

Factores genéticos y ambientales que modifican la pigmentación de bulbos de ajo

Burba, J.L.; Cavagnaro, P.

Estación Experimental Agropecuaria La Consulta
2022



Factores genéticos y ambientales que modifican la pigmentación de bulbos de ajo

Los colores intensos de los dientes de ajo (rojos a violáceos), estarían causados por la presencia de pigmentos antociánicos.

Esta situación ha dado lugar a una serie de pruebas empíricas de fertilizantes químicos y "ayudas metabólicas" entre los vendedores de estos insumos y los productores.

Si bien la intensidad de colores no necesariamente está asociada al picor de la variedad exigido por ciertos consumidores como el mercado brasileño, es verdad que hay una fuerte correlación, particularmente en ajos del Grupo Ecofisiológico IV (Colorados y Castaños), de la clasificación argentina.

La pigmentación de la hoja protectora de los dientes de ajo es un factor genético fuertemente influenciado por el ambiente, particularmente la temperatura y la textura de los suelos. Suelos arenosos, por ser más cálidos, particularmente en la última etapa del cultivo, dan como resultados colores de menor intensidad.

Editores:

- Silvina Lanzavechia
- Aldo López

Como citar este documento:

Burba, J.L. y Cavagnaro, P. (2022 Factores genéticos y ambientales que modifican la pigmentación de bulbos de ajo. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria La Consulta, Mendoza, Argentina. Documento Proyecto Ajo/INTA 151, pdf, 13 p.

Factores genéticos y ambientales que modifican la pigmentación de bulbos de ajo

Introducción

La falta de color de chalas externas (sector inferior de las vainas de hojas envolventes del bulbo), y principalmente de la piel de los dientes (hoja de protección), ha desvelado a muchos productores de ajos Colorados y Morados, presionados seguramente por la exigencia de países compradores como Brasil.

Bajo las condiciones de la región andina central de Argentina los ajos Colorados (GE IV a y IVb) no poseen pigmentos en las hojas envolventes del bulbo, mientras que si los tienen en disposición variegada intensa los ajos Morados (GE IIIa), variegada suave en Blancos (GE IIIb) y Castaños (IVc), como se pueden ver en la Figura 1.



Figura 1 – Hojas envolventes del bulbo ("chalias") pigmentadas (Fotografía: Nieva, M.V.)

Por otra parte, los ajos Colorados, Morados y Castaños presentan pigmentos en diversas tonalidades e intensidades en la hoja de protección del diente (Figura 2).

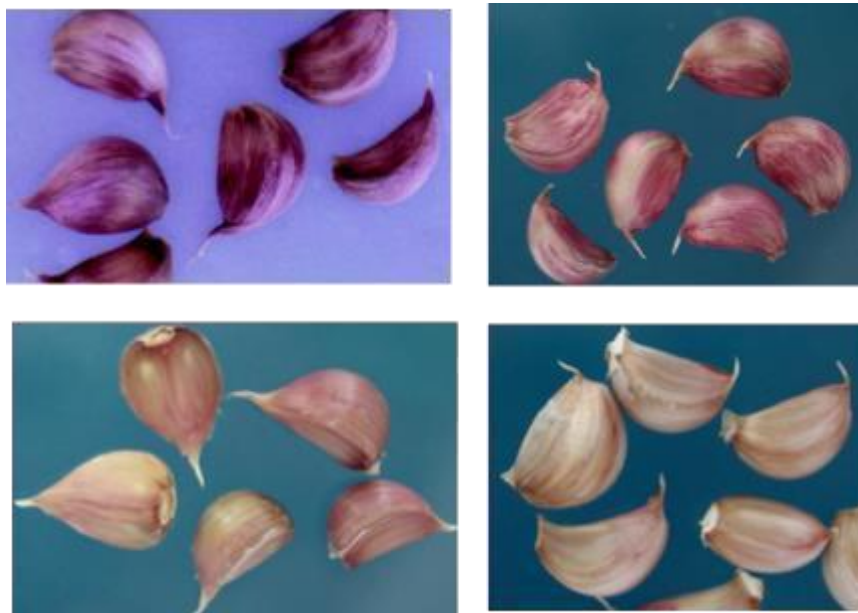


Figura 2 – Hojas protectoras de los dientes pigmentadas (Fotografía: Nieva, M. V.)

