



BIOLOGÍA FLORAL Y EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE TRES HÍBRIDOS DE *PORTULACA UMBRATICOLA* (PORTULACACEAE)

Floral biology and agronomic evaluation of three hybrids of *Portulaca umbraticola* (Portulacaceae)

Ayerin Carrodegua González¹, Andrés Zúñiga Orozco^{2*} & José Manuel Retana Vindas³

Resumen: *Portulaca umbraticola* es una planta ornamental de la familia Portulacaceae muy utilizada en jardinería. El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad polínica, receptividad estigmática y comportamiento agronómico de tres híbridos de *Portulaca umbraticola* obtenidos en el 2021, Tekila Sunset, Coral Lipstick y Star Blush, en comparación a cultivares comerciales de color rosa, amarillo y naranja de Vigrow Seeds®. Se tomaron mediciones en cinco variables cuantitativas y cinco cualitativas para la evaluación agronómica. La viabilidad polínica y receptividad estigmática se evaluaron mediante la tinción con carmín acético al 1% y peróxido de hidrógeno respectivamente. Se obtuvieron diferencias significativas en las variables cuantitativas ($p \leq 0,05$), siendo los cultivares comerciales los de mayor magnitud. Los cultivares de menor y mayor cantidad de polen viable fueron Coral Lipstick y Tekila Sunset con 17,4% y 91,6%, respectivamente. Hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en cuanto a cultivares, horarios e interacción cultivar \times horarios para la receptividad estigmática, la cual fue mayor en el rango de 11:00-3:00 p. m. para la mayoría de los cultivares. Se obtuvieron híbridos agronómicamente adaptados con patrones de coloración novedosos para el mercado ornamental. En futuros programas de mejoramiento se recomienda tomar como parentales masculinos los de mayor viabilidad polínica y realizar las polinizaciones en el rango horario donde el estigma se encuentra más receptivo.

Palabras clave: Biología reproductiva, estigma, híbridos, polen, *Portulaca umbraticola*.

Summary: *Portulaca umbraticola* is an ornamental plant of the Portulacaceae family widely used in gardening. The objective of this study was to evaluate the pollen viability, stigmatic receptivity and agronomic behavior of three hybrids of *Portulaca umbraticola* obtained in 2021, Tekila Sunset, Coral Lipstick and Star Blush in comparison to commercial cultivars pink, yellow and orange from Vigrow Seeds®. Measurements were taken in five quantitative and five qualitative variables for the agronomic evaluation. Pollen viability and stigmatic receptivity were evaluated using 1% acetic carmine staining and with hydrogen peroxide, respectively. Significant differences were obtained in the quantitative variables ($p \leq 0,05$), with the commercial cultivars being the largest. In terms of pollen viability, the cultivars with the lowest and highest amount of viable pollen were Coral Lipstick and Tekila Sunset with 17,4% and 91.6%, respectively. There were significant differences ($p \leq 0,05$) in terms of cultivars, timing and cultivar \times timing interaction for stigmatic receptivity, which was greater in the range of 11:00-3:00 p. m. for most cultivars. Agronomically adapted hybrids with novel coloring patterns were obtained for the ornamental market. In future breeding programs, it is recommended to take as male parents those with the highest pollen viability and carry out pollinations in the time range where the stigma is most receptive.

Key words: Hybrids, pollen, *Portulaca umbraticola*, reproductive biology, stigma.

¹ Investigadora independiente en Mejoramiento Genético Vegetal, Costa Rica. E-mail: ayerim2009@gmail.com

² Carrera de Agronomía y Laboratorio de Estrategias en Mitigación y Adaptación al Cambio Climático (EMA-Lab). Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica (UNED). Sabanilla de Montes de Oca, San José, Costa Rica. *E-mail: azunigao@uned.ac.cr

³ Centro de Inteligencia en Biodiversidad de Curridabat (CITBIO). Lomas de Ayarco, Curridabat, San José, Costa Rica. E-mail: jose.retana@curridabat.gob.cr

Introducción

Portulaca umbraticola Kunth es una especie de la familia Portulacaceae ampliamente utilizada en jardinería como planta en maceta y para paisajismo (Sandí *et al.*, 2022). Es nativa del continente americano y presenta inflorescencias terminales compuestas por una a seis flores de dos a cinco centímetros de diámetro que usualmente presentan colores muy atractivos (Rodríguez, 2014).

El mejoramiento genético en el género *Portulaca* L. es realizado actualmente en su mayoría mediante técnicas convencionales como hibridación interespecífica e intraespecífica. Para obtener híbridos con caracteres deseables es recomendable planificar los cruzamientos en función de las características que se quieren obtener y la potencialidad de los progenitores. Para elegir parentales de *Portulaca* se deben tener en cuenta aspectos relacionados con la flor, como número de flores por planta, tamaño y color de la flor, además de características relacionadas con el vigor y porte de la planta, puesto a que son muy utilizadas como plantas para maceta. Además, aspectos básicos de la biología floral se deben conocer, tal es el caso de la viabilidad del polen y la receptividad estigmática.

Para la planificación de cruzamientos, es deseable, que las plantas que se utilicen como parental masculino, presenten una alta viabilidad polínica para asegurar el éxito de las polinizaciones. Asimismo, es de gran importancia conocer el momento del día en que el estigma de la planta utilizada como parental femenino se encuentra más receptivo (García *et al.*, 2015). En una flor madura lista para la polinización, los estigmas presentan gran actividad de enzimas peroxidadas, por lo cual se utiliza el peróxido de hidrógeno para comprobar, mediante la producción de burbujeo, la presencia de actividad peroxidasa (McInnis *et al.*, 2006).

Conocer la viabilidad del polen de una especie es esencial para el mejoramiento genético y de los cultivos (Dafni & Firmage, 2000). Este parámetro se puede evaluar mediante técnicas *in vivo* e *in vitro*, siendo los métodos *in vitro* más utilizados por su bajo costo y rapidez. Una de las técnicas más utilizadas para estimar la viabilidad de polen es la tinción con carmín acético. Este colorante tiñe los granos de polen de color rojo

uniforme cuando la membrana citoplasmática y el contenido citoplasmático se encuentran íntegros, por tanto, los granos de polen sin teñir o pobremente teñidos se consideran no viables (Lagos *et al.*, 2005).

En el género *Portulaca*, han sido previamente estudiadas las características morfológicas de los granos de polen. Por ejemplo, Kim (2013) examinó patrones de variación en los granos de polen de diez especies de "portulaca" en Hawái. Miyajima (2006) estudió, en *Portulaca oleracea* L., la germinación de los granos de polen sobre la superficie estigmática y, como resultado, encontró un alto porcentaje de germinación (>90%).

