

Relaciones hídricas y plasticidad fenotípica en cultivares de *Fragaria x ananassa* como estrategia frente a un escenario de limitación hídrica y cambio climático

Landete-Tormo MB, Sesmero R, Quesada MA

Depto. Biología Vegetal, Universidad de Málaga, Campus Teatinos s/n, E- 29071, Málaga (España). Correo electrónico: [*martab@uma.es](mailto:martab@uma.es)

Resumen

En un escenario de cambio climático y de escasez de recursos hídricos es de suma importancia recuperar y seleccionar especies agrícolas que presenten respuestas plásticas y que hagan un uso eficiente del agua. En este trabajo se estudió el comportamiento hídrico y la plasticidad fenotípica en rasgos funcionales de cultivares de fresa como estrategias frente a la limitación hídrica. La variedad comercial “Fortuna” fue la que presentó una peor regulación hídrica, seguida de “Mieze schindler”, frente a la resistencia al déficit hídrico de *F.chiloensis* (progenitora). En relación a la plasticidad fenotípica, fueron mayores los índices de plasticidad en las variables morfológicas que en las fisiológicas y hubo variabilidad entre las variedades. La variedad “local” fue la que tuvo mayor plasticidad a nivel morfológico, $IP=0,56\pm 0,14$. A nivel fisiológico fue el potencial hídrico la variable, seguida de la conductancia estomática, el que presentó mayor grado de plasticidad fenotípica, en especial en la variedad “Mieze schindler” ($IP= 0,57$).

Palabras clave: *Plasticidad fenotípica; Fresa; Rasgos funcionales; Economía hídrica; Cultivares resilientes*

INTRODUCCIÓN

Las especies vegetales a lo largo de su historia y debido a su naturaleza sésil, han desarrollado un amplio abanico de estrategias en respuesta al ambiente circundante, lo cual les ha permitido sobrevivir a condiciones muy diversas, colonizando y distribuyéndose globalmente hasta los lugares más inhóspitos del planeta. Todo un proceso de diversificación regido fuertemente por presiones selectivas y mecanismos evolutivos. Desde el inicio de la agricultura, el ser humano, ha tratado de ser partícipe en el proceso de selección de especies vegetales según sus intereses alimenticios o medicinales, seleccionando y conservando aquellas especies que tuviesen un buen rendimiento y estuviesen estrechamente relacionadas y en equilibrio con las condiciones climáticas y físicas del territorio. A lo largo de 10.000 años los pueblos del planeta han sido los guardianes y desarrolladores de una amplia agrobiodiversidad. Sin embargo, en los últimos 70 años, la agrobiodiversidad se ha visto diezmada drásticamente (FAO, 2011) debido a la instauración del sistema de producción intensivo (Tschardtke et al., 2012) que trajo consigo la Revolución Verde (International Assessment of Agricultural, 2009). En este escenario los programas de mejora han seguido una dinámica vinculada al sistema productivo, donde el criterio de selección de las nuevas variedades se ha centrado principalmente en el rendimiento y la producción, independientemente del coste. Variedades comerciales que para alcanzar su máxima productividad necesitan insumos constantes y grandes cantidades