La Figura 3 muestra una paleta de colores obtenida empleando el *software Freehand 8*, que permite hacer el registro de las proporciones de los componentes CMYK (cian, magenta, amarillo y negro), para lograr una precisa identificación de cada color.

Posteriormente a la identificación CMYK de los colores de la mencionada cartilla, se traduce al correspondiente registro de caracterización de datos CMYK estándar de la "Euroscale".

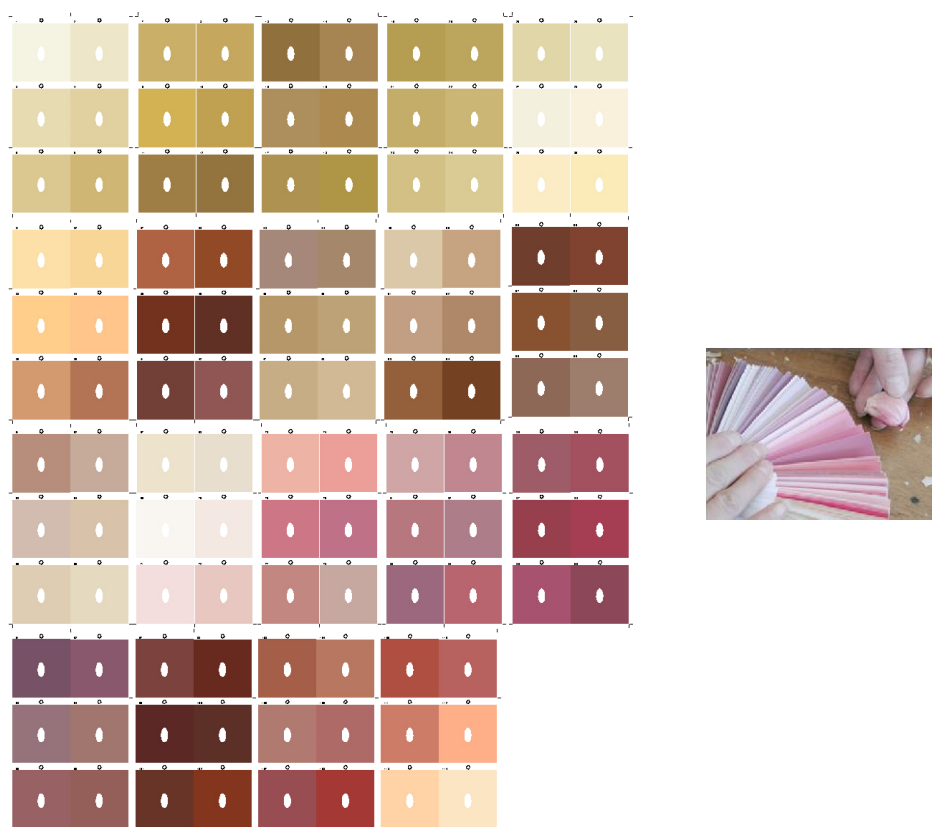


Figura 3 – Cartilla de colores para caracterización de bulbos y "dientes" de ajo (Nieva, M.V. *et. al.* 2013)

Los colores intensos de los dientes de ajo (rojos a violáceos), estarían causados por la presencia de pigmentos antociánicos.

Esta situación ha dado lugar a una serie de pruebas empíricas de fertilizantes químicos y "ayudas metabólicas" entre los vendedores de estos insumos y los productores.

Si bien la intensidad de colores no necesariamente está asociada al picor de la variedad exigido por ciertos consumidores como el mercado brasileño, es verdad que hay una fuerte correlación, particularmente en ajos del Grupo Ecofisiológico IV (Colorados y Castaños), de la clasificación argentina.

