puede ver afectado por el manejo nutricional de este cultivo, por ejemplo, incrementos en $\text{NO}_3\text{-N}$ resulta en aumento de concentración de luteína y β -caroteno (Kopsell y otros, 2007), sin embargo, incrementos en azufre no afectan la concentración de estos carotenoides (Kopsell y otros, 2003). Por otra parte, el momento de cosecha influye las concentraciones de luteína y β -caroteno, que fueron significativamente mayores en hojas maduras, mientras que violaxantina fue muy elevada en hojas jóvenes, pero neoxantina tuvo la misma concentración en ambos estados de madurez de hojas (Azevedo y Rodríguez, 2005). Los mismos autores reportaron que la concentración de carotenoides fue significativamente más alta en verano que en invierno, excepto la de β -caroteno. También encontraron que un procesamiento mínimo produce una reducción de entre 14 y 31% de los carotenoides presentes en las hojas de kale.

La vitamina E, al igual que los carotenoides, pertenece al grupo de los antioxidantes liposolubles. La forma más común es α -tocoferol y es la más activa biológicamente (Bjorneboe y otros, 2015), cuya acción es la donación de átomos de hidrógeno para la formación del radical tocoferoxil (Lampi y otros, 2002). Estas reac-

ciones tienen como efecto la protección contra enfermedades coronarias debido a la inhibición de la oxidación del LDL (lipoproteínas de baja densidad) (Stampfer y Rimm, 1995). Piironen y otros (1986) reportaron que esta forma es predominante en todas las hortalizas pertenecientes a la familia brassicaceae, excepto en coliflor, donde predomina γ -tocoferol. Kurilich y otros (1999) encontraron que el kale contiene comparativamente mayores cantidades de α -tocoferol que brócoli y repollo de Bruselas, señalando que esta hortaliza y el brócoli son la mejor fuente de vitamina E. El cultivar tiene influencia en el contenido de α -tocoferol y γ -tocoferol, por ejemplo, el cultivar Winterborne casi triplicó el contenido de α -tocoferol respecto al cultivar Vates, mientras que en γ -tocoferol fue prácticamente el doble (Kurilich y otros, 1999).

Compuestos fenólicos

Entre las hortalizas de consumo fresco, el kale tiene uno de los mayores contenidos de compuesto fenólicos totales, siendo duplicado solamente por la espinaca, pero tiene 1,5 veces más que la chalota y 3,5 veces que el repollo (Ismail y otros, 2004). Los compuestos fenólicos, especialmente, los flavonoles tienen diferentes actividades biológicas, siendo la más importante la actividad antioxidante. En kale se han identificado 23 flavonoides y 9 derivados de ácido fenólico, mostrando como principales compuestos al kaempferol, quercetina y a los ácidos sinápico y ferúlico (Lin y Harnly, 2009; Olsen y otros, 2009; Heimler y otros, 2006; Zhang y otros, 2003). Por otra parte, Ayaz y otros (2008) encontraron 9 ácidos fenólicos en hojas de kale: gálico, protocatéquico, *p*-hidroxibenzoico, vanílico, salicílico, *p*-cumárico, caféico, ferúlico y sinápico. Los ácidos más abundantes encontrados en hojas fueron ferúlico y caféico, alcanzando entre ambos a casi el 74% del total de ácidos fenólicos.

El contenido de polifenoles, así como el de cualquier fitoquímico se ve afectado por variados factores como se mencionó antes, la genética de la variedad, las condiciones climáticas como temperatura y radiación (Neugart y otros, 2012), las prácticas culturales, madurez de cosecha, condiciones de almacenamiento y de procesamiento (Podsdek, 2007). Incrementos en concentración de kaempferol y quercetina fueron encontrados en plantas que crecieron a baja temperatura, estando la máxima concentración de kaempferol a 1,8°C, mientras que la quercetina continuó aumentando bajo esta temperatura, por lo tanto, es recomendable el consumo de kale en pleno invierno cuando crece a baja temperatura (Neugart y otros, 2012).