de recursos hídricos y de superficie. En regiones climáticas como la Mediterránea, caracterizadas por su larga estación seca y cálida, y con escenarios de sequía y eventos meteorológicos impredecibles cada vez más extremos por el cambio climático (Rambal et al., 1995, IPCC, 2013), es de suma importancia, salvaguardar y desarrollar variedades que presenten estrategias hídricas que mantengan un balance hídrico favorable si queremos garantizar la producción de alimentos. La plasticidad fenotípica es una de las vías clave a corto plazo que utilizan las plantas para enfrentarse a rápidos y complejos cambios ambientales (Lande, 2009; Nicotra, 2010) lo que les puede permitir su rápida aclimatación a nuevos escenarios, además de poder presentar un posible carácter adaptativo a largo plazo (Nicotra et al, 2010). Consideramos primordial que en los programas de mejora se contemple la plasticidad fenotípica en relación al uso eficiente del agua como un carácter a considerar para la selección de variedades. Variedades que probablemente sean menos productivas pero que pueden dar respuestas más eficientes y plásticas en relación al uso del agua frente a escenarios propios del cambio global. Ante este contexto nuestro trabajo se ha centrado en el estudio del comportamiento hídrico y la plasticidad fenotípica en variedades de *Fragaria x ananassa* y *Fragaria chiloensis* como respuesta a escenarios de limitación hídrica ya que el caso del cultivo de fresa en intensivo destaca por su dependencia de un uso intensivo y extractivo del agua. En España la mayor parte de este cultivo se concentra en la provincia de Huelva, ubicándose el 73% en las inmediaciones del Parque Nacional de Doñana (Fundación Doñana 21, 2006), con más de 6400 hectáreas en monocultivo y una producción de 367570 Tm anuales en el año 2016 (Junta de Andalucía-Observatorio de precios y mercados, 2017) lo que está afectando de manera alarmante a la dinámica hídrica natural del área protegida por sus altos requerimientos hídricos. Son varios los trabajos que ponen en evidencia la variabilidad en cuanto al uso del agua que hay entre diferentes cultivares de *Fragaria x ananassa* (Martínez-Ferri et al, 2014; Grant et al, 2010) así como con las variedades progenitoras (Grant et al, 2012). Sin embargo, creemos que es importante aplicar y vincular el estudio de la plasticidad fenotípica y relaciones hídricas conjuntamente para dar ciertas soluciones frente a la problemática del agua y los cultivares de fresa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y diseño experimental: se seleccionaron 5 variedades de *Fragaria x ananassa*: “Fortuna” y “Primoris” que representaron el 33,75% y 16,28% respectivamente de los híbridos convencionales cultivados en Huelva en la temporada 2016/2017 (IFAPA, 2017). “Mara de bois” variedad con elevada presencia en los sistemas de producción ecológica en la región central del país. Un cultivar con más de 80 años de antigüedad, “Mieze schindler”. Una variedad “relocalizada”, cuya identificación está en proceso de estudio, que se lleva cultivando y propagándose localmente por algunos agricultores del Valle del Guadalhorce (Málaga) desde hace de más de 20 años. Y la variedad “Chepu”, como representante de *F. chiloensis* (progenitora). En el mes de octubre las plántulas se trasplantaron en macetas de 6 litros (80% sustrato universal, 15% turba de musgo, 5% perlita) y se aplicó $2,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ de Osmocote® (12% N; 8% P_2O_5 ; 12% K_2O). Se delimitaron dos parcelas experimentales, al aire libre, de $1,20 \times 3 \text{ m}$ y se aplicaron los tratamientos hídricos en bloque completos: tratamiento WW (sin déficit hídrico) y tratamiento WL (con déficit hídrico). Cada parcela se subdividió en 4 bloques y se asumió 4 réplicas por variedad (48 muestras en total). Las plantas se dejaron durante un período de tres meses de aclimatación con el sustrato a capacidad de campo. **Riego y tratamientos:** las dosis del riego se hicieron en relación a los valores de evapotranspiración (ETc). Se incorporó el 100% del agua evapotranspirada a las