La pigmentación de la hoja protectora de los dientes de ajo es un factor genético fuertemente influenciado por el ambiente, particularmente la temperatura y la textura de los suelos. Suelos arenosos, por ser más cálidos, particularmente en la última etapa del cultivo, dan como resultados colores de menor intensidad.

La ruta metabólica de los pigmentos antociánicos

Parece conveniente recordar algunos conceptos sobre la ruta metabólica de pigmentos, particularmente de las antocianinas, responsables de los colores rojos, azules y violáceos.

Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles, generalmente inestables, que se hallan en las vacuolas de las células vegetales y que otorgan el color rojo, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos de muchas plantas.

Desde el punto de vista químico, las antocianinas pertenecen al grupo de los flavonoides y son glucósidos de las antocianidinas, es decir, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace glucosídico.

Sus funciones en las plantas son múltiples, desde la de protección de la radiación ultravioleta, dar color comercial al producto e impedir la congelación de las frutas.

Las antocianinas y otros flavonoides comparten la misma vía biosintética, pero los productos finales varían mucho entre distintas especies de plantas y son útiles para diferenciarlas.

De todas las antocianidinas que actualmente se conocen (aproximadamente 20), las más importantes son la pelargonidina, delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina, nombres que derivan de la fuente vegetal de donde se aislaron por primera vez. La combinación de éstas con los diferentes azúcares genera aproximadamente 150 antocianinas.

Los carbohidratos que comúnmente se encuentran son la glucosa y la ramnosa, seguidos de la galactosa, xilosa y la arabinosa, ocasionalmente, la gentobiosa, la rutinosa y la soforosa.

El color de las antocianinas depende de varios factores intrínsecos, como son los sustituyentes químicos que contenga y la posición de los mismos en el grupo flavilio. Por ejemplo, si se aumentan los hidroxilos del anillo fenólico se intensifica el color azul, mientras que la introducción de metoxilos provoca la formación del color rojo.

Factores como su misma estructura química, pH, temperatura, presencia de oxígeno y ácido ascórbico, concentración y actividad de agua de la matriz determinan la estabilidad del pigmento, que en los bulbos de ajos se manifiesta en la etapa final del crecimiento del bulbo.

En el transcurso de la evolución, las plantas han desarrollado la capacidad de producir una enorme cantidad de metabolitos secundarios fenólicos, que no son requeridos en los procesos primarios de crecimiento y desarrollo, pero son de vital importancia para su interacción con el medio, para su estrategia reproductiva y por sus mecanismos de defensa.

Desde un punto de vista biosintético, además de la metilación catalizada por Ometiltransferasas, la acilación y glicosilación de metabolitos secundarios, incluyendo fenilpropanoides y varios compuestos fenólicos derivados, son modificaciones químicas fundamentales.

Dichos metabolitos modificados tienen polaridad, volatilidad, estabilidad química en las células, pero también en solución, capacidad de interacción con otros compuestos (copigmentación) y actividad biológica alteradas. El control de la producción de fenoles vegetales implica una matriz de señales reguladoras potencialmente superpuestas.

Estos incluyen señales de desarrollo, como durante la lignificación de un nuevo crecimiento o la producción de antocianinas durante el desarrollo de la fruta y la flor, y señales ambientales para la protección contra el estrés abiótico y biótico. Para algunos de los compuestos clave, como los flavonoides, ahora existe una excelente comprensión de la naturaleza de esas señales y cómo la vía de transducción de señales se conecta a través de la activación de los genes biosintéticos fenólicos.

Efecto de los pigmentos sobre la tolerancia a enfermedades

Hay numerosos reportes sobre la relación entre pigmentos rojos/violáceos y la tolerancia a ciertas enfermedades causadas por hongos (Figura 4). Los ajos Colorados (Grupo IV), son relativamente tolerantes a "mancha de herrumbre" (*Fusarium cepae*), y a "carbonillas" o "ajo negro" (*Helminthosporium allii*), mientras que son mucho más sensibles a "moho verde" (*Penicillium allii*), que los ajos Blancos (Grupo III).

