

¿Es *Alstroemeria pulchra* Sims var. *maxima* Phil. (Alstroemeriaceae) un miembro del complejo *A. magnifica* Herbert?: Estudio colorimétrico de los tépalos externos e internos de la flor*

Is *Alstroemeria pulchra* Sims var. *maxima* Phil. (Alstroemeriaceae) a member of the *A. magnifica* Herbert complex?: A colorimetric study of outer and inner flower tepals*

VÍCTOR L. FINOT^{1**}, CARLOS M. BAEZA², PEDRO MELÍN⁴, PATRICIO NOVOA³, JORGE CAMPOS¹, EDUARDO RUIZ², GLENDA FUENTES², PAULA ALBORNOZ⁴ & PEDRO CARRASCO²

¹Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile.

²Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Casilla 160-C, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

³Jardín Botánico Nacional, Viña del Mar, Chile.

⁴Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile.

**vifinot@udec.cl

RESUMEN

Alstroemeria pulchra var. *maxima* es un taxón endémico de Chile descrito por R.A. Philippi en 1864, cuya posición sistemática es controversial; aunque Bayer en 1987 transfiere este taxón a *A. magnifica* con el rango de subespecie, Muñoz & Moreira en 2003 retoman el concepto original de Philippi. Con el objetivo de proporcionar nuevos caracteres para decidir si *A. pulchra* var. *maxima* es un miembro del complejo *A. magnifica* o debe permanecer como una variedad de *A. pulchra* como fue originalmente descrita, se analizó el color de los tépalos externos, internos superiores e interno inferior, utilizando un espectrofotómetro colorímetro Hunterlab Colorquest. Se trabajó con flores de ocho poblaciones de *Alstroemeria* L. pertenecientes a estas dos especies endémicas de Chile: cinco poblaciones de *A. magnifica* Herbert y tres poblaciones de *A. pulchra* Sims. Las mediciones en el espacio CIELab permiten distinguir *A. magnifica* de *A. pulchra* sobre la base del color de los tépalos externos y del tépalo interno inferior, pero no por el color de los tépalos internos superiores. Se concluye que el color de la flor es un nuevo carácter que confirma que la var. *maxima* pertenece a *A. pulchra* y no al complejo *A. magnifica*.

PALABRAS CLAVE: CIELab, color de la flor, especies endémicas, Flora de Chile, tépalos.

ABSTRACT

Alstroemeria pulchra var. *maxima* is an endemic Chilean taxon described by R.A. Philippi in 1864, whose taxonomic position is controversial; even though Bayer in 1987 transferred this taxon to *A. magnifica* with the rank of subspecies, Muñoz & Moreira in 2003 return to the original concept proposed by Philippi. In order to provide a new character to decide if *A. pulchra* var. *maxima* is a member of the *A. magnifica* complex or must remain as a variety of *A. pulchra* as was originally described, the color of outer, upper inner and lower inner tepals of the flowers of eight populations of *Alstroemeria* L. belonging to these two endemic Chilean species were analyzed with a spectrophotometer colorimeter Hunterlab Colorquest: five populations of *A. magnifica* Herbert and three populations of *A. pulchra* Sims. CIELab coordinates allow to separate *A. magnifica* from *A. pulchra* on the basis of the color of the outer and lower inner tepals but not by the color of the upper inner tepals. We conclude that the color of the flower is a new character to confirm that var. *maxima* belong to *A. pulchra*, not to the *A. magnifica* complex.

KEYWORDS: CIELab, color of flowers, endemic species, Flora of Chile, tepals.

INTRODUCCIÓN

El género *Alstroemeria* L. (Alstroemeriaceae) es endémico de Sudamérica. Comprende unos 82 taxones desde Venezuela a Tierra del Fuego, con dos centros de distribución: Chile y

Brasil (Uphof 1952, Bayer 1987, Han *et al.* 2000, Muñoz & Moreira 2003, Ruiz *et al.* 2010, Chacón *et al.* 2012). En Chile existen unos 49 taxones distribuidos a lo largo de todo el país (20-53° S), aunque la mayor concentración de especies ocurre entre los 28° S y 37° S (Muñoz & Moreira 2003, Ruiz *et al.*

* Dedicamos este trabajo a la memoria del Prof. Clodomiro Marticorena Pairoa.

2010). Unos 42 taxones, esto es más del 80% de los taxones chilenos, son endémicos, la mayor parte con distribución geográfica muy restringida (Muñoz & Moreira 2003).

Las especies de *Alstroemeria* son hierbas perennes, rizomatozas, apreciadas por su valor ornamental (Rustanius *et al.* 1991, Buitendijk & Ramanna 1996, Buitendijk *et al.* 1997, Kashihara *et al.* 2011, Baeza *et al.* 2010, Ruiz *et al.* 2010). Varias especies chilenas son parentales de híbridos interespecíficos utilizados para el cultivo, entre las cuales podemos mencionar *A. aurea* Graham, *A. pelegrina* L., *A. ligtu* L., *A. pulchra* Sims y *A. magnifica* Herbet, entre otras (Ruiz *et al.* 2010).

La clasificación de las especies se basa en características de la inflorescencia, flor, tallo, hojas, frutos y rizomas (Bayer 1987, Han *et al.* 2000, Muñoz & Moreira 2003). Entre las características florales de valor taxonómico previamente consideradas se encuentran el tamaño de las piezas florales, el color de la base de los tépalos internos superiores y sus patrones de dibujos (máculas), la disposición de los tépalos externos, el ápice de los tépalos externos y el tamaño de los tépalos internos superiores respecto de los demás (Muñoz & Moreira 2003). Las flores de *Alstroemeria* son generalmente zigomorfas (muy raramente actinomorfas), trímeras y epíginas. Poseen un perigonio formado por 6 tépalos; los 3 tépalos externos son iguales entre sí tanto en tamaño como en color, mientras los tépalos internos superiores se distinguen del tépalo interno inferior por la forma, tamaño y color. Los tépalos internos superiores son más largos y angostos que el inferior, poseen complejos patrones de manchas, a menudo, sobre más de un color de fondo y poseen nectarios en la base; el tépalo interno inferior suele ser similar, en forma y color, a los tépalos externos (Sanso 1996). Caracteres anatómicos tienen también potencial valor taxonómico (Lyshede 2002).

Alstroemeria pulchra var. *maxima* Phil. es un taxón endémico de Chile descrito por R.A. Philippi en 1864, sobre la base de un espécimen que él había recolectado en 1860 en Cajón del Boldo, Aconcagua, Región de Valparaíso. El nombre varietal alude a su tamaño que puede superar 1,70 m de alto, con inflorescencias de hasta 20 cm de diámetro y grandes flores de ca. 10 cm de diámetro, de color lila (Fig. 1A-C). Muñoz & Moreira (2003) establecen su distribución entre el Cerro Pan de Azúcar (29°59' S, Región de Coquimbo) y Cuesta Lo Prado (33°28' S, Región Metropolitana).

Bayer (1987) considera que esta variedad es más cercana a *A. magnifica* Herbet que a *A. pulchra* y la transfiere con el rango de subespecie [*A. magnifica* subsp. *maxima* (Phil.) Bayer]. Posteriormente, Muñoz & Moreira (2003) en su libro sobre las *Alstroemerias* de Chile retoman el concepto original propuesto por Philippi (1864) para este taxón. Estos autores sostienen que el largo relativo de los tépalos internos superiores más largos y que sobresalen notoriamente de los demás, la hacen más afín a *A. pulchra*.