La actividad antioxidante está fuertemente correlacionada con el contenido total de compuestos fenólicos (Ayaz y otros, 2008), pero se ve reducido significativamente después de un minuto de tratamiento térmico (Ismail y otros, 2004). El total de compuestos fenólico en hojas frescas disminuye dos veces cuando se blanquean y 3,7 veces cuando son cocinadas, siendo los más afectados el ácido ferúlico y el ácido

p-cumárico; la temperatura también afecta la actividad antioxidante, disminuyendo entre 1,5 y 1,8 veces con blanqueado y cocción, respectivamente (Korus y Lisiewska, 2011).

Glucosinolatos

Los glucosinolatos son la mayor clase de metabolitos secundarios encontrados en cultivos de brásicas (Velasco y otros, 2007). Hasta hace no mucho tiempo, eran considerados como factores anti-nutricionales, pero numerosos estudios recientes han mostrado su efectividad en dietas anticancerígenas (Cartea y Velasco, 2008). En la planta están presentes de forma no activa, pero cuando hay algún tipo de daño celular son hidrolizados por enzimas del grupo mirosinasa, liberando compuestos como isotiocianatos, tiocianatos, índoles, nitrilos o epitionitrilos, dependiendo de la estructura del glucosinolato (Shapiro y otros, 2001).

En hojas de kale fueron identificados ocho glucosinolatos, los cuales pertenecen a tres clases diferentes: tres alifáticos, cuatro indólicos y un glucosinolato aromático (Steindal y otros, 2015). Los mismos autores encontraron que el fotoperiodo y la temperatura de crecimiento afectan el contenido individual de glucosinolatos, variando la respuesta de acuerdo con el tipo de glucosinolato. Temperaturas bajas de crecimiento junto con heladas pueden resultar en degradación en hojas, lo cual puede reducir el contenido de glucosinolatos (Fenwick y otros, 1983). El contenido también es afectado por el cultivar y la fertilización con nitrógeno y azufre; Groenbaek y otros (2014) encontraron diferencias de concentración de glucosinolatos totales entre cultivares de kale híbridos y tradicionales de polinización abierta, mientras que aplicaciones de azufre incrementaron el contenido de glucosinolatos totales, pero incrementos en nitrógeno implicaron una disminución en glucosinolatos alifáticos.

Velasco y otros (2007) encontraron que la concentración de los glucosinolatos no es estable entre estados fenológicos de la planta, la mayor concentración estuvo en botones florales y hojas cosechadas cinco meses después del trasplante. Por otra parte, los glucosinolatos alifáticos fueron menos susceptibles a los efectos ambientales que los de tipo indólicos, y que factores ambientales como pH y temperatura parecen afectar en alguna intensidad la variabilidad de glucosinolatos, probablemente debido a la disponibilidad de macro y microelementos para la nutrición de la planta. Además, la disponibilidad de estos elementos en el material vegetal se ve afectada por el procesamiento y tratamientos térmicos para la preservación, especialmente en ambientes acuosos, resultando en pérdidas significativas de glucosinolatos de entre 30 a 42%. El método de preservación que menos pérdidas presenta es congelación de las hojas de kale, mientras que la mayor pérdida estuvo en tratamientos de esterilización y secado de hojas no blanqueadas (Korus y otros, 2014).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, C., Scott, W. R., Wilson, D. R., y Purves, L., 2005. Dry matter accumulation and phenological development of four brassica cultivars sown in Canterbury. *Agronomy N.Z.* 351-18. <http://www.agronomysociety.org.nz/2005-journal-papers.html>.

Ayaz, F. A., Glew, R. H., Millson, M., Huang, H. S., Chuang, L. T., y Hayırlıyoglu-Ayaz, C. S. S., 2006. Nutrient contents of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.). *Food Chem.* 96(4): 572-579. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.011>.

Ayaz, F. A., Hayirlioglu-Ayaz, S., Alpay-Karaoglu, S., Grúz, J., Valentová, K., Ulrichová, J., y Strnad, M., 2008. Phenolic acid content of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.) extracts and their antioxidant and antibacterial activities. *Food Chem.* 107(1): 19-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.003>.