En cuanto al comportamiento agronómico, existen muy pocos estudios en el género *Portulaca*, la mayoría de ellos relacionados con la especie *P. oleracea*, debido a sus diversos usos en la industria alimenticia, farmacéutica y para la alimentación animal (Gonnella *et al.*, 2010). Sin embargo, en el caso de *P. umbraticola*, cuya importancia recae sobre su uso ornamental, los estudios de este tipo son casi nulos.

En Costa Rica se desarrolla actualmente un programa de mejoramiento genético en el género *Portulaca* por parte de la Universidad Estatal a Distancia y el Centro de Inteligencia en Biodiversidad (CITBIO). Como parte de este programa se obtuvieron tres híbridos de *P. umbraticola* con características novedosas descritos por Sandí *et al.* (2022), los cuales pueden ser utilizados como ornamentales, pero también como parentales para la planificación de futuros cruzamientos y la obtención de nuevos genotipos.

Es de gran importancia para el seguimiento de este programa de mejora hacer una evaluación del potencial de estos genotipos como parentales para futuros cruzamientos. Debido a lo anterior, el objetivo de esta investigación es evaluar la viabilidad polínica, receptividad estigmática y comportamiento agronómico en tres híbridos de *P. umbraticola*.

Materiales y Métodos

Ubicación y duración del estudio

La evaluación de la receptividad estigmática y viabilidad de polen se realizó en los

laboratorios del Centro Universitario de la Universidad Estatal a Distancia (UNED) en Cartago, Costa Rica. Coordenadas geográficas: 9°51'9" N y 83°55'26" W.

La evaluación agronómica se realizó en el Centro de Inteligencia en Biodiversidad (CITBIO), en el cantón de Curridabat de la provincia de San José en Costa Rica, entre los meses de julio y agosto de 2023. Coordenadas geográficas: 9°54'42" N y 84°02'02" W.

El Valle Central de Costa Rica, donde se ubican las dos localidades donde se realizó el estudio, se caracteriza por presentar un clima tropical húmedo modificado por la altura, con temperaturas entre los 16-26 °C, humedad

relativa entre los 70-90% y precipitaciones cercanas a los 2000 mm por año (IMN, 2023). La altura a la que se realizó el estudio es de aproximadamente 1244 m s.n.m.

Material vegetal

El material vegetal evaluado consiste en tres híbridos de *P. umbraticola* obtenidos por Sandí *et al.* (2022) mediante cruzamientos intraespecíficos: Coral Lipstick, Tekila Sunset y Star Blush. Se tomaron como testigos los cultivares comerciales de semilla mixta comercializados por Vigrow Seeds® con la flor de color naranja, amarillo y rosa los cuales se obtuvieron en los viveros de la zona (Fig. 1).

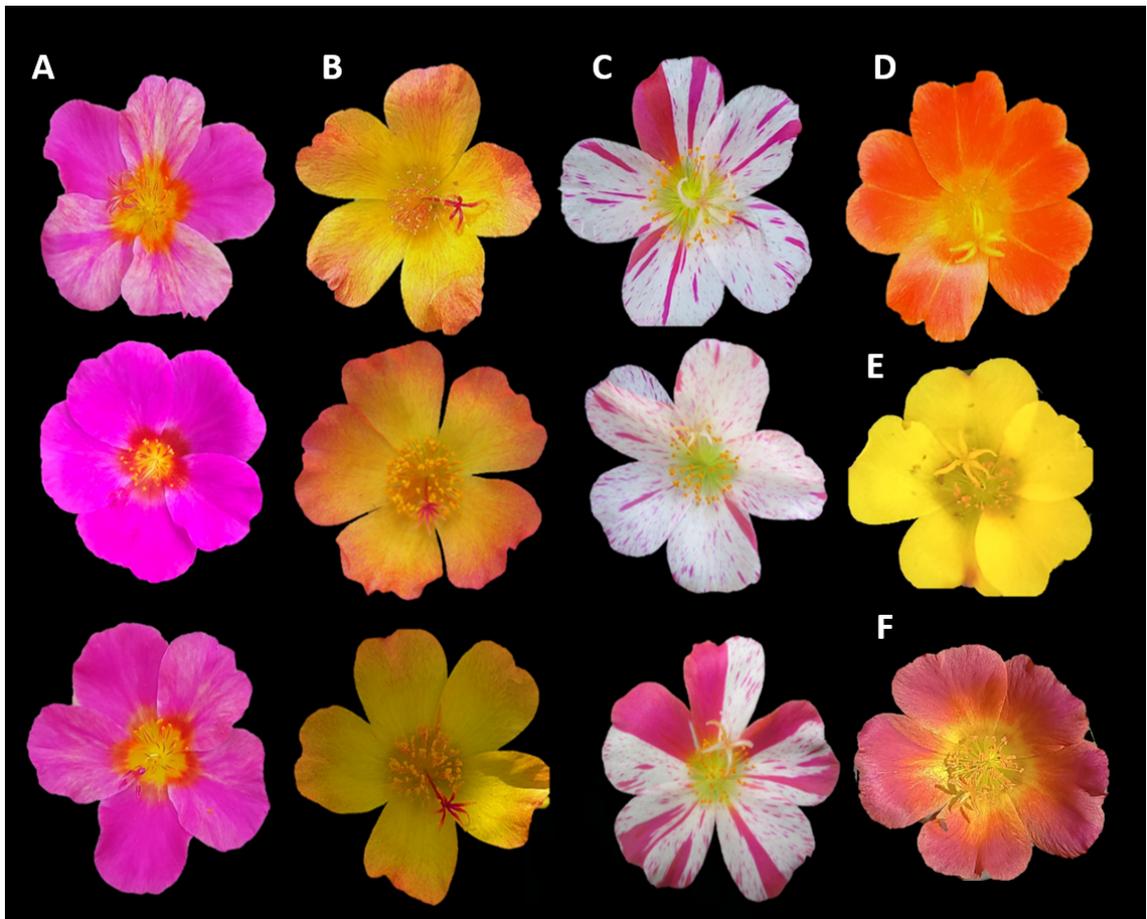


Fig. 1. Variaciones de coloración en las flores del material vegetal evaluado en el experimento. A: Híbrido Coral Lipstick. B: Híbrido Tekila Sunset. C: Híbrido Star Blush. D: Testigo comercial naranja. E: Testigo comercial amarillo. F: Testigo comercial rosa.