Alstroemeria magnifica es una especie endémica de Chile muy frecuente entre las regiones de Coquimbo y Valparaíso, perteneciente al clado chileno-central (Aeagesen & Sanso 2003). Se caracteriza por sus flores de color lila o

violáceo pálidas en los tépalos externos e interno inferior, mientras los tépalos internos superiores manifiestan un color blanco en la base, amarillo en la mitad superior y líneas de color púrpura, con una gran mancha purpúrea tanto en el ápice como en la base. Las flores de *A. magnifica* son especialmente hermosas y es una de las especies chilenas con flores más grandes. Su potencial como especie ornamental es enorme, como lo es en general para todo el género *Alstroemeria* (Kashihara *et al.* 2011, Assis 2004). De esta especie se han descrito varios taxones infraespecíficos: *Alstroemeria magnifica* var. *magnifica*, *A. magnifica* var. *sierrae* (Muñoz) Muñoz-Schick y *A. magnifica* var. *tofoensis* Muñoz-Schick, restringidas a la Región de Coquimbo, desde el litoral costero hasta los cerros de la Cordillera de la Costa (Muñoz & Moreira 2003) y *Alstroemeria magnifica* var. *magenta* (Ehr. Bayer) Muñoz-Schick, endémica de las regiones de Coquimbo y Valparaíso.

Por su valor ornamental, el estudio del color de las flores de *Alstroemeria* ha concitado la atención de varios autores (Saito *et al.* 1985, 1988, Norbaek *et al.* 1996, 1998, Kashihara *et al.* 2011). En el género *Alstroemeria* es posible encontrar flores blancas, amarillas, rosadas, anaranjadas, rojas y purpúreas (Bayer 1987); los tres últimos colores son producidos por antocianinas. En *Alstroemeria* se ha demostrado la existencia de 7 antocianinas (6-hidroxidelfinidina 3-rutinósido, 6-hidroxicianidina 3-rutinósido, cianidina 3-rutinósido, delfinidina 3-rutinósido, cianidina 3-malonilglucósido, 6-hidroxicianidina 3-malonilrutinosido y delfinidina 3-malonilglucósido), que la intensidad del color se relaciona positivamente con la concentración de estos pigmentos y que la co-pigmentación con flavonoides causa un cambio en los tonos azules, independiente de los pigmentos antocianínicos (Norbaek *et al.* 1996, 1998). Según Norbaek *et al.* (1996), las antocianinas más abundantes en *A. pulchra* var. *maxima* Phil. [y en *A. magnifica* Herbet subsp. *maxima* (Phil.) Bayer, tratada como un taxón diferente], son cianidina 3-rutinósido y cianidina 3-malonilglucósido, carácter que comparte con *A. magenta* Bayer (= *A. magnifica* var. *magenta*). Norbaek *et al.* (1996) otorgan valor taxonómico a la presencia de cianidina 3-malonilglucósido, dado que sólo 18 de las 28 especies estudiadas tienen la capacidad de producir estos pigmentos.

Aplicaciones taxonómicas de los análisis colorimétricos de las flores de *Alstroemeria* son virtualmente inexistentes, aunque han sido aplicados con este fin en otros grupos taxonómicos, como *Paeonia* (Wang *et al.* 2004), *Solanum* (Fajardo *et al.* 2008) y *Gerbera* (Hatamzadeh *et al.* 2012). No obstante, se ha sugerido que las antocianinas pueden ser utilizadas con propósitos taxonómicos en *Alstroemeria* (Norbaek *et al.* 1996). En el presente trabajo se analizó el color de los tépalos externos, internos superiores e interno inferior de *A. magnifica*, *A. pulchra* var. *pulchra* y *A. pulchra* var. *maxima* con el propósito de buscar nuevos caracteres que permitan aclarar la posición taxonómica de *A. pulchra* var. *maxima*.



FIGURA 1. Aspecto general de la inflorescencia y flor en el complejo *Alstroemeria magnifica*. A-C. *Alstroemeria pulchra* var. *maxima*. A. Uno de los autores (CMB) mostrando dos plantas recolectadas en Cuesta El Melón el 30 de noviembre de 2013. B. Inflorescencia. C. Flor. D. *Alstroemeria magnifica*. Flor fotografiada en bosque Santa Julia, Los Vilos. A-C de Patricio Novoa. D de Víctor Finot.

FIGURE 1. General aspect of the flower and inflorescence in the *Alstroemeria magnifica* complex. A-C. *Alstroemeria pulchra* var. *maxima*. A. One of the authors (CMB) showing two plants collected at Cuesta El Melón on November 30, 2013. B. Inflorescence. C. Flower. D. *Alstroemeria magnifica*. Flower photographed in Santa Julia wood, Los Vilos. A-C by Patricio Novoa. D by Victor L. Finot.

MATERIALES Y MÉTODOS

RECOLECCIÓN DE LAS FLORES

Flores de *Alstroemeria magnifica* y *A. pulchra* fueron recolectadas entre el 30 de octubre y el 1 de noviembre de 2013, en las regiones de Coquimbo y Valparaíso (Tabla I). Se estudiaron 8 poblaciones, 5 de *A. magnifica* y 3 poblaciones de *A. pulchra*. Las flores fueron conservadas húmedas en frío y transportadas al laboratorio para análisis colorimétrico.

ANÁLISIS COLORIMÉTRICO

Para el análisis de color, los tépalos de cada flor (10 flores por población, total 80 flores) fueron separados en tépalos externos ($n=240$), internos superiores ($n=160$), e interno inferior ($n=80$); el análisis se realizó en la zona media de la cara adaxial de tépalos frescos, utilizando al menos 5 flores por población, tomadas de distintos individuos. Se midió luminosidad (L^*) y los parámetros a^* y b^* de las coordenadas de color del espacio CIELab (Commission Internationale de l'Eclairage, 1978) en un espectrofotómetro colorímetro Hunterlab Colorquest; se

utilizó el promedio de 3 mediciones sucesivas. L* representa la claridad o luminosidad relativa de los colores en una escala de 0 a 100, donde valores bajos indican oscuro y valores altos indican luz en sucesiva escala de grises hasta llegar al color blanco (100); los valores positivos de a* indican rojo y los valores negativos indican verde en tanto el parámetro b* tiene valores negativos para azul y positivos para amarillo. El valor C* (croma o saturación) se calculó como $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ y el valor h (tono, hue) fue calculado como $\arctg(b^*/a^*)$ (Sacks & Shaw 1994, Wang *et al.* 2001, 2004). Croma representa la intensidad de un color, de modo que valores bajos indican opacidad (más cercano al gris) y valores altos representan brillantez (más cercanos al color puro). El valor de tono o matiz (h) representa

una posición en la escala cromática. La diferencia total en color entre los taxones estudiados (ΔE) se calculó por la expresión: $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ (Bañón *et al.* 2002).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para determinar si la posición de las poblaciones estudiadas en el espacio CIElab determinado por los parámetros a* y b* (Fig. 2) es significativamente distinta se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon para $P < 0,05$. La posición de los grupos a lo largo de los ejes a* y b* se representó como gráficos de caja y bigote (Fig. 2). Los datos colorimétricos fueron sometidos a análisis de componentes principales. La matriz de datos comprendió 8 OTUs correspondientes a las poblaciones incluidas en el estudio y 15 variables (a*, b*, L*, C*, h por tépalos externos,

TABLA I. Taxones estudiados, localidades y fechas de recolección.

TABLE I. Studied taxa, localities and collection dates.