parcelas control (WW) y el 60% a las parcelas tratamiento (WL). Los valores de ETC se calcularon *in situ* gravimétricamente a partir de la diferencia de peso de las macetas control después del riego a capacidad de campo y antes del siguiente evento de riego. La frecuencia del riego en la etapa vegetativa fue de dos veces por semana. **Análisis de las relaciones hídricas:** se realizaron medidas en un ciclo diario (antes del amanecer, al mediodía y antes de la puesta del sol) de las variables fisiológicas que mejor información aportan sobre el estado hídrico de la planta. La conductancia estomática (g_s) fue medida con dos porómetros de hoja (SC-1 Leaf Porometer – Decagon Devices). El potencial hídrico (Ψ_f) se midió simultáneamente con una cámara de Scholander (modelo 670 – PMS Instrument Company). El CHR se llevó a cabo según Barrs et al (1962) a partir de 2 discos de hoja por muestra. **Análisis de la plasticidad fenotípica:** en las variables morfológicas se evaluó el peso seco de las hojas (LDMA) y el área foliar (LA), este último por análisis de imagen (ImageJ 1.50D). A partir de estas variables se calculó el área foliar específica (SLA). Se utilizaron los valores de al mediodía de las variables fisiológicas anteriormente nombradas. Además se hizo una extracción de los pigmentos fotosintéticos (Arnon, 1945) y se evaluó el rendimiento fotosintético con un miniPPM-300 (Ears Bv). La cuantificación de la plasticidad fenotípica se llevó a cabo aplicando el índice (IP) recogido en (Valladares et al., 2000) mediante la diferencia de medias de los valores registrados entre los dos ambientes y dividido por la media máxima alcanzada. **Análisis estadístico:** en el estudio de relaciones hídricas se utilizó una ANOVA de dos vías y se aplicó el test post hoc Tuckey donde hubo diferencias significativas. Como software estadístico y para la elaboración de gráficas se utilizó RStudio (3.4.4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relaciones hídricas

En general, el patrón de respuesta hídrica de las variedades de estudio se ajustó a lo esperado, con valores máximos de conductancia estomática y mínimos de potencial hídrico y contenido hídrico relativo al mediodía. Sin embargo, se observaron diferencias entre genotipos en la gestión de sus balances hídricos, especialmente entre la variedades de “Fortuna”, *F. chiloensis* y “Mieze schindle” en ambos tratamientos. En la Figura 1 se observa claramente como “Fortuna” es la variedad que presenta menor regulación del potencial hídrico de sus hojas, ya que sus valores caen a -1,54 MPa (WL) y -1,14 MPa (WW) sin que se observe un cierre estomático. Sin embargo, *F. chiloensis*, es capaz de mantener potenciales hídricos relativamente elevados en las mismas circunstancias ambientales, mostrando valores de -0,52 MPa (WL) y -0,38 MPa (WW) al mediodía y presentar también un elevado intercambio gaseoso. *F. chiloensis* mostró una mayor capacidad de suplir sus hojas con agua del suelo con mayor eficiencia que “Fortuna”, manteniendo en ambas condiciones de riego una elevada turgencia foliar.

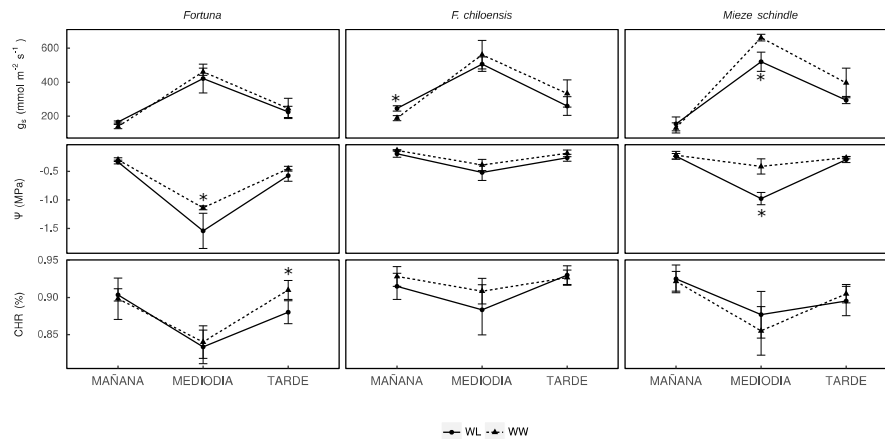


Figura 1. Valores de g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), Ψ_f (MPa), CHR (%) en las variedades: “Fortuna”, “F.chiloensis”, “Mieke schindle” en un ciclo diario. Franja horaria: Mañana (8.00-9.00), Mediodía (13.00-14.00), Tarde (17.00-18.00). Los * sobre las barras de error indican diferencias significativas ($P < 0,05$) en el test post hoc Tuckey. Los datos representan la media \pm la desviación típica.