Evaluación agronómica

Para la evaluación agronómica se utilizaron esquejes de un mismo tamaño de los seis cultivares de *P. umbraticola* (Coral Lipstick, Tekila Sunset, Star Blush, Naranja comercial, Rosa comercial y Amarillo comercial). Los esquejes se plantaron el 12 de junio en bolsas plásticas de 15 cm de altura y 15 cm de diámetro. Se regaron una vez por semana y no se aplicaron fertilizantes ni productos químicos. Se siguió un diseño completamente aleatorizado con 10 plantas por tratamiento, los cuales consisten en los genotipos, para un total de 60 plantas. A los dos meses de montado el experimento, se tomaron las siguientes variables cuantitativas:

- Número de flores (NF): se contó el número de flores abiertas a los 60 días de plantados los esquejes en bolsas.
- Diámetro de la flor (DF): se midió con calibre (pie de rey) y se promedió el diámetro de tres flores por planta elegidas al azar.
- Ancho del pétalo (AP): se midió con calibre (pie de rey) el ancho de un pétalo de tres flores que se eligieron al azar.
- Longitud de las ramas (LR): se midió con regla la longitud de tres ramas de cada planta elegidas al azar.
- Diámetro de planta (DP): se midió el diámetro de las plantas con una cinta métrica.

También se tomaron las siguientes variables cualitativas: color principal de la flor (CPF), color secundario de la flor (CSF), forma de la hoja (FH), porte de la planta (PP) y presencia de variegación en las hojas (PVH).

Evaluación de la viabilidad polínica

Para la evaluación de la viabilidad polínica se utilizaron plantas en maceta de los mismos cultivares descritos anteriormente. Se regó una vez por semana y no fueron aplicados fertilizantes ni productos químicos.

Se siguió un diseño completamente aleatorizado donde se utilizaron tres plantas de cada híbrido y de los testigos comerciales, para lo cual se colectaron tres flores por planta, para un total de nueve flores por cultivar. La viabilidad de polen se evaluó mediante el método de tinción con acetocarmín a la concentración del 1%.

Para efectuar el método de tinción con acetocarmín, se colocaron dos muestras de polen de una misma flor en portaobjetos diferentes y se le agregó una gota de acetocarmín. Pasado 10 minutos, las muestras fueron aplastadas cuidadosamente con el cubre objeto para que el polen fuera liberado de las anteras y facilitar el conteo. Posteriormente, se observaron los granos de polen con un microscopio óptico en un aumento de 40x (Fig. 2). Se realizó el conteo de granos de polen viables y no viables (inviables) en tres campos de cada muestra para un total de 54 campos por cultivar.

Evaluación de la receptividad estigmática

Para evaluar receptividad estigmática se utilizaron las mismas plantas en maceta del experimento de viabilidad polínica. La receptividad estigmática se estudió durante el transcurso del día en los siguientes horarios: 9:00 a. m., 11:00 a. m., 1:00 p. m., y 3:00 p. m. Se empleó el método de Osborn *et al.* (1988) que se basa en la reacción de la enzima peroxidasa al colocar una gota de peróxido de hidrógeno al 40% sobre los estigmas de las flores. La producción de burbujas indica si el estigma está receptivo. Para lo anterior se utilizaron tres flores de cada planta en cada horario, para un total de 36 flores por cultivar. Las observaciones se realizaron con un microscopio estereoscópico a un aumento de 60x.

Para medir el grado de receptividad estigmática se utilizó una escala propuesta por Bazzo *et al.* (2018) con modificaciones, donde se tomaron tres niveles de burbujeo, 1: poco receptiva; 2: medianamente receptiva y 3: muy receptiva (Fig. 3).

Análisis estadístico

Las variables cuantitativas de la evaluación agronómica se analizaron mediante estadística descriptiva. Se realizó una prueba de Shapiro-Wilks y de Kolmogorov-Smirnov donde se evidenció normalidad de los datos. Posteriormente, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) con un $\alpha=0,05$ (95% de confianza) y una prueba de separación de medias DMS. A las variables cualitativas se les realizó un análisis de chi-cuadrado.

En el ensayo de viabilidad de polen se realizó una transformación de datos a una escala angular, debido a que, los datos se recopilaron en

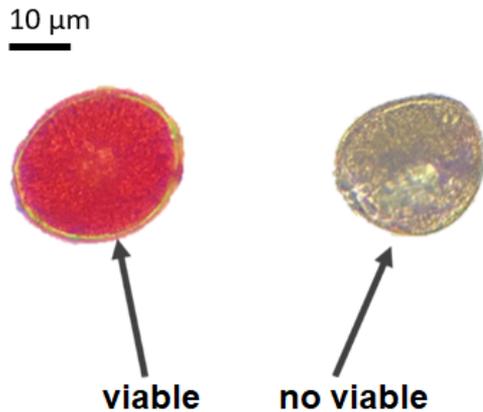


Fig. 2. Tinción con acetocarmín de polen de *Portulaca umbraticola*.

porcentajes. Tanto los datos de viabilidad de polen como receptividad estigmática, se analizaron por una prueba no paramétrica (Kruskal Wallis) con un $\alpha=0,05$ (95% de confianza). Posteriormente, para la separación de las medias, se realizó una prueba de medias de rangos. Todos los análisis anteriores se realizaron en el programa Infostat® versión 2021.

Resultados

Caracteres agronómicos

La estadística descriptiva de las variables cuantitativas por genotipo se muestra en la

Tabla 1. Se observa que independientemente del genotipo hay altos coeficientes de variación en las variables número de flores, diámetro de planta y longitud de ramas (excepto en el genotipo Coral).

En cuanto a las variables cuantitativas se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$). El genotipo que produce mayor cantidad de flores es el de color amarillo comercial y el de menor cantidad el Coral. En cuanto a las variables diámetro de flor, ancho del pétalo, diámetro de planta y longitud de ramas, el genotipo naranja comercial obtuvo los mayores valores y el Coral los menores valores (Fig. 4).

En la Fig. 5 se presenta la frecuencia relativa de las categorías de las variables cualitativas presentes en cada genotipo. Para las variables color principal de la flor y color secundario de la flor, todos los cultivares presentaron colores cálidos. El genotipo Star Blush resalta por la presencia de tres colores en su flor. Otro resultado importante es que el genotipo naranja presentó color amarillo en el centro de la flor. El 100% de las plantas presentaron hojas de tipo obovada y todos los cultivares, excepto el amarillo, tuvieron portes semirastrero. En cuanto a la variegación en hojas solo se presentó en el cultivar Coral.

Las variables cualitativas presentaron diferencias significativas en la prueba de chi-cuadrado (Tabla 2). Es decir, hubo diferencias entre cultivares en cuanto a color principal de la flor, color secundario de la flor, porte de planta y presencia de variegación en hojas. No

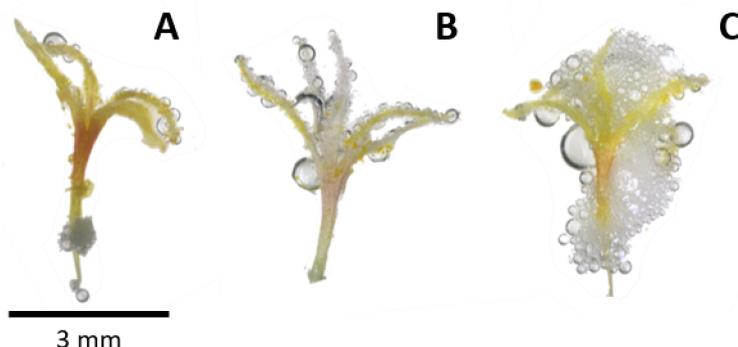


Fig. 3. Escala utilizada para la evaluación de receptividad estigmática en *Portulaca umbraticola*. A: Poco receptiva (1). B: Medianamente receptiva (2). C: Muy receptiva (3).