TAXÓN	NÚMERO DE RECOLECCIÓN**	LOCALIDAD	FECHA
<i>A. magnifica</i>	4379	IV Región. Provincia de Choapa. Comuna de Los Vilos. Bosque Santa Julia, fundo Agua Amarilla, 31°49' S, 71°30' W, 110 m.	31/10/13
<i>A. magnifica</i>	4380	IV Región. Provincia de Choapa. Comuna de Los Vilos, entre quebrada El Negro y Los Vilos, 31°57' S, 71°29' W, 138 m.	31/10/13
<i>A. magnifica</i>	4381	IV Región. Provincia de Choapa. Fundo Palo Colorado, 5 km al norte de Puente Quilimarí, frente al Cerro Tentén, 32°05' S, 71°30' W, 80 m.	1/11/13
<i>A. magnifica</i>	4383	V Región. Provincia de Petorca. Comuna La Ligua. 2 km al sur de Los Molles, 32°14' S, 71°29' W, 37 m.	1/11/13
<i>A. magnifica</i>	4375	IV Región. Provincia de Coquimbo. Caleta Hornos, 29°37' S, 71°17' W, 41 m.	30/10/13
<i>A. pulchra</i> var. <i>maxima</i>	4385	V Región. Provincia de Petorca. Comuna La Ligua. Cuesta El Melón, desde el norte al sur, 32°35' S, 71°14' W, 340 m.	1/11/13
<i>A. pulchra</i> var. <i>maxima</i>	4382	V Región. Provincia de Petorca. Los Molles, en sitios eriazos de la calle Gabriela Mistral 1438 y aldeaño, 32°14' S, 71°31' W, 35 m.	1/11/13
<i>A. pulchra</i> var. <i>pulchra</i>	4384	V Región. Provincia de Petorca. Comuna La Ligua. Los Hornos, Huequén al interior, 32°14' S, 71°20' W, 206 m.	1/11/13

** C. Baeza, V.L. Finot, P. Novoa, P. Carrasco & C. Bastías

internos superiores e internos inferiores) (Tabla II). El análisis de componentes principales se realizó sobre la base de datos estandarizados y se calculó un coeficiente de correlación cofenética (rcc); la posición de los grupos a lo largo de los dos primeros componentes se representó en gráficos de caja y bigote. Para determinar si la posición de los grupos delimitados a lo largo de los dos primeros componentes es significativamente distinta se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon para $P < 0,05$. Se realizó análisis de regresión lineal simple entre los parámetros CIElab; se entrega el coeficiente de regresión ajustado (raj2) y la curva de regresión (Fig. 3). La variabilidad de los caracteres colorimétricos en *A. magnifica* y *A. pulchra* se analizó mediante gráficos de caja y bigote. Todos los análisis se realizaron utilizando el programa Infostat v. 2013 (Di Rienzo *et al.* 2013).

RESULTADOS

Los valores de los parámetros a*, b*, luminosidad (L*), croma (C*) y tono (h) se muestran en la Tabla II. Los espectros de reflectancia de los tépalos externos, internos superiores e internos inferiores de las ocho poblaciones estudiadas se muestran en la Figura 4. La distribución de las poblaciones analizadas en el espacio determinado por los parámetros a* (verde/rojo), b* (azul/amarillo) se muestra en la Figura 2. Las diferencias en el color de los tépalos entre los taxones estudiados se muestran en la Tabla III. La variabilidad de los caracteres colorimétricos entre *A. pulchra* y *A. magnifica* se muestra en la Figura 5. Los valores de a* de los tépalos externos, internos superiores e interno inferior fueron siempre positivos, indicando predominancia del color rojo. Los valores de b* de tépalos externos e internos inferiores

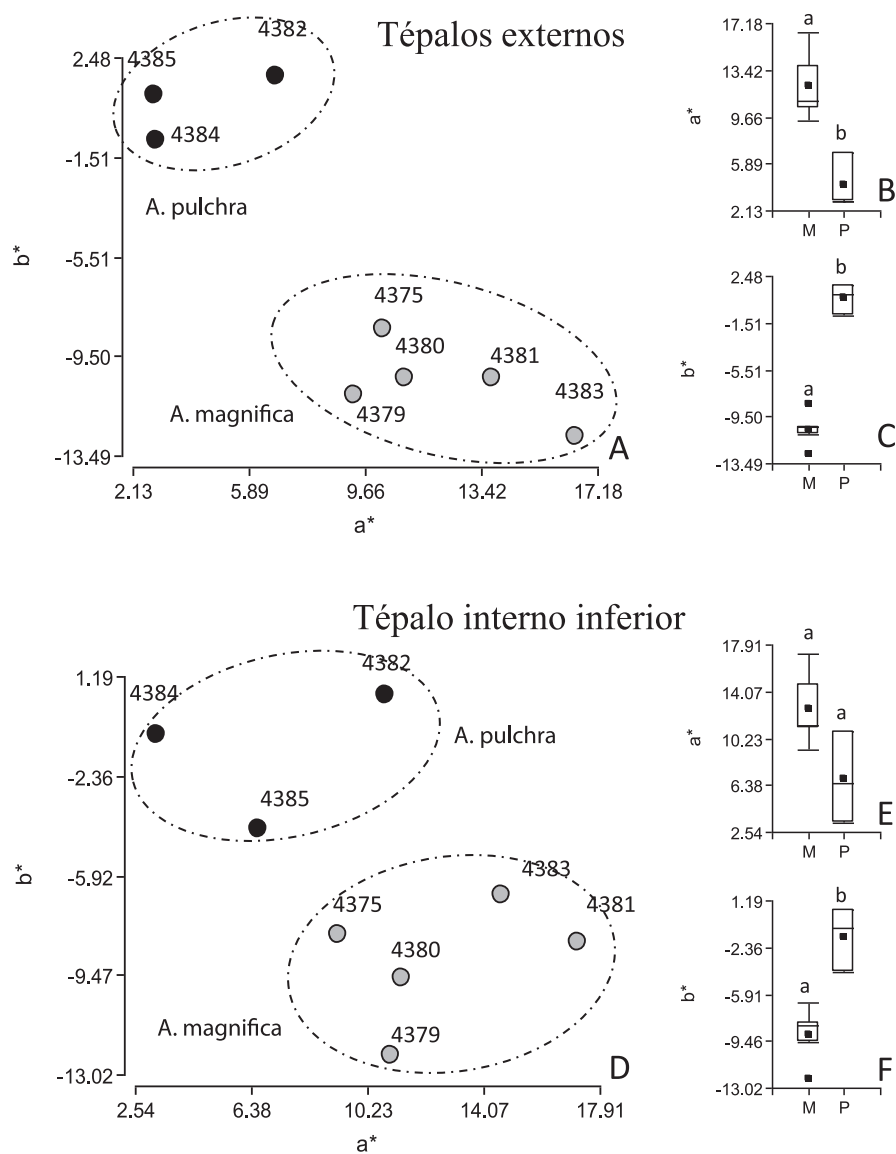


FIGURA 2. Distribución de los taxones estudiados en el espacio CIELab determinado por las coordenadas a^* y b^* . A-C. Tépalos externos. D-F. Tépalos internos inferiores. Los rótulos corresponden a las poblaciones como se indica en la Tabla I. ● = *A. magnifica*; ● = *A. pulchra*.

FIGURE 2. Distribution of the studied taxa in the CIELab space determined by the coordinates a^* and b^* . A-C. Outer tepals. D-F. Lower inner tepal. Labels correspond to populations as indicated in Table I. ● = *A. magnifica*; ● = *A. pulchra*.

fueron negativos o cercanos a cero, indicando predominancia del color azul. Los tépalos internos superiores presentaron, en cambio, valores de b^* positivos debido a la presencia de color amarillo. La Fig. 4 muestra las regresiones lineales significativas para los tépalos externos. Las restantes regresiones así como aquellas de los tépalos internos superiores e inferiores no fueron significativas. Se observa correlaciones negativas entre a^* y b^* , C^* y b^* , h^* y C^* y correlaciones positivas entre C^* y a^* , h^* y b^* .

En todos los casos, los parámetros considerados separan ambos grupos de especies. A medida que a^* aumenta b^* disminuye, lo que implica que en *A. magnifica* hay una combinación de colores azul y rojo mayor que la que presenta *A. pulchra* (Fig 4A) al tiempo que disminuye la saturación (Fig. 4C), dando un aspecto más pálido a *A. pulchra* en comparación con *A. magnifica*. A su vez, la saturación del color rojo es mayor en *A. magnifica* que en *A. pulchra* (Fig. 4B).

TABLA II. Medidas colorimétricas de los tépalos externos, internos superiores e interno inferior de *Alstroemeria magnifica*, *A. pulchra* var. *pulchra* y *A. pulchra* var. *maxima*.

TABLE II. Colorimetric measurements of the outer tepals, upper inner tepals and lower inner tepal of *Alstroemeria magnifica*, *A. pulchra* var. *pulchra* and *A. pulchra* var. *maxima*.