Azevedo, C. H. y Rodríguez-Amaya, D. B., 2005. Carotenoid composition of kale as influenced by maturity, season and minimal processing. *J Sci Food Agric.* 85(4): 591-597. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.1993>.

Balçau, S. L., Apahidean, M., Zaharia, A., Gocan Tincuta, M., Boca, D. F., y Barjuta, J. 2013. Establishing some technological methods to increase leaves production of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology.* 17(1): 15-20. [http://journal-hfb.usab-tm.ro/engleza/2013/Lista%20Lucrari%20PDF/Volum%2017\(1\)%20PDF/4Balcau%20Simina.pdf](http://journal-hfb.usab-tm.ro/engleza/2013/Lista%20Lucrari%20PDF/Volum%2017(1)%20PDF/4Balcau%20Simina.pdf).

Bjorneboe, A., Bjorneboe, G., y Devon, C., 2015. Absorption, transport and distribution of vitamin E. *J.Nutr.* 120(3): 233-242. <http://jn.nutrition.org/content/120/3/233.full.pdf+html>.

Brown, H. E., Maley, S., y Wilson, D. R., 2007. Investigations of alternative kale management: Production, regrowth and quality from different sowing and defoliation dates. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association.* 6929-3. http://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland_publication_142.pdf.

Cartea, M. E., Picoaga, A., Soengas, P., y Ordás, A., 2002. Morphological characterization of kale populations from northwestern Spain. *Euphytica.* 129(1): 25-32. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1021576005211>.

Cartea, M. E. y Velasco, P., 2008. Glucosinolates in *Brassica* foods: bioavailability in food and significance for human health. *Phytochemistry Reviews.* 7(2): 213-229. <http://dx.doi.org/10.1007/s11101-007-9072-2>.

Christensen, S., Bothmer, R., Poulsen, G., Maggioni, L., Phillip, M., Andersen, B. A., y Jørgensen, R. B. 2011. AFLP analysis of genetic diversity in leafy kale (*Brassica oleracea* L. convar. *acephala* (DC.) Alef.) Landraces, cultivars and wild populations in Europe Genet.Resour.Crop Evol. 58(5): 657-666. <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-010-9607-z>.

Decoteau, D. R., 2000. Vegetable crops. New Jersey: Prentice-Hall Inc.

Eppendorfer, W. H. y Bille, S. W., 1996. Free and total amino acid composition of edible parts of bean, kale, spinach, cauliflower and potatoes as influenced by nitrogen fertilization and phosphorus and potassium deficiency. J.Sci.Food Agric. 71(4): 449-458. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199608\)71:4<449::AID-JSFA601>3.0.CO;2-N](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199608)71:4<449::AID-JSFA601>3.0.CO;2-N).

Fenwick, G. R., Heaney, R. K., y Mullin, W. J., 1983. Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants.CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 18(2): 123-201. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398209527361>.

Gossiau, A. y Chen, K. Y., 2004. Nutraceuticals, apoptosis, and disease prevention. Nutrition. 20(1): 95-102.<http://dx.doi.org/10.1016/j.nut.2003.09.017>.

Groenbaek, M., Jensen, S., Neugart, S., Schreiner, M., Kidmose, U., y Kristensen, H. L., 2014. Influence of cultivar and fertilizer approach on curly kale (*Brassica oleracea* L. var. *sabellica*). 1. Genetic diversity reflected in agronomic characteristics and phytochemical concentration. J.Agric.Food Chem. 62(47): 11393-11402. <http://dx.doi.org/10.1021/jf503096p>.

Heimler, D., Vignolini, P., Vincieri, F. F., y Romani, A., 2006. Antiradical activity and polyphenol composition of local Brassicaceae edible varieties. Food Chem. 99(3): 464-469. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.057>.

Hertog, M. G. L., Hollman, P. C. H., y Katan, M. B., 1992. Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. J.Agric.Food Chem. 40(12): 2379-2383. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00024a011>.