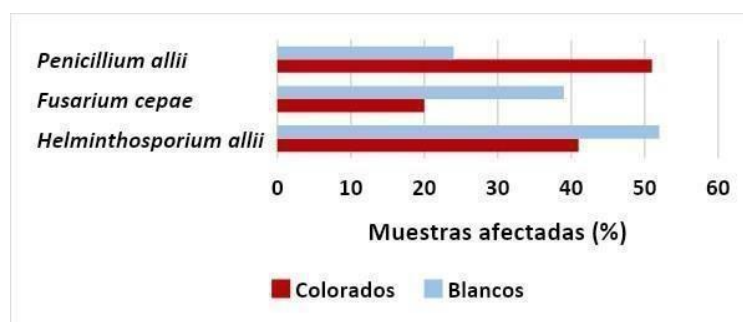


Figura 4 - Sensibilidad y tolerancia a enfermedades fúngicas de ajos de diferente concentración de antocianinas (Pícolo, R. 1993)

Cuando el análisis se realiza con diversas cultivares de varios Grupos (Figura 5), los modelos indican que Castaño INTA (Grupo IVc), se comportó como resistente, Morado INTA (Grupo IIIa), como tolerante mientras que son muy susceptibles Peteco, Gran Fuego INTA y Tempranillo.

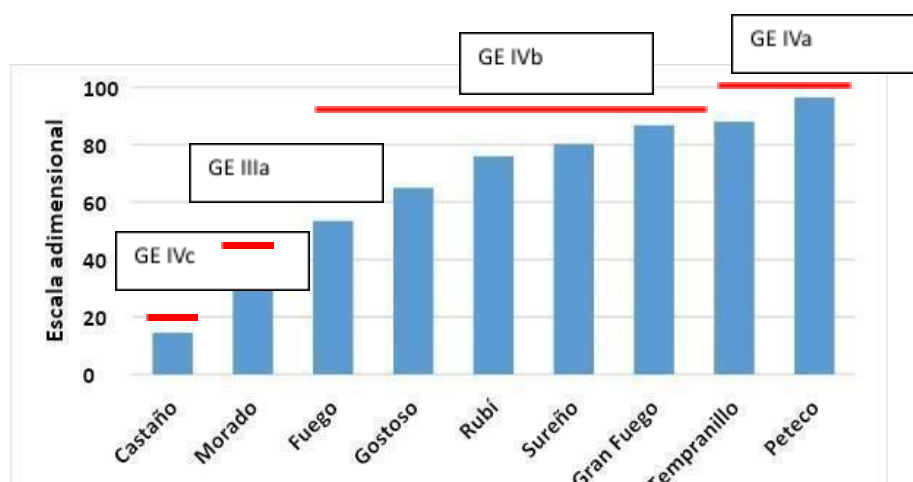


Figura 5 - Sensibilidad, tolerancia y resistencia a Moho verde (*Penicillium allii*) (Adaptado de Cavagaro et. al. 2001)

Efecto del ambiente sobre la pigmentación

Empíricamente sabemos que zonas productoras de ajo en climas fríos y suelos arcillosos, ácidos son ambientes favorables al desarrollo de colores intensos. Ensayos sobre plasticidad fenotípica de tres cultivares en dos áreas geográficas diferentes mostraron diferencias de intensidad, como muestra la Figura 6.

Ambas localidades, alejadas solo a 85 km, mostraron que en Chacras de Coria las cultivares Gran Fuego y Rubí lograron un color más oscuro y más intenso que en La Consulta, mientras que Tempranillo mostró un efecto inverso. Las dos primeras (Colorados "criollos"), fueron seleccionadas en La Consulta, mientras que la tercera (Colorado "español"), se seleccionó en Chacras de Coria.

Esto indica la fuerte influencia del ambiente sobre la pigmentación, independientemente de la región donde la variedad fue seleccionada.