TAXÓN	Nº RECOLECCIÓN	L*	a*	b*	C*	h
TÉPALOS EXTERNOS						
<i>A. magnifica</i>	4379	45,74	9,32	-11,08	14,47	-0,87
<i>A. magnifica</i>	4380	48,19	10,92	-10,42	15,09	-0,76
<i>A. magnifica</i>	4383	48,87	16,50	-12,76	20,85	-0,65
<i>A. magnifica</i>	4381	33,92	13,80	-10,41	17,28	-0,64
<i>A. magnifica</i>	4375	50,66	10,27	-8,44	13,29	-0,68
<i>A. pulchra</i> var. <i>maxima</i>	4385	56,85	2,81	0,93	2,95	0,31
<i>A. pulchra</i> var. <i>maxima</i>	4382	55,89	6,78	1,75	7,00	0,25
<i>A. pulchra</i> var. <i>pulchra</i>	4384	52,09	2,90	-0,85	3,02	-0,28
TÉPALOS INTERNOS SUPERIORES						
<i>A. magnifica</i>	4379	40,92	11,66	16,51	20,21	0,95
<i>A. magnifica</i>	4380	42,87	8,65	21,07	22,77	1,18
<i>A. magnifica</i>	4383	37,52	9,36	30,35	31,76	1,27
<i>A. magnifica</i>	4381	43,03	7,18	20,44	21,66	1,23
<i>A. magnifica</i>	4375	48,44	4,60	28,77	29,13	1,41
<i>A. pulchra</i> var. <i>maxima</i>	4385	55,81	5,81	6,75	8,90	0,86
<i>A. pulchra</i> var. <i>maxima</i>	4382	40,26	7,38	31,83	32,67	1,34
<i>A. pulchra</i> var. <i>pulchra</i>	4384	42,98	7,07	14,33	15,97	1,11
TÉPALOS INTERNOS INFERIORES						
<i>A. magnifica</i>	4379	45,30	10,99	-12,37	16,54	-0,84
<i>A. magnifica</i>	4380	52,52	11,34	-9,57	14,83	-0,70
<i>A. magnifica</i>	4383	47,62	14,64	-6,60	16,05	-0,42
<i>A. magnifica</i>	4381	26,82	17,21	-8,28	19,09	-0,44
<i>A. magnifica</i>	4375	57,64	9,26	-8,06	12,27	-0,71
<i>A. pulchra</i> var. <i>maxima</i>	4385	56,20	6,60	-4,25	7,85	-0,57
<i>A. pulchra</i> var. <i>maxima</i>	4382	42,23	10,82	0,54	10,83	0,04
<i>A. pulchra</i> var. <i>pulchra</i>	4384	51,89	3,24	-0,93	3,37	-0,27

TÉPALOS EXTERNOS

Los espectros de los tépalos externos muestran dos máximos de reflectancia, uno entre los 440 y 480 nm (azul-violeta) y otro entre 620 y 700 nm (rojo) (Fig. 4). En *A. magnifica* los tépalos externos presentaron valores de a* que fluctúan entre 9,32 y 16,50 mientras en *A. pulchra* a* fluctuó entre 2,81 y 6,78. Para *A. magnifica* b* fluctuó entre -12,76 y -8,44 mientras en *A. pulchra* varió de -0,85 a 1,75 (Tabla II). Los valores mayores de a* y menores de b* presentados por *A. magnifica* se manifiestan en el color violáceo más intenso de *A. magnifica* en comparación con *A. pulchra* de color más blanquecino. Los valores de croma C* son también mayores en *A. magnifica* (13,29-20,85) que en *A. pulchra* (2,95-7,00) mientras la luminosidad L* es menor en *A. magnifica* (33,92-50,66) que en *A. pulchra* (52,09-56,85), por lo que los tépalos de *A. pulchra* aparecen más cercanos al blanco en comparación con los de *A. magnifica*. En el espacio CIELab determinado por los parámetros a* y b*, *A. pulchra* var. *maxima* (poblaciones 4382 y 4385) presentó valores más cercanos a *A. pulchra* var.

pulchra (4384) que a las poblaciones de *A. magnifica* (Fig. 2A, 3A). Las poblaciones de *A. pulchra* se distribuyen en el extremo positivo del eje b* y negativo del eje a*, mientras *A. magnifica* lo hace hacia el extremo positivo del eje a* y negativo del eje b*. Ello se debe a la mayor concentración de pigmentos rojos y azules de *A. magnifica* en comparación con *A. pulchra* que contiene mayor cantidad de pigmentos amarillos y verdes. La mayores diferencias totales (ΔE) en el color de los tépalos externos ocurren entre *A. magnifica* y *A. pulchra* var. *pulchra* (17,04) y las menores diferencias ocurren entre *A. pulchra* var. *maxima* y *A. pulchra* var. *pulchra* (4,51) (Tabla III). Las diferencias entre *A. magnifica* y *A. pulchra* var. *maxima* se deben principalmente al parámetro b*, indicando que los tépalos externos de *A. magnifica* son comparativamente más azules que los de *A. pulchra* var. *maxima* y al parámetro a* que sugiere que *A. magnifica* presenta tépalos externos relativamente más rojos que *A. pulchra* var. *maxima*. Ambas especies se separan significativamente a lo largo de ambos ejes (Fig. 2 B-C).