Holden, J. M., Eldridge, A. L., Beecher, G. R., Buzzard, I. M., Bhagwat, S., Davis, C. S., Douglass, L. W., Gebhardt, S., Haytowitz, D., y Schakelf, S., 1999. Carotenoid content of US foods: An update of the database. J.Food Comp.Anal. 12(3): 169-196. <http://dx.doi.org/10.1006/jfca.1999.0827>.

Howard, L. A., Wong, A. D., Perry, A. K., y Klein, B. P., 1999. β -carotene and ascorbic acid retention in fresh and processed vegetables. *Journal of Food Science*. 64(5): 929-936. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15943.x>.

Huang, Z. L., Wang, B. W., Eaves, D. H., Shikany, J. M., y Pace, R. D., 2007. Phenolic compound profile of selected vegetables frequently consumed by African Americans in the southeast United States. *Food Chem*. 103(4): 1395-1402. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.077>.

Innis, S. M., 1996. Essential dietary lipids. Present knowledge in nutrition. 58. Washington, DC. ILSI Press.

Ismail, A., Marjan, Z. M., y Foong, C. W., 2004. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chem*. 87(4): 581-586. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.010>.

Kopsell, D. A., Kopsell, D. E., y Curran-Celentano, J., 2007. Carotenoid pigments in kale are influenced by nitrogen concentration and form. *J.Sci.Food Agric*. 87(5): 900-907. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2807>.

Kopsell, D. E., Kopsell, D. A., Randle, W. M., Coolong, T. W., Sams, C. E., y Curran-Celentano, J., 2003. Kale carotenoids remain stable while flavor compounds respond to changes in sulfur fertility. *J.Agric.Food Chem*. 51(18): 5319-5325. <http://dx.doi.org/10.1021/jf034098n>.

Korus, A. 2010., Effect of the cultivar and harvest date of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) on crop yield and plant morphological features. *Vegetables Crops Research Bulletin*. 73:55-65. <http://dx.doi.org/10.2478/v10032-010-0018-7>.

Korus, A. y Lisiewska, Z., 2011. Effect of preliminary processing and method of preservation on the content of selected antioxidative compounds in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) leaves. *Food Chem*. 129(1): 149-154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.048>.

Korus, A., Slupski, J., Gebczynki, P., y Banas, A., 2014. Effect of preliminary processing and method of preservation on the content of glucosinolates in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) leaves. *Food Science and Technology*. 59(2): 1003-1008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.030>.

Krezel, J., Kolota, E., y Sciazko, D., 1998. Wplyw terminu siewu oraz terminu zbioru na sklad aminokwasowy bialka dwóch odmian jarmuzu. *Zeszyty Naukowe AR w Bydgoszczy, z.215, series Rolnictwo*. 42: 119-123.

Kris-Etherton, P. M., Etherton, T. D., Carlson, J., y Gardner, C., 2002. Recent discoveries in inclusive food-based approaches and dietary patterns for reduction in risk for cardiovascular disease. *Current Opinion in Lipidology*. 13(4): 397-407.

Kurilich, A. C., Tsau, G. J., Brown, A., Howard, L., Klein, B. P., Jeffery, E. H., Kushad, M., Wallig, M. A., y Juvik, J. A., 1999. Carotene, tocopherol, and ascorbate contents in subspecies of *Brassica oleracea*. *J.Agric.Food Chem.* 47(4): 1576-1581. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9810158>.

Lampi, A. M., Kamal-Eldin, A., y Piironen, V., 2002. Tocopherols and tocotrienols from oil and cereal grains. In Shi, J., Mazza, G., and y LeMaguer, M., Boca Raton, FL. CRC Press LLC.

Levitt, J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. New York: Academic Press.

Lin, L-Z. y Harnly, J., M. 2009. Identification of the phenolic components of collard greens, kale, and Chinese broccoli. *J.Agric.Food Chem.* 57(16): 7401-7408. <http://dx.doi.org/10.1021/jf901121v>.