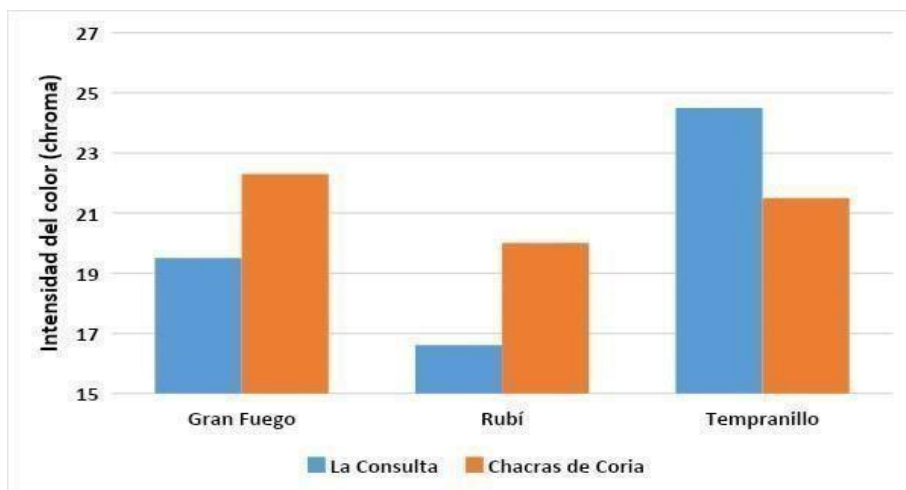


Figura 6 - Efecto del ambiente sobre la intensidad del color de los dientes de ajo (Morales, A. *et al.* 2019)

También sabemos que ajos producidos, soleados o conservados a temperaturas relativamente altas pierden color. Un ensayo de efecto de calentamiento artificial del suelo arrojó impactantes resultados en ajos Colorados (Figura 7), donde se puede observar que los ajos cultivados en suelos cálidos perdieron totalmente su pigmentación.



Figura 7 - Efecto de las altas temperaturas sobre la pigmentación de las hojas protectoras de los dientes. Izquierda testigo, derecha con calentamiento de suelo. (Guiñazú, M. *et al.* 2009).

Efecto del genotipo sobre la manifestación de pigmentos

Otros estudios de correlación entre el potencial de rendimientos y la intensidad de los pigmentos (Figura 8), mostraron en 27 variedades de ajo Colorado de una colección, que mientras mayor fue el potencial de rendimiento menor intensidad tenía la hoja de protección de los dientes.

Existen fuertes evidencias sobre la mayor concentración de pigmentos en ajos Colorados "españoles" (tempranos, de bajos rendimientos), que en los Colorados "criollos" (tardíos, de altos rendimientos)

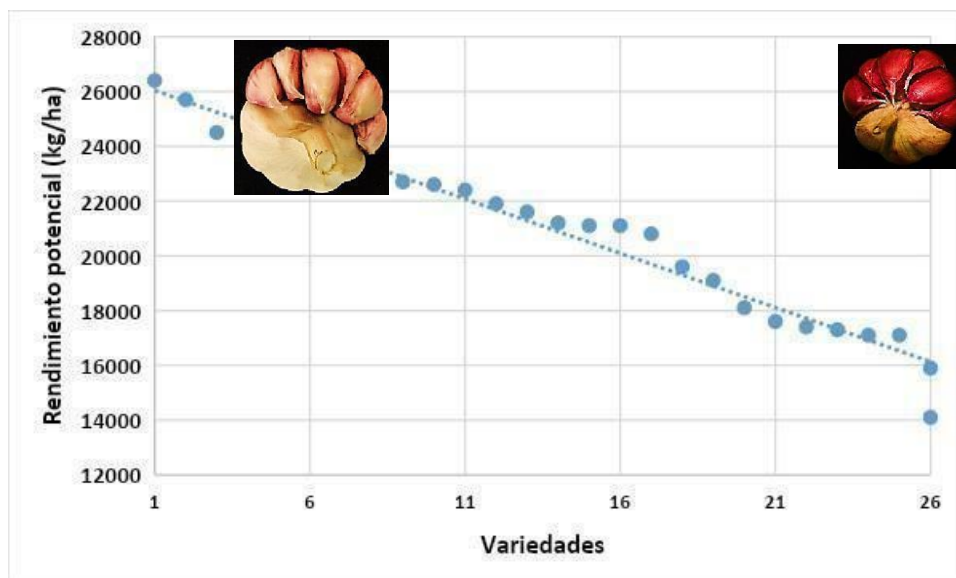


Figura 8 - Relación entre el potencial de rendimiento de las variedades y la intensidad de color de los dientes (Burba, J.L. *et. al.* 1999)

Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la manifestación de pigmentos

Estos estudios se ajustaron a través de la medición con colorímetros de precisión capaces de medir el coeficiente de color, la intensidad y tonalidad del mismo. Los ensayos se realizaron sobre cultivares INTA y cinco niveles de nitrógeno entre 0 kg/ha y 300 kg/ha.

Sus resultados indican que en general a mayor dosis de nitrógeno mayor coeficiente de color, pero menor intensidad y tonalidad.

Las variedades ordenadas en una escala de menor a mayor intensidad de color fueron Fuego, Sureño y Rubí.

En otras especies, la síntesis de antocianinas está influenciada positivamente por bajos niveles de nitrógeno, lo que, de darse este mismo fenómeno en el ajo, no podríamos esperar colores intensos con altos rendimientos.

Efecto de la frigorificación de semilla sobre la manifestación de pigmentos

El aporte de frío a la semilla también tiene influencia sobre la síntesis de antocianos. La Figura 9 muestra para ajos Morados que el anticipo de bulbificación va asociado a la mayor intensidad de color.



Figura 9 - Efecto de frigorificación en semilla de ajos Morados sobre bulbificación anticipada y desarrollo de pigmentos (Burba, J.L. 1999)

Acondicionar los bulbos de ajo a temperaturas inferiores a 5 °C o 6 °C aumenta la precocidad de la cultivar, aunque sacrifica rendimientos. Esta temperatura de conservación mejora el contenido fenólico de las catáfilas y como consecuencia aumenta la intensidad del color.

La interacción entre frío artificial en semillas y el natural de la estación de crecimiento aumenta la conservación de flavonoides.

Los altos contenidos de fenoles y antocianinas en bulbos de plantas generados a partir de "semilla" acondicionadas a 5 °C durante 5 semanas aceleró el desarrollo del ciclo del cultivo, disminuyó el crecimiento de las plantas y aumentó la síntesis de compuestos fenólicos y antocianinas en las hojas externas ("chalas"), de los bulbos en el momento de la cosecha, lo que llevó a un aumento del contenido de 3 veces en comparación con los acondicionados a temperatura ambiente.

El acondicionamiento en frío de la "semilla" también alteró el perfil de antocianinas durante el desarrollo del bulbo y en la cosecha. Fueron precedidos por la sobreexpresión de algunos genes putativos del metabolismo fenólico (6 veces para la fenilalanina amoniaco liasa (PAL), y antocianina síntesis (1 vez para azúcar UDP:flavonoide 3Oglicosiltransferasa (UFGT), en comparación con los acondicionados a temperatura ambiente.

Evaluaciones realizadas en Mendoza con cultivares locales muestran diferencias en la concentración de fenoles y flavonoides como muestra la Figura 10 asociadas a la variedad botánica (*Ophioscorodon*, *Sativum* y *Pekinense*), y a la intensidad de pigmentos de las mismas.