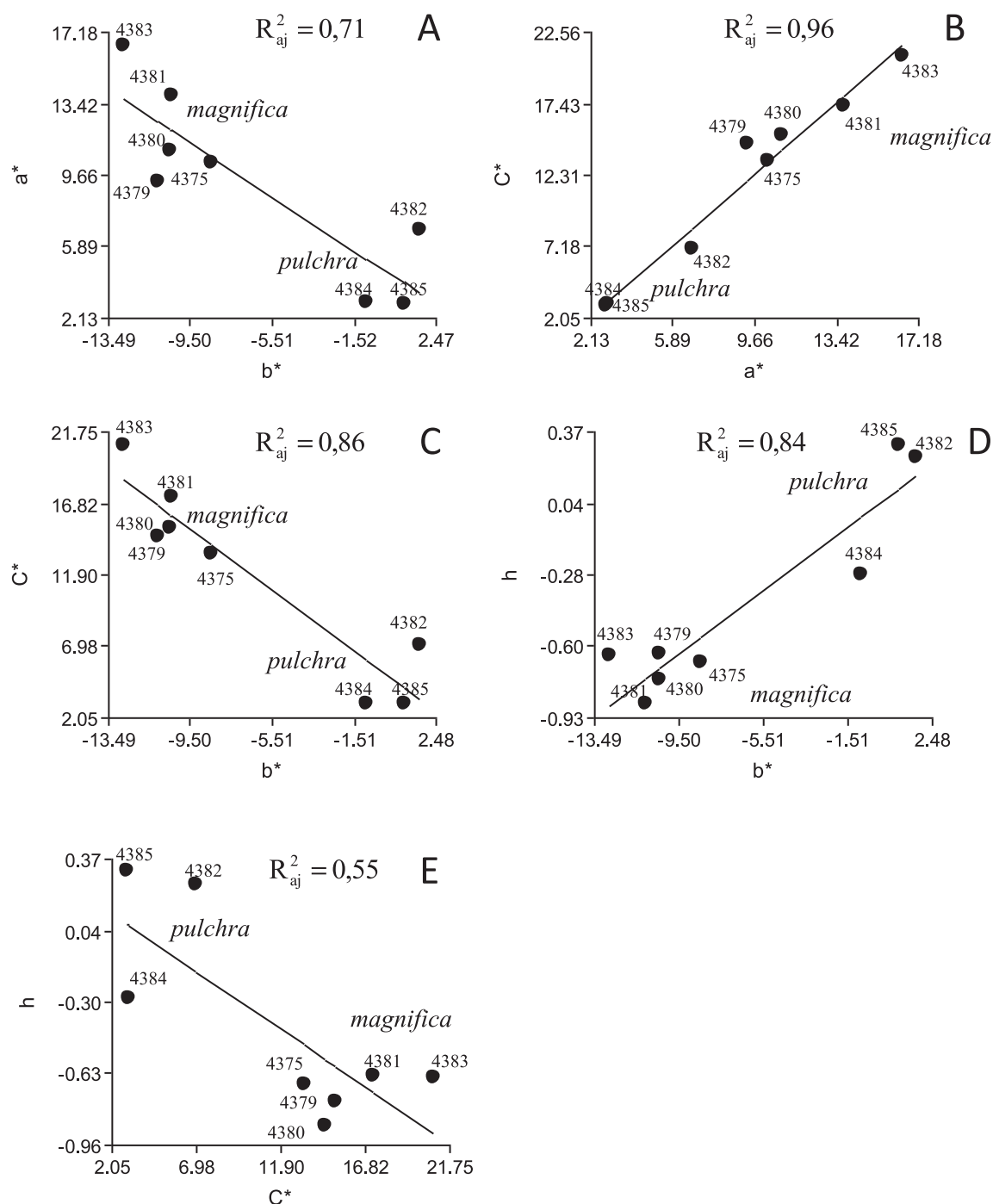


FIGURA 3. Análisis de regresión lineal entre los parámetros colorimétricos de los tépalos externos para las 8 poblaciones estudiadas. A. a^* vs. b^* ; B. Croma vs. a^* ; C. Croma vs. b^* ; D. Hue vs. b^* ; E. Hue vs. Croma.

FIGURE 3. Linear regression analysis among the colorimetric parameters of the outer tepals for the eight studied populations. A. a^* vs. b^* ; B. Croma vs. a^* ; C. Croma vs. b^* ; D. Hue vs. b^* ; E. Hue vs. Croma.

TÉPALOS INTERNOS SUPERIORES

Con excepción de *A. pulchra* var. *maxima* que presenta un máximo de reflectancia a nivel de los 440 nm (azul), los restantes taxones presentan máximos de reflectancia por sobre

los 520 nm, indicando la presencia de pigmentos amarillo rojo (520 a 700 nm) (Fig. 4B). Los valores de a^* son similares en ambas especies: en *A. magnifica* varió de 4,6 a 11,66 y en *A. pulchra* de 5,81 a 7,38. Los valores de b^* fueron, en general,

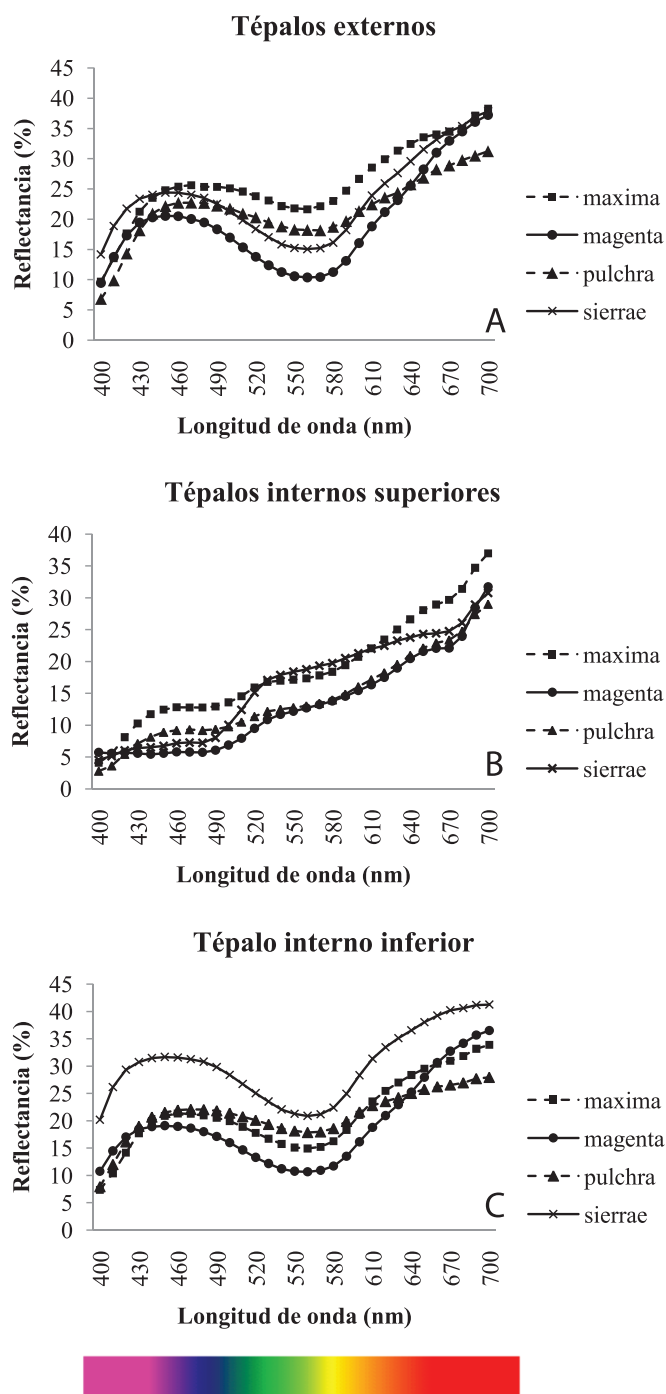


FIGURA 4. Espectros de reflectancia de los tépalos externos, internos superiores e interno inferior de *Alstroemeria magnifica*, *A. pulchra* var. *pulchra* y *A. pulchra* var. *maxima*.

FIGURE 4. Reflectance spectra of the outer tepals, upper inner tepals and lower inner tepal of *Alstroemeria magnifica*, *A. pulchra* var. *pulchra* y *A. pulchra* var. *maxima*.

más altos que los de los tépalos externos e internos inferiores; para *A. magnifica* b^* varió entre 16,51 y 30,35 mientras que para *A. pulchra*, b^* varió entre 6,75 y 31,83. Estos valores más altos se deben a la presencia de pigmentos de color amarillo en los tépalos internos superiores. Las especies no se separan por los parámetros a^* y b^* de los tépalos internos superiores (gráfico no mostrado). Las diferencias observadas en a^* se deben principalmente al color rojo de las manchas púrpuras que presentan los tépalos internos superiores. La población que presentó tépalos con mayor cantidad de manchas púrpuras fue 4379 de Santa Julia y la que presentó menor cantidad de manchas púrpuras fue 4375 de Caleta Hornos. La mayor diferencia total (ΔE) se observó entre *A. magnifica* y *A. pulchra* (9,19) y la menor diferencia entre *A. magnifica* y *A. pulchra* var. *maxima* (7,07) (Tabla III).

TÉPALO INTERNO INFERIOR

Los espectros de reflectancia (Fig. 4) del tépalos interno inferior siguen un patrón comparable al de los tépalos externos. Los tépalos internos inferiores de las flores analizadas presentaron para *A. magnifica* valores de a^* que fluctuaron entre 9,26 y 17,21. Los valores relativamente altos indican color rojo por la mancha rojiza que presentan estos tépalos en la base. *Alstroemeria pulchra* presentó valores similares para a^* (3,24 a 10,82), indicando menor cantidad de color rojo que en *A. magnifica*. No obstante, para b^* ambas especies mostraron valores diferentes. En *A. magnifica* b^* varió de -12,37 a -6,60 mientras en *A. pulchra* b^* varió entre -4,25 y 0,54, indicando que *A. pulchra* se distingue por sus tépalos más blanquecinos (menos azules) que *A. magnifica*. En el espacio CIELab las especies se separan en dos grupos principalmente a lo largo del eje b^* (Fig. 2F). La mayor diferencia total (ΔE) en el color de los tépalos inferiores se observó entre *A. magnifica* y *A. pulchra* (29,03) y la menor diferencia entre *A. pulchra* var. *pulchra* y *A. pulchra* var. *maxima* (6,16) (Tabla III).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de componentes principales (Fig. 6A) separa, a lo largo del primer componente, las especies *A. pulchra* y *A. magnifica*. Hacia el extremo negativo del primer componente se sitúan *A. pulchra* var. *pulchra* y *A. pulchra* var. *maxima* mientras que *A. magnifica* se sitúa en el extremo positivo del eje. El análisis extrajo cinco componentes que explican en conjunto un 99% de la variabilidad de los datos originales. Los dos primeros componentes explican un 75,5% de la variabilidad de la matriz. Las variables con mayor aporte al primer componente son C^*e (0,35), a^*e (0,34), b^*e (-0,33), C^*ii (0,33), a^*ii (0,31) y he (-0,29) y L^*e (-0,27). Las variables con autovectores más altos para el segundo componente son hii (0,45), b^*is (0,41), his (0,41), C^*is (0,39) y bii (0,36) (Tabla IV).