Tabla 1. Estadística descriptiva de los genotipos evaluados en cuanto a variables cuantitativas relacionadas con el mercado ornamental.

Genotipo	Variable	Media	Min.	Máx.	Desv. estándar	Error estándar	Coefficiente Variación
Coral Lipstick	AP	0,6	0,5	0,6	0,1	0,1	12,9
Coral Lipstick	DF	1,6	1,5	1,6	0,1	0,1	4,6
Coral Lipstick	DP	20,7	10	32	6,8	2,2	32,9
Coral Lipstick	LR	12	6,3	17	3	0,9	24,6
Coral Lipstick	NF	1	1	1	0	0	0
Star Blush	AP	0,9	0,7	1,4	0,2	0,1	22,6
Star Blush	DF	2	1,8	2,4	0,2	0,1	10,1
Star Blush	DP	53,1	45	62	4,9	1,6	9,3
Star Blush	LR	25,7	21,3	36	4,5	1,4	17,5
Star Blush	NF	8,7	3	20	5,1	1,6	59,1
Tekila Sunset	AP	0,8	0,6	0,9	0,1	0	13,6
Tekila Sunset	DF	1,8	1,5	2,3	0,3	0,1	14,1
Tekila Sunset	DP	54,5	30	75	13,8	4,4	25,3
Tekila Sunset	LR	27,8	15,3	38,3	6,8	2,1	24,3
Tekila Sunset	NF	8,8	3	33	9,5	3	107,8
Amarillo	AP	1,1	1	1,3	0,1	0	9,1
Amarillo	DF	2,2	2	2,4	0,2	0,1	6,9
Amarillo	DP	46,3	38	58	6	2	13
Amarillo	LR	29,4	19,3	36	5,2	1,7	17,7
Amarillo	NF	26,4	14	35	5,5	1,8	20,8
Naranja	AP	1,4	1,1	2,1	0,3	0,1	20,1
Naranja	DF	2,5	2,1	3	0,3	0,1	10,4
Naranja	DP	56,7	33	92	17,9	5,7	31,5
Naranja	LR	31,7	17	40	7,4	2,4	23,5
Naranja	NF	12,1	5	20	6,1	1,9	50,4
Rosa	AP	1,3	0,9	1,9	0,3	0,1	23,4
Rosa	DF	2,3	1,7	2,6	0,3	0,1	13
Rosa	DP	50,7	34	67	11,2	3,7	22,1
Rosa	LR	27,5	21	37,3	5,4	1,8	19,5
Rosa	NF	17	3	53	16	5,3	94,3

Referencias: AP: Ancho del pétalo (cm). DF: Diámetro de la flor (cm). DP: Diámetro de planta (cm). LR: Longitud de las ramas (cm). NF: Número de flores (unidades).

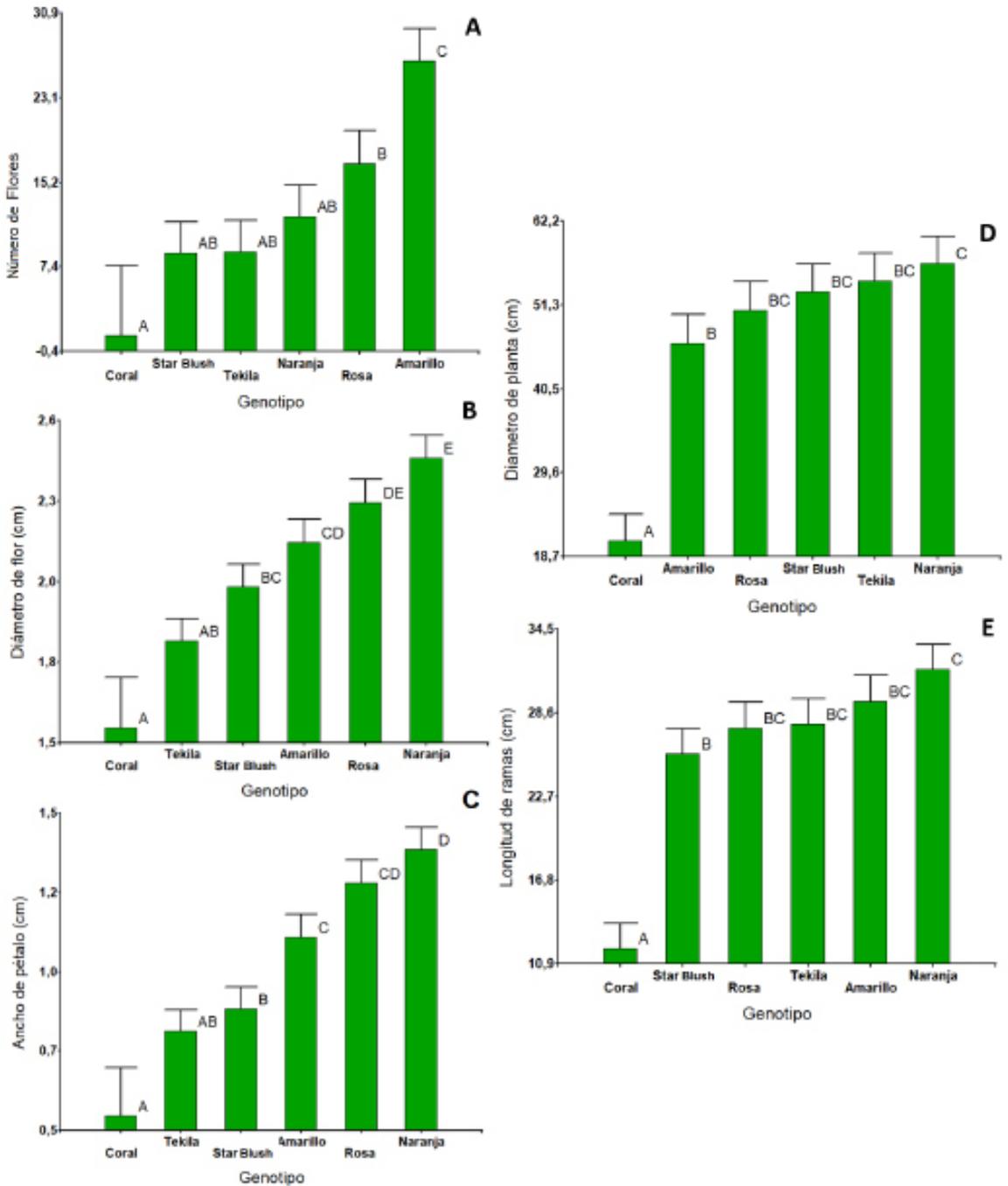


Fig. 4. Análisis de las variables cuantitativas realizadas en la evaluación agronómica de los genotipos seleccionados. A: Número de flores (unidades). B: Diámetro de flor (cm). C: Ancho de pétalo (cm). D: Diámetro de planta (cm). E: Longitud de ramas (cm). Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