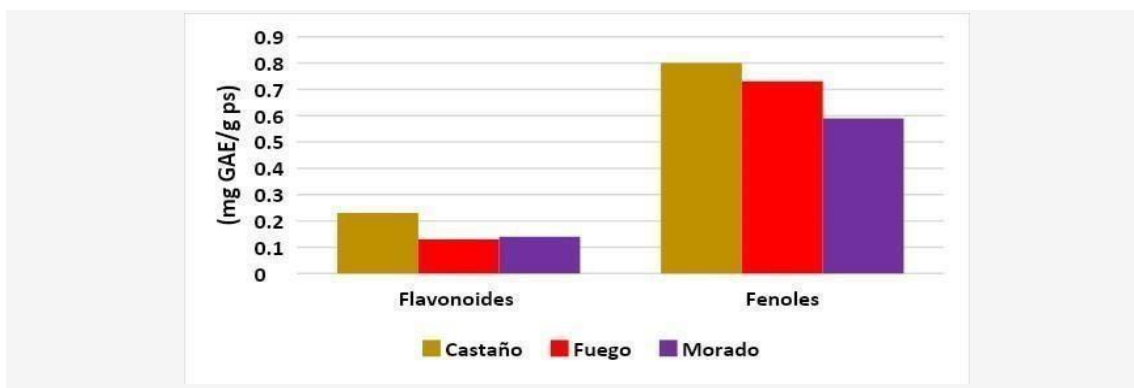
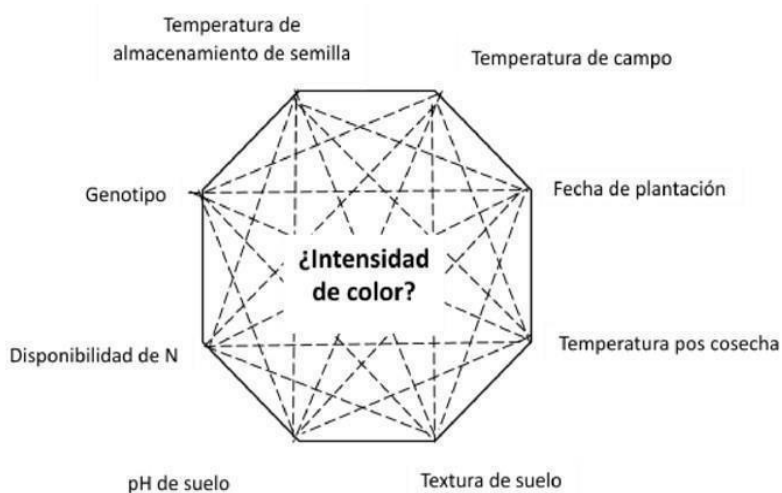


Figura 10 - Concentración de fenoles y flavonoides en cultivares de ajo
(Soto. C.V. *et. al.* 2013)

A modo de síntesis

- Todo parece indicar que la mayor intensidad de color en el ajo depende de un sinnúmero de factores interaccionando con el genotipo. En principio no hay asociación alguna entre la fertilización con potasio y otros nutrientes con lograr el objetivo.
- La Figura 11 resume de alguna manera las interacciones posibles. Serían factores determinantes para el logro del objetivo de mayor intensidad de color:
 - alto contenido y el tipo natural de pigmentos en la variedad
 - relativamente bajas temperaturas de almacenamiento de la semilla
 - suelos arcillosos
 - suelos ácidos
 - inviernos rigurosos
 - plantaciones tempranas
 - alta disponibilidad de nitrógeno
 - relativamente bajas temperaturas de secado pos cosecha



La Figura 11 resume de alguna manera las interacciones posibles.