Lisiewska, Z., Kmiecik, W., y Korus, A., 2008. The amino acid composition of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*), fresh and after culinary and technological processing. *Food Chem.* 108(2): 642-648. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.030>.

Maroto, J. V. Y Baixauli, C. 2017. Brocolis, coliflores y coles. En: Maroto, J.V. y Baixauli, C. Cultivos hortícolas al aire libre. Serie Agricultura 13, Cajamar Rural. 371-434.

Neugart, S., Kläring, H., Zietz, M., Schreiner, M., Rohn, S., Kroh, L. W., y Krumbein, A., 2012. The effect of temperature and radiation on flavonol aglycones and flavonol glycosides of kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*). *Food Chem.* 133(4): 1456-1465. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.034>.

Olsen, H., Aaby, K., y Borge, G. I. A., 2009. Characterization and quantification of flavonoids and hydroxycinnamic acids in curly kale (*Brassica oleracea* L. convar. *acephala* var. *sabellica*) by HPLC-DAD-ESI-MSⁿ. *J.Agric.Food Chem.* 57(7): 2816-2825. <http://dx.doi.org/10.1021/jf803693t>.

Piironen, V, Syvaöja, E.-L., Varo, P., Salminen, K., y Koivistoinen, P., 1986. Tocopherols and tocotrienols in Finnish foods: Vegetables, fruits and berries. *J.Agric.Food Chem.* 34(4): 742-746. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00070a038>.

Podsedek, A., 2007. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT-Food Science and Technology*. 40(1): 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023>.

Schmidt, S., Zietz, M., Schreiner, M., Rohn, S., Kroh, L. W., y Krumbein, A., 2010. Genotypic and climatic influences on the concentration and composition of flavonoids in kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*). *Food Chem*. 119(4): 1293-1299. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.004>.

Shapiro, T. A., Fahey, J. W., Wade, K. L., Stephenson, K. K., y Talalay, P., 2001. Chemoprotective glucosinolates and isothiocyanates of broccoli sprouts: metabolism and excretion in humans. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*. 10(5): 501-508. <http://cebp.aacrjournals.org/content/10/5/501.full>.

Sinclair, H. M., 1990. Essential fatty acids: a historical perspective. *Biochemical Society Transactions*. 18(5): 756-761. <http://dx.doi.org/10.1042/bst0180756>.

Stampfer, M. J. y Rimm, E. B., 1995. Epidemiologic evidence for vitamin E in prevention of cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr*. 62(6): 1365-1369. <http://ajcn.nutrition.org/content/62/6/1365S.full.pdf+html>.

Stefanelli, D., Goodwin, I., y Jones, R., 2010. Minimal nitrogen and water use in horticulture: Effects on quality and content of selected nutrients. *Food Research International*. 43(7): 1833-1843. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.022>.

Steindal, A. L. H., Rødven, R., Hansen, E., y Mølmann, J., 2015. Effects of photoperiod, growth temperature and cold acclimatization on glucosinolates, sugars and fatty acids in kale. *Food Chem*. 174(1): 44-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.129>.

Velasco, P., Cartea, M. E., González, C., Vilar, M., y Ordás, A., 2007. Factors affecting the glucosinolate content of kale (*Brassica oleracea acephala* group). *J.Agric.Food Chem*. 55(3): 955-962. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0624897>.

Wilson, D. R., Reid, J. B., Zyskowski, R. F., Maley, S., Pearson, A. J., Armstrong, S. D., Catto, W. D., y Stafford, A. D., 2006. Forecasting fertilizer requirements of forage brassica crops. *Proceeding of the New Zealand Grassland Association*. 68: 201-205. http://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland_publication_379.pdf.

Zhang, J., Satterfield, M. B., Brodbelt, J. S., Britz, S. J., Clevidence, B., y Novotny, J. A., 2003. Structural characterization and detection of kale flavonoids by electrospray ionization mass spectrometry. *Anal.Chem*. 75(23): 6401-6407. <http://dx.doi.org/10.1021/ac034795e>.