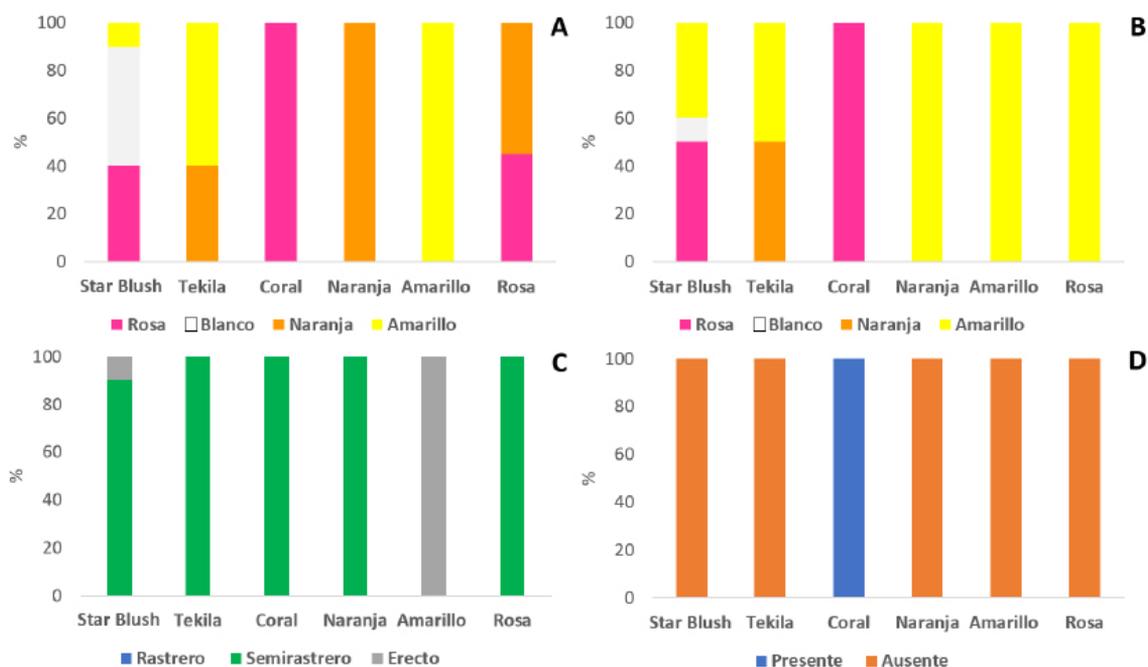


Fig. 5. Frecuencias relativas de cada categoría en cada variable cualitativa presente según el genotipo evaluado. A: Color principal de la flor (CPF). B: Color secundario de la flor (CSF). C: Porte de la planta (PP). D: Presencia de variegación en las hojas (PVH).

se presentaron diferencias en la variable forma de hojas.

Biología reproductiva: viabilidad del polen y receptividad estigmática

Para la viabilidad de polen se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,0001$) (Tabla 3). Los cultivares con menor viabilidad polínica fueron: Coral Lipstick y

Naranja Comercial con un promedio de 17,4% y 23,5% respectivamente. Con una viabilidad polínica media se encontró el genotipo Star Blush con un promedio de 46,1% y, por último, los cultivares con mayores porcentajes fueron Amarillo con un valor promedio de 75,5%, Rosa con 84,9% y Tekila Sunset con 91,6%.

Tabla 2. Valor de la prueba chi-cuadrado, grados de libertad y probabilidad en la evaluación de las variables cualitativas efectuada en la evaluación agronómica en los genotipos seleccionados.

Variable	Valor	gl	p
Color principal	80,2	15	$\leq 0,0001$
Color secundario	52,1	15	$\leq 0,0001$
Forma de hojas	0	5	$> 0,99$
Porte de planta	51,7	5	$\leq 0,0001$
Presencia de variegación en hojas	58	5	$\leq 0,0001$

Tabla 3. Resultados de la prueba de rangos Kruskal-Wallis para la viabilidad de polen de tres híbridos y tres cultivares comerciales de *Portulaca umbraticola*. Medias con una letra distinta denotan diferencias significativas ($p < 0,0001$).

Híbridos/Cultivares	Media	Rango
Coral Lipstick	17,3 A	36,4
Star Blush	46,1 B	86,1
Tekila Sunset	91,6 C	147,6
Amarillo	75,5 C	167,7
Naranja	23,5 A	45,2
Rosa	84,9 C	166,6

Para la variable receptividad estigmática se observaron diferencias significativas para los horarios, cultivares e interacción entre horarios y cultivares ($p < 0,0001$; $p < 0,0096$ y $p < 0,0001$). La Tabla 4 refleja los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis y de rangos para la separación de medias en el caso de la interacción de los cultivares con los horarios estudiados. Los tratamientos con menor receptividad estigmática fueron Tekila Sunset a las 9:00 a. m. y Coral Lipstick a las 9:00 a. m. con un valor promedio de 1. Los tratamientos con mayor receptividad del estigma fueron Naranja Comercial a las 11:00 a. m. y Star Blush a la 1:00 p. m.

De forma general se observó que el cultivar Coral Lipstick tuvo una baja receptividad estigmática en los cuatro horarios analizados mientras que los cultivares Naranja, Amarillo, Rosa Comercial y Star Blush mostraron valores entre altos y medios para todos los horarios. En el caso de Tekila Sunset, el porcentaje de estigmas receptivos varió mucho en función del horario.

El horario en el cual se observó una baja receptividad del estigma para la mayoría de los cultivares fue a las 9:00 am. Para los horarios de 11:00 a. m., 1:00 p. m. y 3:00 p. m., el comportamiento de esta variable dependió del cultivar.

Para los cultivares Coral Lipstick, Naranja Comercial y Tekila Sunset el horario de mayor receptividad fue a las 11:00 a. m. mientras que para el cultivar Amarillo, Star Blush fue a la 1:00 p. m. y Rosa a las 3:00 p. m. El horario con menor número de estigmas receptivos para los cultivares Coral Lipstick, Tekila Sunset y Star Blush, Rosa y Amarillo fue a las 11:00 a. m. mientras que para el cultivar Naranja Comercial fue a la 1:00 p. m.