En las tres franjas horarias, “Fortuna” y *F. chiloensis* mostraron diferencias significativas en los valores de potencial hídrico del tratamiento deficitario. “Mieke schindle” por su parte muestra un comportamiento de regulación hídrica intermedio entre “Fortuna” y *F. chiloensis*. Esto se corrobora usando como indicador la diferencia entre el potencial hídrico al amanecer y el del mediodía $\Delta\Psi_f$ ($\Psi_{PD} - \Psi_{min.}$). *F. chiloensis* presenta bajos $\Delta\Psi_f$, -026 MPa (WW) y -0,33 MPa (WL) en contraposición a los altos valores de $\Delta\Psi_f$ de “Fortuna” en ambos tratamientos -0,84 Mpa (WW) y -1,20 MPa (WL). En lo que se refiere a los valores de contenido hídrico relativo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos ni entre variedades. Los resultados apuntan a “Fortuna” como la variedad de estudio que presenta menor regulación del potencial hídrico, seguida de la variedad “Mieke schindle”. Estos resultados coinciden con los de Grant et al (2012) donde también existen claras diferencias en cuanto a la respuesta de déficit hídrico entre variedades de *Fragaria x ananassa* y *Fragaria chiloensis*, resultando ser esta última más resistente a déficits hídricos y posiblemente la que presente una mayor economía hídrica.

Plasticidad fenotípica

Los valores de plasticidad fenotípica fueron muy heterogéneos y con tendencias diferentes según la variable de estudio. Esto era lo esperado ya que la plasticidad fenotípica es específica de cada rasgo y de cada ambiente (Sultan, 2000). En general, los rasgos morfológicos presentaron un mayor grado de plasticidad fenotípica que los rasgos fisiológicos. La variedad “local” presentó un índice de plasticidad en las variables morfológicas, superior al resto, $IP = -0,56 \pm 0,14$ y destacó en el índice del área foliar con un $IP = -0,72$. Estos valores, junto con los recogidos en la tabla 1, indican que la variedad “local” disminuye de forma acusada el área foliar en circunstancias de déficit hídrico. Por el contrario, fueron las variedades “Mara des bois” y *F. chiloensis* las que tuvieron el índice medio más bajo, -0,01 y -0,03 respectivamente. En lo que se refiere a las variables fisiológicas, fue el potencial hídrico, seguido de la conductancia estomática, el que presentó mayor grado de plasticidad fenotípica en especial en la variedad “Mieke schindler” ($IP = 0,57$).

Tabla 1. Valores de plasticidad fenotípica de variables morfológicas y fisiológicas en las 6 variedades de estudio.
* Valores registrados al medio día.

Variable	<i>Fortuna</i>	<i>F. chilensis</i>	<i>Mieze schindler</i>	"Local"	<i>Primoris</i>	<i>Mara des bois</i>
Rasgos morfológicos						
LDM (g)	-0,40	-0,09	-0,34	-0,47	-0,28	0,09
LA (cm ²)	-0,37	-0,04	-0,27	-0,72	-0,25	-0,02
SLA (cm ² · g ⁻¹)	0,04	0,05	0,12	-0,48	0,05	-0,10
Rasgos fisiológicos						
g _s (mmol · m ⁻² · s ⁻¹) *	-0,087	-0,099	-0,214	-0,141	0,010	0,074
ψ _i (MPa) *	0,260	0,254	0,574	0,326	0,123	0,332
RWC *	-0,009	-0,027	0,028	-0,027	0,046	0,001
θp (%)*	-0,0911	0,0173	-0,0140	-0,1402	-0,0370	-0,0721
Clorofilas totales (g · g ⁻¹)	-0,015	0,127	-0,120	-0,159	0,178	-0,038
Carotenos (g · g ⁻¹)	-0,02	0,13	-0,12	-0,16	0,18	-0,04

Esto, unido con los resultados de relaciones hídricas, pone de manifiesto que "Mieze schindler" probablemente presente una mayor capacidad de aclimatación a la disponibilidad hídrica. A nivel general, los valores de plasticidad fenotípica fueron bajos en todos los rasgos estudiados. La variedad "local" fue la que tuvo a nivel morfológico una marcada plasticidad fenotípica y en la variedad "Mieze schindler" destacó la plasticidad del potencial hídrico.