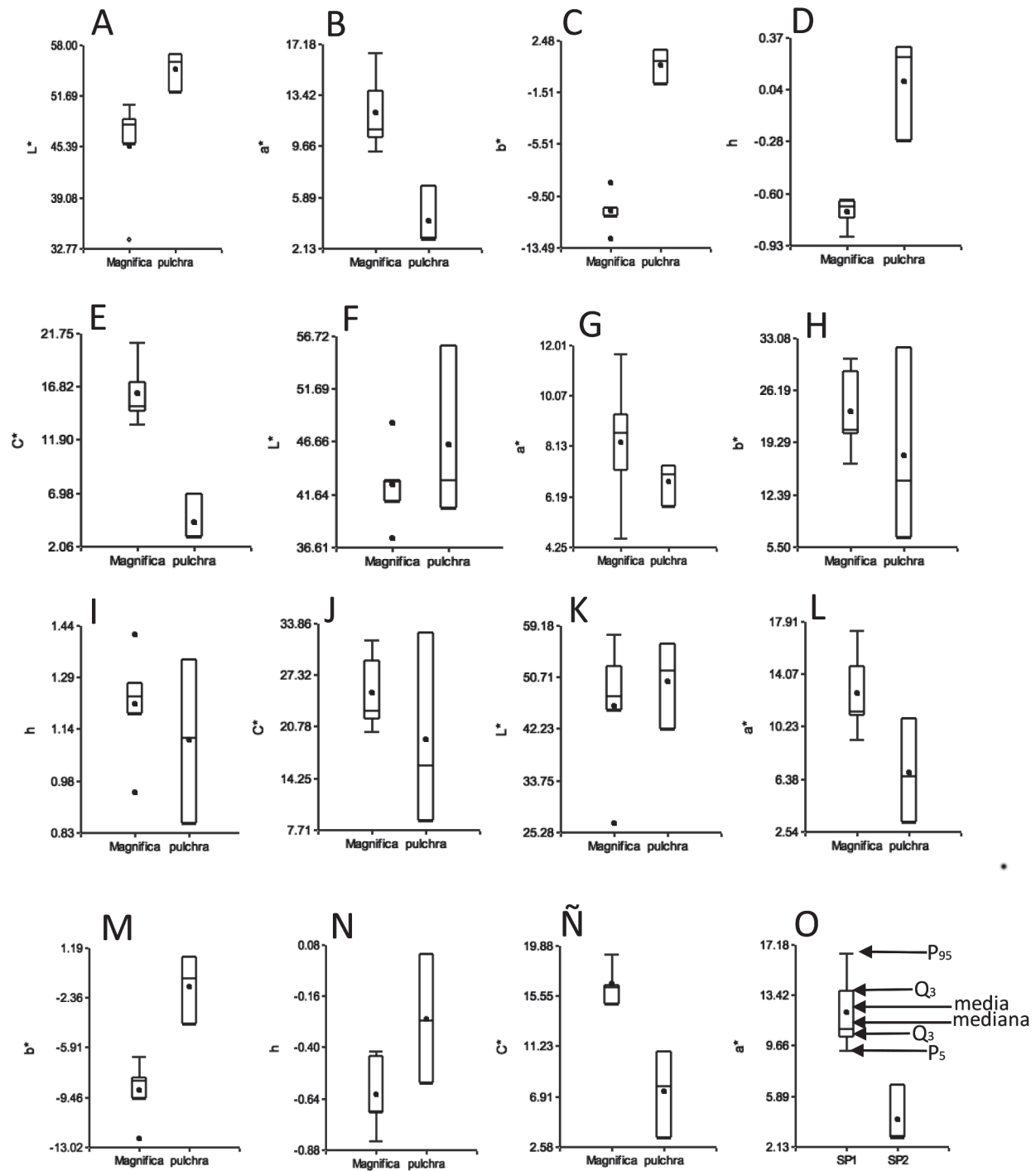


FIGURA 5. Variabilidad de los parámetros colorimétricos en *Alstroemeria pulchra* y *A. magnifica*. Punto = media; Caja = rango intercuartílico (P25-P75).

FIGURE 5. Variability of colorimetric parameters in *Alstroemeria pulchra* and *A. magnifica*. Point = mean value; Box = interquartile range (P25-P75).

TABLA III. Diferencias colorimétricas en los parámetros L*, a*, b* y diferencia total (ΔE^*) entre los taxones estudiados.

TABLE III. Colorimetric differences in parameters L*, a*, b*, and total color difference (ΔE^*) among the studied taxa.

	ΔL	Δa^*	Δb^*	ΔE
TÉPALOS EXTERNOS				
magnífica/pulchra	-10.41	5.38	-12.37	17.04
magnífica/maxima	-8.99	9.31	-10.66	16.77
pulchra/maxima	1.42	3.93	1.71	4.51
TÉPALOS INTERNOS SUPERIORES				
magnífica/pulchra	-0.42	1.22	9.10	9.19
magnífica/maxima	-5.48	1.70	4.14	7.07
pulchra/maxima	-5.06	0.48	-4.96	7.10
TÉPALO INTERNO INFERIOR				
magnífica/pulchra	-5.91	9.45	-8.05	13.75
magnífica/maxima	20.75	18.87	7.48	29.03
pulchra/maxima	2.68	-5.47	0.93	6.16

Taxones: magnífica = *Alstroemeria magnífica*; maxima = *A. pulchra* var. *maxima*; pulchra = *A. pulchra* var. *pulchra*

TABLA IV. Vectores propios de las variables utilizadas en el análisis de componentes principales.

TABLE IV. Eigenvectors of the variables used in principal component analysis.

VARIABLES	VECTORES PROPIOS	
	PC1	PC2
L*(e)	-0.27	0.13
a*(e)	0.34	0.06
b*(e)	-0.33	0.17
C*(e)	0.35	-0.02
h(e)	-0.29	0.19
L*(is)	-0.23	-0.23
a*(is)	0.18	-0.14
b*(is)	0.19	0.41
C*(is)	0.21	0.39
h(is)	0.15	0.41
L*(ii)	-0.19	-0.10
a*(ii)	0.31	0.07
b*(ii)	-0.24	0.36
C*(ii)	0.33	-0.07
h(ii)	-0.11	0.45

Correlación cofenética= 0.936

e = tépalos externos; is = tépalos internos superiores; ii = tépalo interno inferior; rcc = índice de correlación cofenética.

DISCUSIÓN

En algunos grupos de plantas es posible que los caracteres taxonómicos tradicionalmente utilizados no tengan suficiente valor discriminante para diferenciar especies muy cercanas o variedades dentro de un complejo. En estos casos puede ser de mucha utilidad contar con caracteres que brinden una nueva perspectiva sobre el problema. Se ha demostrado que el uso del color de la corola, medido objetivamente, puede tener valor taxonómico cuando los caracteres tradicionales han resultado poco informativos para distinguir especies crípticas (Abdelaziz *et al.* 2011).