Discusión

Los cultivares de *Portulaca umbraticola* resaltan en jardinería por su floración, siendo el número de flores, el atributo más importante para su valor ornamental. En un programa de mejoramiento genético de plantas ornamentales, es importante seleccionar cultivares con flores más grandes y un mayor número de flores por planta (Datta, 2021). La floración en las

Tabla 4. Resultados de la prueba de rangos de Kruskal-Wallis para la receptividad estigmática de tres híbridos y tres cultivares comerciales de *Portulaca umbraticola*, medida en cuatro horarios diferentes. Medias con una letra distinta denotan diferencias significativas ($p < 0,0001$).

Trata. m.iento	Media	Rango
Coral Lipstick 9:00 a. m.	1	A 35
Coral Lipstick 11:00 a. m.	1,56	ABCD 80,83
Coral Lipstick 1:00 p. m.	1,22	AB 53,33
Coral Lipstick 3:00 p. m.	1,44	ABC 71,67
Tequila Sunset 9:00 a. m.	1	A 35
Tequila Sunset 11:00 a. m.	2,33	DEFG 137,5
Tequila Sunset 1:00 p. m.	1,5	ABCD 76,25
Tequila Sunset 3:00 p. m.	2	BCDEFG 110
Star Blush 9:00 a. m.	1,89	BCDEF 103,33
Star Blush 11:00 a. m.	2,11	CDEFG 121,67
Star Blush 1:00 p. m.	2,67	G 162,5
Star Blush 3:00 p. m.	1,89	BCDEFG 108,33
A. m.arillo 9:00 a. m.	1,56	ABCD 79,17
A. m.arillo 11:00 a. m.	1,89	BCDEF 106,67
A. m.arillo 1:00 p. m.	2,22	DEFG 130,83
A. m.arillo 3:00 p. m.	2,11	CDEFG 123,33
Naranja 9:00 a. m.	2	CDEFG 115,83
Naranja 11:00 a. m.	2,56	FG 155
Naranja 1:00 p. m.	1,89	BCDEF 105
Naranja 3:00 p. m.	2,33	EFG 140
Rosa 9:00 a. m.	1,67	ABCDE 86,67
Rosa 11:00 a. m.	1,78	BCDE 97,5
Rosa 1:00 p. m.	1,78	BCDE 99,17
Rosa 3:00 p. m.	1,89	BCDEFG 108,33

plantas depende de factores genéticos y señales ambientales como fotoperiodo y temperatura (García *et al.*, 2020). En caso del género *Portulaca*, Rodríguez (2014) observó que el grosor del esqueje utilizado para reproducción en *Portulaca oleracea* afectaba la floración de manera que plantas obtenidas a partir de un esqueje menor a 5 mm florecían más rápido y más abundantes que las plantas obtenidas a

partir de esquejes más gruesos.

En el presente experimento, para evitar el efecto de los factores ambientales, se trató de que todos los esquejes utilizados fueran de igual tamaño y diámetro. Además, todos los tratamientos se sometieron a las mismas condiciones ambientales de modo que las diferencias en el número de flores en los tratamientos se deben principalmente a las características genéticas de los cultivares utilizados.

De forma general, los cultivares comerciales presentaron un mayor número de flores que los híbridos. Se infiere que la hibridación intraespecífica incluyó negativamente la floración en este experimento. Podría presentarse una variación en la cantidad de flores durante el periodo de crecimiento, no obstante, a los dos meses es considerado el momento idóneo para ser llevadas al mostrador para su venta y por ello se hizo la medición en este momento.

La presencia de flores llamativas es una cualidad esencial para que una planta ornamental sea considerada como atractiva para decorar un espacio. Guamán (2015) menciona también que, una de las principales características que hace una flor atractiva es su tamaño. En el presente experimento, los cultivares comerciales presentaron flores con mayor diámetro que los híbridos. De Freitas *et al.* (2022) caracterizaron cinco accesiones de *P. umbraticola* con potencial ornamental en programas de mejoramiento genético; obtuvieron valores de diámetro de la flor entre 1,66 cm y 2,58 cm, los cuales son muy parecidos a los obtenidos en el presente estudio para los cultivares comerciales.

Los pétalos suelen ser las partes más distintivas y visibles de la flor, que presentan un papel importante en la función planta-polinizador y además en la parte estética de las flores (Baum & Whitlock, 1999). En *Portulaca* las flores de pétalos anchos generalmente son de mayor tamaño y más compactas por lo cual resultan más atractivas. En el presente estudio, los cultivares comerciales presentaron pétalos más anchos que los híbridos.

En cuanto a la variable diámetro de la planta y longitud de las ramas, los cultivares Star Blush, Tekila Sunset, Amarillo, Naranja y Rosa

comercial presentaron valores altos en relación al promedio. Estos cinco cultivares pueden ser utilizados como plantas para canchales y borduras ya que presentan numerosas ramas largas y anchas, permitiendo llenar espacios vacíos en el jardín o espacios al aire libre (Souza *et al.*, 2023). Por otro lado, el cultivar Coral Lipstick es ideal para el cultivo en macetas debido a que son plantas más compactas con un tamaño reducido que permite su mejor adaptación al tamaño de la maceta. Adate *et al.* (2023) encontraron que plantas de porte pequeño y compacto son idóneas para la jardinería, especialmente para jardines verticales. Además, reportaron que una especie de *Portulaca* presentó un establecimiento idóneo debido a su adaptación a condiciones de sequía presentes en verano.

El color de las flores es un rasgo esencial para determinar el valor de una planta ornamental, además de que es importante en la ecología para la atracción de polinizadores (Xie *et al.*, 2023). Las flores multicolor en el género *Portulaca* destacan y constituyen un rasgo novedoso en el cultivo puesto que los cultivares comerciales generalmente son de un solo color. Los híbridos Star Blush y Tekila Sunset presentaron dos colores en una misma flor, lo que les confiere un valor agregado. Según Carrodeguas-González *et al.* (2022) los colores que predominan en las flores son rasgos importantes para el mercado ornamental. Los colores preferidos por los consumidores son los cálidos como el amarillo, naranja y rojo, seguidos de los colores fríos como el morado y azul, y, por último, los neutros y tonos pasteles. En este caso, tanto híbridos como testigos presentaron flores con colores cálidos.

En el género *Portulaca* predominan dos tipos de hojas, las hojas obovadas en el caso de las especies *P. oleracea* y *P. umbraticola* y las hojas cilíndricas para el caso de *P. pilosa* L. y *P. grandiflora* Hook. Encontrar hojas diferentes a las clásicas obovadas en cultivares de *P. umbraticola* significaría una novedad. En el caso de las plantas estudiadas, todas presentaron el tipo de hoja obovada.