Bibliografía

- AGUILERA ORTÍZ, M.; REZA VARGAS, M. del C.; CHEW MADINAVEITIA, R. G. y MEZA VELÁZQUEZ, J.A. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *BIOtecnia / XIII (2): 16-22 (2011)*. www.biotechnia.uson.mx
- CASTAÑEDA VÁZQUEZ, B.I. (2010). Inducción de antocianinas y capacidad antioxidante por oligogalacturónidos en uvas de mesa cv. '*Flame Seedless*'. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de investigación en alimentación y desarrollo, A. C. Hermosillo, Sonora, México
- CAVAGNARO, P.F., CAMARGO, A., PICCOLO, R.J., GARCIA LAMPASONA, S., BURBA J.L., MASUELLI, R.W. (2005). Resistance to *Penicillium hirsutum* Dierckx in garlic accessions. *European Journal of Plant Pathology*. 112, 195-199.
- CHEYNIER, V. ; COMTE, G.; DAVIES, K.M.; VINCENZO LATTANZIO, V.; MARTENS, S. (2013). Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiol Biochem*. 2013. Nov. 72: 1-20.
- DUFOO HURTADO, M.D.; ZAVALA GUTIÉRREZ, K.G.; CAO, C.M. ; GUEVARA GONZÁLEZ, R.G.; TORRES PACHECO, I.; VÁZQUEZ BARRIOS, M.E.; RIVERA PASTRANA, D.M. y MERCADO SILVA, E.M. (2013). Low-temperature conditioning of "seed" cloves enhances the expression of phenolic metabolism related genes and anthocyanin content in 'Coreano' garlic (*Allium sativum*) during plant development. *J Agric Food Chem* 61 (44): 10439-46.
- HERRERA, M.D.; SERVÍN-PALESTINA, M.; MANUEL REVELES-HERNÁNDEZ, M. y ZEGBE, J.A. (2021). Garlic cloves (*Allium sativum* L.) conditioned at low temperatures and planting dates enhance the polyphenolic content of garlic cataphylls. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. Volume 25, December 2021, 100316
- LIPINSKI, V.M. y GAVIOLA, S. (2005). Color de "dientes" en ajos colorados afectados por tratamientos con nitrógeno. En: CURSO/TALLER SOBRE PRODUCCIÓN, COMERCIALIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE AJO (9º, Mendoza, Argentina, 2005). Mendoza, INTA EEA La Consulta, EEA La Consulta, p. 115-116
- LÓPEZ, A. de D.; MONTALVO-GONZÁLEZ, E.; ANDRADE-GONZÁLEZ, I. y GÓMEZ-LEYVA, J.F. (2011). Inducción de antocianinas y compuestos fenólicos en cultivos celulares de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) *in vitro*. *Rev. Chapingo Ser.Hortic* vol.17 no.2 Chapingo may./ago. 2011
- LYNCH, N.D. (2015). Why did my garlic change colour? <https://www.facebook.com/notes/aussiebotling-usa-preserving-group/whydidmygarlic-change-colour/454585728055290/>

- MORALES, A. y GARCÍA LAMPASONA, S. (2019). Evaluación de la plasticidad fenotípica del color de bulbillos en cultivares de ajo colorado. En: CURSO/TALLER SOBRE PRODUCCIÓN, COMERCIALIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE AJO (16º, Mendoza, Argentina, 2019). Mendoza, INTA EEA La Consulta, EEA La Consulta, p. 51-54
- NIEVA, M.V.; ROMÁN, L.; CÉSARIS, R.M.; CALDERÓN, L. y PACACCIO, C. (2013). Identificación de forma y color para la diferenciación de cultivares monoclonales de ajo. CURSO TALLER SOBRE PRODUCCION, COMERCIALIZACION E INDUSTRIALIZACION DE AJO (13º, Mendoza, Argentina, 2013). En: 100 Temas sobre producción de ajo. Mendoza, Argentina. Ediciones INTA. INTA EEA La Consulta, Volumen 2, p. 48-55
- PICCOLO, R. (1993). Control de hongos fitopatógenos en la semilla de ajo: estado actual y perspectivas futuras. En: CURSO/TALLER SOBRE PRODUCCIÓN, COMERCIALIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE AJO (3º, Mendoza, Argentina, 1993). Mendoza, INTA EEA La Consulta, EEA La Consulta, p. 93-106
- SALINAS, M. C., CAVAGNARO, P. F. (2020). In vivo and in vitro screening for resistance against *Penicillium allii* in garlic accessions. *European Journal of Plant Pathology*, 156, 173-187.
- SOTO V. y GALMARINI C. (2013). Polifenoles en ajo y su relación con la actividad antioxidante. CURSO TALLER SOBRE PRODUCCION, COMERCIALIZACION E INDUSTRIALIZACION DE AJO (13º, Mendoza, Argentina, 2013). En: 100 Temas sobre producción de ajo. Mendoza, Argentina. Ediciones INTA. INTA EEA La Consulta, Volumen 5, p. 91-97.