En *Alstroemeria*, el color de los tépalos ha sido utilizado frecuentemente para distinguir las especies, tanto en las claves de identificación como en las descripciones de los taxones (Bayer 1987, Muñoz & Moreira 2003, Hofreiter & Rodríguez 2006, Baeza & Ruiz 2011). Así por ejemplo, Bayer (1987) utiliza recurrentemente el “color principal de la flor” en su clave para el género, así como la presencia y color de las máculas de los tépalos internos superiores. No obstante, los estudios colorimétricos de los tépalos de *Alstroemeria* son muy escasos (Norbaek *et al.* 1998) y el color descrito hace referencia a la percepción subjetiva del mismo por el ojo humano. Ello probablemente explica por qué no ha habido

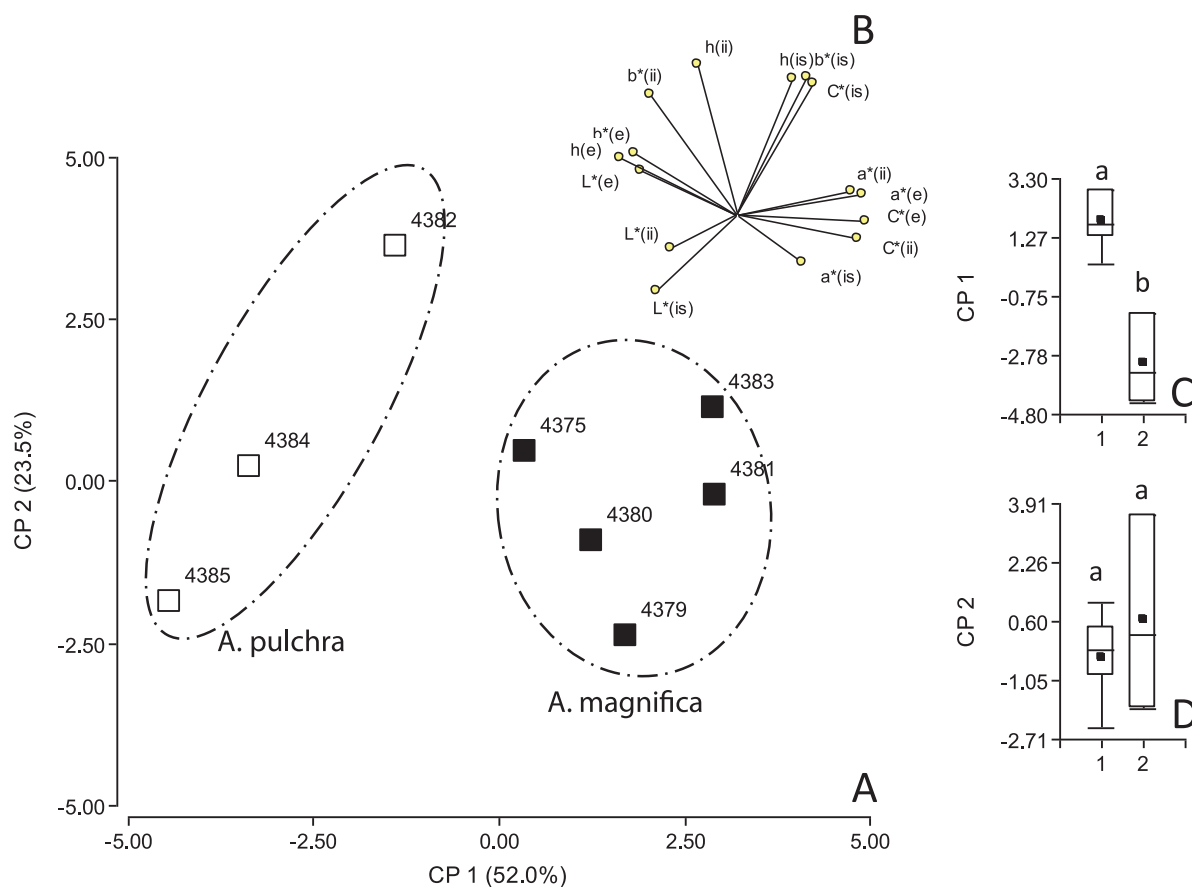


FIGURA 6. A. Distribución de las OTUs en los dos primeros componentes principales, $r_{cc} = 0,936$. B. La distribución de las variables se muestra en el extremo superior derecho. C, D. Los gráficos de caja y bigote muestran si la posición de los dos grupos delimitados son o no significativamente diferentes a lo largo de los dos primeros componentes.

FIGURE 6. A. Distribution of the OTUs in the two first principal components; $r_{cc} = 0,936$. B. The distribution of the variables is shown on the right corner. C, D. Box-plots show if the position of the delimited groups are or not significantly different along the first and second principal components.

uniformidad de opinión en torno a la posición sistemática de *A. pulchra* var. *maxima*.

Por otra parte, es necesario evaluar el color en los distintos tipos de tépalos que presenta la flor, puesto que los tépalos internos suelen ser distintos de los externos y los internos superiores distintos del interno inferior. Así, en el espacio CIELab, *A. pulchra* var. *pulchra* y *A. pulchra* var. *maxima* se separan de *A. magnifica* por el color de los tépalos externos e interno inferior, pero no por el color de los tépalos internos superiores. Las variables C^* , b^* y h de los tépalos internos superiores sólo mostraron alta contribución con el segundo componente que separa las poblaciones 4382 y 4385 de *A. pulchra* var. *maxima*. Estas poblaciones poseen tépalos internos superiores con coloración algo diferente, especialmente hacia la base (4382 presenta color rojizo más intenso que 4385). Sin embargo, la separación de *A. pulchra* y *A. magnifica* ocurre a lo largo del primer componente, donde las variables más importantes fueron C^* , a^* , b^* y h

de tépalos externos. Los tonos más intensos de rojo y azul que presenta *A. magnifica* en comparación con los tonos más pálidos de *A. pulchra* determinados por los parámetros estudiados, coinciden con la percepción humana del color en estas especies. Sin embargo, puesto que el color de la flor es importante para la determinación de las especies, un análisis objetivo de este carácter es deseable. De acuerdo con los resultados obtenidos, sería suficiente con determinar los parámetros a^* , b^* y L^* en estas especies para distinguirlas, pues ambos parámetros se correlacionan negativamente y de ellos depende el valor de C^* . El valor de L^* se correlacionó negativamente con el primer componente, resultando igualmente en un parámetro importante para diferenciar ambas especies.

En *A. magnifica* los tépalos internos superiores son blancos en la mitad inferior y amarillos en la mitad superior, ambas zonas cubiertas de líneas púrpuras y con una mancha púrpura más oscura en el ápice sobre fondo lila; las líneas de

la mitad inferior tienden a juntarse dando un color rojizo a la base del tépalo. En *A. pulchra*, los tépalos internos superiores siguen un patrón similar de ornamentación y color, aunque las manchas purpúreas forman líneas menos densas y no tienden a juntarse en la base, lo que da un aspecto más claro y luminoso.

El color menos azul de los tépalos externos e interno inferior es el origen del epíteto específico “pulchra”. No obstante, hasta ahora sólo se ha considerado la longitud relativa de los tépalos internos superiores con respecto al resto de la flor, notablemente más largos que el resto de los tépalos en *A. pulchra* para distinguirla de *A. magnifica*. En este carácter se basan Muñoz & Moreira (2003) para transferir la var. *maxima* de *A. magnifica* a *A. pulchra*. En consecuencia, el color de los tépalos externos e interno inferior aparece como un nuevo carácter para distinguir estas especies.