La variegación en las hojas es un fenómeno que se caracteriza por variaciones de color, particularmente en tejidos normalmente verdes, lo que lleva a cambios en los parámetros

fotosintéticos y los factores de reflectancia; generalmente ocurre por la combinación de factores genéticos y ambientales (Mekapogu *et al.*, 2023). Este suceso en las plantas tiene importantes funciones biológicas en la reproducción y su adaptación al medio ambiente. Además, las plantas variegadas han despertado gran interés en el mercado ornamental (Zhang *et al.*, 2020). En el presente estudio se observó variegación en las hojas solo en el cultivar Coral Lipstick, el cual, debido a esta característica no muy común en *Portulaca*, eleva su potencial ornamental.

Respecto a los parámetros genéticos, la viabilidad de polen es uno de los factores de gran importancia para elegir las mejores especies o cultivares que se pueden utilizar como donadoras de polen en un programa de mejora genética (Baba *et al.*, 2020). Como parentales masculinos para realizar cruzamientos, lo ideal es elegir cultivares con una alta viabilidad polínica, para ahorrar tiempo y recursos. Por dicha razón, los estudios de viabilidad polínica, son de gran importancia para incrementar la eficiencia de las hibridaciones, sobre todo en las condiciones de Costa Rica, donde el clima cálido y húmedo puede afectar intensamente este parámetro (Carrodeguas-Gonzalez & Zúñiga-Orozco, 2023).

De los híbridos estudiados en la presente investigación, el que presentó un valor alto de viabilidad polínica fue el Tekila Sunset, junto al testigo comercial Rosa y Amarillo. El resto de los cultivares mostraron valores bajos de viabilidad polínica. En un estudio realizado en Hawái por Kim y Carr (1990) se analizaron parámetros de la biología reproductiva de ocho especies y dos cultivares de *Portulaca*. Obtuvieron valores altos de viabilidad de polen (85%-99%) para las ocho especies, utilizando el método de azul de anilina. Sin embargo, los cultivares analizados mostraron una baja capacidad de tinción, lo que sugiere la posibilidad de un origen híbrido. Sólo el 33% de los granos de polen de los cultivares se mantuvieron teñidos y los granos abortados generalmente estaban muy reducidos en tamaño y retraídos.

En un estudio realizado por Miyajima (2006), en *Portulaca oleracea* se determinó una alta viabilidad polínica (mayor a 90%)

utilizando el método de germinación *in vitro* con el colorante acetocarmín. También, Dos Santos (2010), estudió la viabilidad polínica en *P. grandiflora* con el uso de acetocarmín al 1% de concentración y obtuvo valores altos (mayores a 80%). De forma general, los estudios reportados en la literatura manifiestan que las especies del género *Portulaca* presentan valores elevados en la viabilidad polínica. Sin embargo, en la presente investigación, los valores fueron bajos para la mayoría de cultivares, por lo cual se puede inferir que tienen un origen híbrido y los bajos valores pueden estar relacionados con distribuciones desiguales de cromosomas durante la meiosis. Otro factor que pudo incidir en la baja viabilidad polínica de nuestro estudio es la alta humedad relativa presente durante el periodo de medición junto a las abundantes precipitaciones.

De los híbridos estudiados el de mayor potencial como parental masculino para la mejora genética es Tekila Sunset, pues cuanto mayor es la viabilidad del polen de un genotipo, habrá mayores posibilidades de que las flores sean polinizadas y como resultado se presenta mayor cuaje y cantidad de semilla.

La receptividad estigmática es otro de los factores a tener en cuenta en un programa de mejora genética. En determinadas etapas del ciclo floral, la receptividad puede tener un impacto considerable en el porcentaje de éxito de la polinización. Por lo tanto, estudiar el horario en que la receptividad estigmática es mayor, debe incluirse en los ensayos de mejoramiento o en operaciones de polinización (Baptiste & Fang, 2023). Los estudios de evaluación de la receptividad del estigma son indispensables para estimar el mejor momento para la polinización, lo que ayuda a controlar con éxito la fertilización (Jyoti *et al.*, 2023). Según un estudio de biología reproductiva realizado por Wickramasinghe *et al.* (2009) en *Portulaca umbraticola*, se observó que el estigma se volvía receptivo aproximadamente una hora después de la antesis.

Dos Santos (2010), estudió la receptividad estigmática en *P. grandiflora*. El estigma permaneció receptivo durante todos los horarios analizados, o sea, desde las 7:00 a. m. hasta las 6:00 p. m. Los estigmas receptivos

se caracterizaron por una alta actividad enzimática que se verificó con el uso de peróxido de hidrógeno al 3% de concentración. En esta investigación también se observó el estigma receptivo durante todos los horarios estudiados, pero la intensidad de burbujeo varió. Se observó que para todos los cultivares, las 9:00 a. m. no es un buen momento del día para realizar polinizaciones debido a los bajos valores de receptividad estigmática. Para los cultivares Coral Lipstick, Naranja Comercial y Tekila Sunset el mejor horario para realizar polinizaciones es a las 11:00 am. Sin embargo, para el cultivar Amarillo y Star Blush se aconseja realizar polinizaciones a la 1:00 p. m. y para el Rosa a las 3:00 p. m.

Conclusiones

La floración fue mayor en los cultivares comerciales, pero los cultivares híbridos tuvieron coloraciones y patrones más atractivos.

Los cultivares Tekila Sunset, Rosa comercial y Amarillo comercial fueron quienes presentaron mayor viabilidad polínica, por lo que son considerados candidatos idóneos como parentales masculinos en términos de asegurar la cantidad de polinizaciones efectivas en un programa de mejora genética. El mejor rango horario para realizar polinizaciones en *P. umbraticola* es de 11:00 a. m. a 3:00 p. m., ya que, el estigma se encuentra más receptivo y esto asegura la germinación de los granos de polen.

Agradecimientos

Un agradecimiento al Centro de Gestión de Cambio y Desarrollo Regional (CGCDR): Centro Universitario de Cartago. UNED, Costa Rica. Lo anterior por facilitar los laboratorios para la concreción de este estudio. Al Programa de Laboratorios (PROLAB) de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales (ECEN) de la Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica, por suplir de algunos materiales y el mantenimiento de los equipos de laboratorio. Al Centro de Inteligencia en Biodiversidad (CITBIO) de la Municipalidad de Curridabat, Costa Rica por la facilitación

de sus instalaciones para realizar la evaluación agronómica, así como el personal de campo para la toma de datos.