CONCLUSIONES

La baja regulación hídrica que mostró la variedad comercial "Fortuna" frente a la elevada resistencia de su progenitora al déficit hídrico y los valores intermedios de "Mieze schindler" es un reflejo de que los programas de mejora de fresa están encaminados a la productividad, con variedades que presentan una escasa respuesta frente a situaciones de estrés hídricos debido a la posible pérdida de rasgos vinculados con una mayor eficiencia en el uso del agua. La plasticidad fenotípica fue muy diferente entre variedades y entre rasgos funcionales, siendo mayor en las variables morfológicas. "Mieze schindler" fue la variedad que presentó mayor grado de plasticidad fisiológica y la "local" mayor plasticidad morfológica indicando una mayor capacidad de aclimatación a la disponibilidad hídrica. Esto nos permite detectar qué rasgos son más útiles a la hora de evaluar la respuesta frente a un escenario de déficit hídrico y qué variedades presentan una respuesta más plástica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de una beca predoctoral del Plan Propio de Investigación y Transferencia de la Universidad de Málaga y por parte de la financiación procedente del proyecto AGL2014-55784-C2-1-R.

BIBLIOGRAFÍA

- Arnon, D.I.** (1945). Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in beta vulgaris. Plant physiology, 24(1):1-15.
- Barrs, H.D and Weatherley, P.E.** (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Sciences. 15: 413-428.
- FAO.** (2011). Segundo plan de acción mundial para los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Roma, FAO.
- IFAPA** (2017). Distribución varietal en el cultivo de fresa en Huelva. Campaña 2016/2017.
- International Assessment of Agricultural Knowledge.** (2009). Agr. at a Crossroads. Global Report Chs. 1-4.
- PCC,** 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. doi:10.1017/CBO9781107415324
- FAOSTAT.** (2016). Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (Consultado 01/05/2018).

- Fundación Doñana 21**, (2006). Disponible en: <http://www.donana.es/wp-content/uploads/2013/01/Manual-Buenas-practicas-agrarias-sostenibles.pdf>
- Grant, O. M.**, Davies, M. J., Johnson, A. W., Simpson, D. W. (2012). Physiological and growth responses to water deficits in cultivated strawberry (*Fragaria x ananassa*) and in one of its progenitors, *Fragaria chiloensis*. Environmental and experimental botany, 68(3), 264-272.
- Lande, R.** (2009). Adaptation to an extraordinary environment by evolution of phenotypic plasticity and genetic assimilation. J. Evol. Biol. 22: 1435-1446.
- Martínez-Ferri, E.**, Ariza, M. T., Domínguez, P., Medina, J. J., Miranda, L., Muriel, J. L., ... & Soria, C. (2014). Malone, N. (Ed.), Strawberries: Cultivation, Antioxidant Properties and Health Benefits. Nova Science Publishers, New York, pp. 1–20
- Nicotra, A.B**, Atkin, O.K., Bonser, S.P., Davidson, A.M., Finnegan, E.J., Mathesius, U., Poot, P., Purugganan, M.D., Richards, C.L, Valladares, F., Kleunen, M van. (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. Trends in plant science. 15: 684-692.
- Rambal, S. and Debussche, G.** (1995). Water balance of mediterranean ecosystems under a changing climate. 386-407. En: J. M. Moreno and W. C. Oechelt, edit. Global change and Mediterranean type ecosystems. Springer Verlag, New York.
- Sultan, S.E.** (2000). Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. Trends in Plant Science. 5:537-542.
- Tscharntke T.**, Clough Y., Wanger T.C., Jackson L., Motzke I., Perfecto I., Vandermeer J., Whitbread A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. Biological Conservation, 151:53-59.
- Valladares, F.** Aranda, I. and Sánchez-Gómez, D. (2004). La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. En: F. Valladares (ed.), Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante: 335-370. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.