Los resultados de este trabajo soportan la posición sistemática propuesta por Philippi (1864) para *A. pulchra* var. *maxima*, como lo sostienen posteriormente Muñoz & Moreira (2003) y no la posición propuesta por Bayer (1987) como variedad de *A. magnifica*. El color de los tépalos externos e interno inferior aparece como un nuevo carácter que junto a la longitud relativa de los tépalos internos superiores y a la anatomía foliar (Lyshede 2002) permite distinguir ambas especies. Este carácter es sorprendente pues ambas especies presentan un color lila de fondo. Si bien es posible captar a ojo desnudo el color más claro y luminoso de *A. pulchra*, en terreno es posible observar variabilidad en el color de las flores en estos taxones. Por ello, el análisis colorimétrico objetivo aparece como un método conveniente y más seguro para captar la diferencia en la tonalidad de la flor que el ojo desnudo. El método es rápido y simple de implementar y su aplicación en taxonomía puede ser de mucha utilidad en éste y otros grupos de plantas. El análisis de color basado en los parámetros CIELab ha sido utilizado en otros grupos de plantas y también en otros órganos de la planta. Así por ejemplo, Fajardo *et al.* (2008) utilizan datos colorimétricos de las hojas, flores y frutos de *Solanum* L. en un análisis morfométrico para delimitar las especies de la sección *Conicibaccata* Bitter. En combinación con caracteres taxonómicos tradicionales, moleculares, palinológicos y anatómicos puede ser una herramienta poderosa. No obstante, los estudios realizados utilizando los parámetros CIELab como caracteres taxonómicos son muy escasos. Los resultados del presente trabajo sugieren que estos caracteres en conjunto con caracteres provenientes de otras fuentes de observación pueden aportar un nuevo enfoque a la delimitación de especies del género *Alstroemeria*.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Proyecto Fondecyt N° 1130349. A María Teresa Valenzuela, Verónica Fuentealba y Cristian Bastías, por la ayuda en terreno y laboratorio. A Alicia Marticorena, curadora del Herbario de la Universidad de Concepción, agradecemos el préstamo del material así como

las sugerencias realizadas para mejorar este trabajo. Asimismo, a los correctores anónimos sus valiosas sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- AAGESEN, L. & A.M. SANSO. 2003. The phylogeny of Alstroemeriaceae, based on morphology, rps16 intron, and rbcL sequence data. *Systematic Botany* 28: 47-69.
- ABDELAZIZ, M., J. LORITE, A.J. MUÑOZ-PAJARES, M.B. HERRADOR, M. PERFECTI & J.M. GÓMEZ. 2011. Using complementary techniques to distinguish cryptic species: A new *Erysimum* (Brassicaceae) species from North Africa. *American Journal of Botany* 98: 1049-1060.
- ASSIS, M.C. 2004. Alstroemeriaceae no Estado do Rio de Janeiro. *Rodriguezia* 55: 5-15.
- BAEZA, C.M. & E. RUIZ. 2011. *Alstroemeria hookeri* Lodd. subsp. *sansebastianiana* C.M. Baeza & E. Ruiz, nueva para la flora de Chile. *Gayana Botánica* 68: 313-315.
- BAEZA, C.M., E. RUIZ & P. NOVOA. 2010. The karyotype of *Alstroemeria diluta* Her. Bayer subsp. *chrysantha* (Alstroemeriaceae). *Chilean Journal of Agricultural Research* 70: 667-669.
- BAÑÓN, S., A. GONZÁLEZ, E. CANO, J. FRANCO & J. FERNÁNDEZ. 2002. Growth, development and color response of potted *Dianthus caryophyllus* cv. Mondriaan to paclobutrazol treatment. *Scientia Horticulturae* 94: 371-377.
- BAYER, E. 1987. Die Gattung *Alstroemeria* in Chile. *Mitteilungen der Botanischen Staatssammlung München* 24: 1-362.
- BUITENDIJK, J. & M. RAMANNA. 1996. Giemsa C-banded karyotypes of eight species of *Alstroemeria* L. and some of their hybrids. *Annals of Botany* 78: 449-457.
- BUITENDIJK, J., E. BOON & M. RAMANNA. 1997. Nuclear DNA content in twelve species of *Alstroemeria* L. and some of their hybrids. *Annals of Botany* 79: 343-353.
- CHACÓN, L., A. SOUSA, C.M. BAEZA & S.S. RENNER. 2012. Ribosomal DNA distribution and a genus-wide phylogeny reveal patterns of chromosomal evolution in *Alstroemeria* (Alstroemeriaceae). *American Journal of Botany* 99: 1501-1512.
- COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE (CIE). 1978. Recommendations on uniform color spaces: color-difference equations, psychometric color terms. Publ. CIE N° 15, Suppl. 2., Paris.
- DI RIENZO J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZÁLEZ, M. TABLADA, C.W. ROBLEDO. INFOSTAT VERSIÓN 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- FAJARDO, D., R. CASTILLO, A. SALAS & D.M. SPOONER. 2008. A morphometric study of species boundaries of the wild potato *Solanum* series *Conicibaccata*: A replicated field trial in Andean Peru. *Systematic Botany* 33(1): 183-192.
- HAN, T.H., M. DE JEU, H. VAN ECK & E. JACOBSEN. 2000. Genetic diversity of Chilean and Brazilian *Alstroemeria* species assessed by AFLP analysis. *Heredity* 84: 564-569.
- HATAMZADEH, A., A. RAZIEH, S. REYHANEH & B. DAVOUD. 2012. Comparison of parameters affecting flower color in *Gerbera hybrida*: A phytochemical study on new varieties. *Journal of Agricultural Science* 4: 186-194.
- HOFREITER, A. & E.F. RODRIGUEZ. 2006. The Alstroemeriaceae in

- Peru and neighbouring areas. *Revista Peruana de Biología* 13: 5-69.
- KASHIHARA, Y., K. SHINODA, N. MURATA, H. ARAKI & Y. HOSHINO. 2011. Evaluation of the horticultural traits of genus *Alstroemeria* and *Bomarea* (Alstroemeriaceae). *Turkish Journal of Botany* 35: 239-245.
- LYSHEDE, O.B. 2002. Comparative and functional leaf anatomy of selected Alstroemeriaceae of mainly Chilean origin. *Botanical Journal of the Linnean Society* 140: 261-272.
- MUÑOZ, M. & A. MOREIRA. 2003. Alstroemerias de Chile. Diversidad, distribución y conservación. Consejo Nacional del Libro y la Lectura, Taller La Era, Santiago de Chile, 140 pp.
- NORBAEK, R., L.P. CHRISTENSEN, G. BOJESSEN & K. BRANDT. 1996. Anthocyanins in Chilean species of *Alstroemeria*. *Phytochemistry* 42: 97-100.
- NORBAEK, R., L.P. CHRISTENSEN & K. BRANDT. 1998. An HPLC investigation of flower colour and breeding of anthocyanins in species and hybrids of *Alstroemeria*. *Plant Breeding* 117: 63-67.
- PHILIPPI, R.A. 1864. *Plantarum novarum chilensium*. *Linnaea* 33: 260-261.
- RUIZ, E., K. BALBOA, M.A. NEGRITTO, C.M. BAEZA, G. FUENTES & V. BRICEÑO. 2010. Variabilidad genética y morfológica y estructuración poblacional en *Alstroemeria hookeri* (Alstroemeriaceae) endémica de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 605-616.
- RUSTANIUS, P., A. HANG, H.G. HUGHES & T. TSUCHIYA. 1991. Chromosome analysis of *Alstroemeria ligtu* hybrids. *Hortscience* 26: 902-904.
- SACKS, E.J. & D.V. SHAW. 1994. Optimum allocation of objective color measurements for evaluating fresh strawberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119: 330-334.
- SAITO, K., M. YAMAJI & T. HONDA. 1985. Anthocyanidin glycosides from the flowers of *Alstroemeria*. *Phytochemistry* 24: 2125-2126.
- SAITO, K., M. YOKOI, M. OGAWA, M. KAMIJO & T. HONDA. 1988. 6-Hydroxycyanidin glycoside in the flowers of *Alstroemeria*. *Phytochemistry* 27: 1399-1401.
- SANSO, A.M. 1996. El género *Alstroemeria* (Alstroemeriaceae) en Argentina. *Darwiniana* 34: 349-382.
- UPHOF, J. C. T. 1952. A review of the genus *Alstroemeria*. *Plant Life* 8: 37-53.
- WANG, L.S., A. SHIRAIISHI, F. HASHIMOTO, N. AOKI, K. SHIMIZU & Y. SAKATA. 2001. Analysis of petal anthocyanins to investigate flower coloration of Zhongyuan (Chinese) and Daikon Island (Japanese) tree peony cultivars. *Journal of Plant Research* 114: 33-43.
- WANG, L.S., F. HASHIMOTO, A. SHIRAIISHI, N. AOKI, J.J. LI & Y. SAKATA. 2004. Chemical taxonomy of the Xibei tree peony from China by floral pigmentation. *Journal of Plant Research* 117: 47-55.

Recibido: 10.01.14

Aceptado: 07.01.15