Bibliografía

- BABA, N. M., BALOGUN, S. T., ODEY, F. C., DADA, K. E., IDRISU, M., UGIORO, O. & OYELEDUN, K. O. (2020). Evaluation of pollen viability and in vitro pollen germination in relation to different maturity stages of flowers in kola (*Cola nitida*). *Global Scientific Journal* 8: 516-525.
- BAZZO, S. I., ESPEJO, J. R., PALOMINO, A. C., FLORES, P. F., CHANG, L. M., LÓPEZ, B. C. & MANSILLA, S. R. (2018). Estudios de biología floral, reproductiva y visitantes florales en el “loche” de Lambayeque (*Cucurbita moschata* Duchesne). *Ecología Aplicada* 17: 205-191. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i2.1239>
- BAPTISTE, F. & JONG-YI, F. (2023). Study on pollen viability and stigma receptivity throughout the flowering period in the selected taxa of the Gesneriaceae family. *Folia Horticulturae* 35: 123-133
- BAUM, D. A. & WHITLOCK, B. A. (1999). Plant development: Genetic clues to petal evolution. *Current Biology* 9: 525-527.
- CARRODEGUAS-GONZALEZ, A. & ZÚÑIGA-OROZCO, A. (2023). Métodos utilizados para la selección de parentales en pre-mejoramiento genético de plantas. *Cultivos Tropicales* 43: e15.
- CARRODEGUAS-GONZÁLEZ, A., ZÚÑIGA-OROZCO, A., & ORTIZ-CRÚZ, M. V. (2022). Instrumento de valoración del potencial ornamental de la flora silvestre: Aplicación en orquídeas cubanas. *Avances en Investigación Agropecuaria* 25: 41-56. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.21.25.15>
- DAFNI, A. & FIRMAGE, D. H. (2000). Viabilidad y longevidad del polen: implicaciones prácticas, ecológicas y evolutivas. *Plant Systematics and Evolution*, 222: 113-132. <https://doi.org/10.1007/BF00984098>
- DATTA, S. K. (2021). Breeding of ornamentals: Success and technological status. *The Nucleus* 65: 107-128
- DE FREITAS, L. M., DOS SANTOS PESSOA, A. M., DO RÊGO, E., DOS SANTOS PESSOA, R. M., NOGUEIRA LIMA, E., DA SILVA RIBEIRO, J. E. & CAMPOS DE MAGALHÃES, C. H. (2022). Potencial ornamental de accesos de *Portulaca umbraticola* Kunth. VII Congresso brasileiro de recursos genéticos, Brasil. <https://anais.infobibos.com.br/cbrg/7/e-poster.html>

- DOS SANTOS, J. W. (2010). Sistema reproductivo de *Portulaca grandiflora* Hook. com vistas ao melhoramento vegetal. Tesis de Maestría, Universidad Estatal del suroeste de Bahía, Brasil. 135 pp.
- GARCÍA, B., QUIROZ, S., YUSTIS, J. C., MARTÍNEZ, T. GARAY-ARROYO, A., SÁNCHEZ, M. & ÁLVAREZ-BUYLLA, E. (2020). La regulación genética de la floración. Mensaje Bioquímico 44: 20-30
- GARCÍA, L., RIVERO, M. & DROPPELMANN, F. (2015). Descripción morfológica y viabilidad del polen de *Nothofagus nervosa* (Nothofagaceae). Bosque 36: 496-487. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000300015>
- GONNELLA, M., CHARFEDDINE, M., CONVERSA, G. & SANTAMARIA, P. (2010). Purslane: a review of its potential for health and agricultural aspects. The European Journal of Plant Science and Biotechnology 4: 131-136.
- IMN (2023). Clima del Valle Central de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/mapa> (Consulta 03/12/2023).
- JYOTI, C., KUMAR, R., RAJASEKHARAN, P. E., NAIR, S. A. & BHARATHI, T. U. (2023). Pollen germination and stigma receptivity in China aster (*Callistephus chinensis* Nees). International Journal of Pharmaceutical Science Invention 12: 01-03.
- KIM, I. & CARR, G. (1990). Reproductive Biology and Uniform Culture of *Portulaca* in Hawaii. Pacific Science 44: 123-129.
- KIM, I. (2013). Morphological Features of Pollen Grains in *Portulaca*. Applied Microscopy 43: 75-80. <https://doi.org/10.9729/AM.2013.43.2.75>
- LAGOS, T. C., CAETANO, C. M., VALLEJO, F. A., MUÑOZ, J. E., CRIOLLO, H. & OLAYA, C. (2005). Caracterización palinológica y viabilidad polínica de *Physalis peruviana* L. y *Physalis philadelphica* Lam. Agronomía Colombiana 23: 61-55.
- MCINNIS, S. M., EMERY, D. C., PORTER, R., DESIKAN, R., HANCOCK, J. T. & HISCOCK, S. J. (2006). The role of stigma peroxidases in flowering plants insights from further characterization of a stigma-specific peroxidases (SSP) from *Senecio squalidus* (Asteraceae). Journal of Experimental Botany 8: 1846-1835.
- MEKAPOGU, M., SONG, H. Y., LIM, S. H. & JUNG, J. A. (2023). Genetic engineering and genome editing advances to enhance floral attributes in ornamental plants: an Update. Plants 12: 3983. <https://doi.org/10.3390/plants12233983>
- MIYAJIMA, D. (2006) Seed Producing System in *Portulaca oleracea* L. Asian journal Journal of Plant Sciences 5: 226-232.
- RODRÍGUEZ, C. (2014). Estudio comparativo de la propagación y el efecto de la radiación lumínica, en una variedad comercial y una población natural de *Portulaca oleracea* L. Tesis de Grado, Universidad de Sevilla, España. 60 pp. <https://idus.us.es/handle/11441/72586>
- SANDÍ, H., ZÚÑIGA, A. & CARRODEGUAS, A. (2022). Obtención de híbridos de *Portulaca umbraticola* a través de cruzamientos convencionales. Revista FAVE-Ciencias Agrarias 2: 85-98. <https://doi.org/10.14409/fa.v21i1.11124>
- SOUZA, J. DA S., RÊGO, E. R. DO, FREITAS, N. DE S. S., PESSOA, A. M. DOS S., SILVA, P. D., & RÊGO, M. M. DO. (2023). Phenotypical characterization of *Portulaca umbraticola*: A non-conventional edible ornamental crop. Acta Scientiarum Agronomy 46: e62326. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v46i1.62326>
- WICKRAMASINGHE, P., HARRISON, D. & JOHNSTON, M. (2009). Reproductive biology and intergeneric breeding compatibility of ornamental *Portulaca* and *Calandrinia* (Portulacaceae). Australian Journal of Botany 57: 697-707. <https://doi.org/10.1071/BT09107>
- XIE, C., HU, C., DENG, X., SHAO, W., GAO, Y., HUANG, W., & SONG, X. (2023). Relación entre el color de las flores y los factores físico-químicos celulares en *Bletilla striata*. Horticulturae 9: 426. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040426>
- ZHANG, J. H., ZENG, J. C., WANG, X. M., CHEN, S. F., ALBACHC, D. & LI, H. Q. (2020). A revised classification of leaf variegation types. Flora 272: 151703.

