

Variabilidad morfológica y evaluación agronómica de maukas *Mirabilis expansa* (Ruiz & Pav.) Standl. del norte peruano

Morphological variability and agronomic evaluation of maukas, *Mirabilis expansa* (Ruiz & Pav.) Standl. of northern Peru

Juan F. Seminario y Miguel A. Valderrama

Programa de Raíces y Tubérculos Andinos, Of. 2C-111, Universidad Nacional de Cajamarca, Avenida Atahualpa 1050, Cajamarca, Perú.
Email Juan Seminario:
jfseminario@yahoo.es
Email Miguel A. Valderrama:
mvalderrama3510@hotmail.com

Resumen

Se estudiaron 40 entradas de mauka, chago o miso, *Mirabilis expansa* (Nyctaginaceae), para determinar la variabilidad morfológica, la distribución geográfica y el comportamiento agronómico del germoplasma, colectado principalmente en el norte peruano (entre los 2300 y 3400 m de altitud) y mantenido en la Universidad Nacional de Cajamarca (7°29'45"S, 78°10'12"W, altitud 2670 m, 14 °C de temperatura diaria y 670 mm de lluvia anual). Se usaron 17 descriptores cualitativos de alta heredabilidad y se evaluaron siete componentes de rendimiento, durante tres campañas agrícolas. El fenograma generó cinco grupos o morfotipos (coeficiente de disimilitud de 0,0). Los morfotipos I, III y V se concentran en las provincias de Hualgayoc, San Miguel, Chota y Cajamarca. El morfotipo II probablemente es endémico de la Región La Libertad. La única entrada del sur del Perú (Puno), constituyó un morfotipo independiente (IV). Seis entradas: 15, 17, 24, 25, 28 (morfotipo I) y 16 (morfotipo III), alcanzaron los más altos rendimientos (46 – 76 t. ha⁻¹).

Palabras clave: cultivo promisorio; diversidad genética; raíz andina, Cajamarca.

Abstract

Forty accessions of mauka, chago or miso, *Mirabilis expansa* (Nyctaginaceae) were studied, in order to determine the morphological variability, geographic distribution and agronomic performance of germplasm collected mainly in northern Peru (between 2300 to 3400 m) and maintained at Universidad Nacional de Cajamarca (7°29'45"S, 78°10'12"W, 2670 m, 14 °C of daily temperature and 670 mm of rain annually). Seventeen qualitative descriptors of high heritability were used and seven yield components for three crop years were also evaluated. The phenogram generated five groups or morphotypes (dissimilarity coefficient of 0.0), which implies 87.5% of duplicates in the collection. The morphotypes I, III and V are concentrated in the provinces of Hualgayoc, San Miguel, Chota and Cajamarca. The morphotype II is probably endemic to the La Libertad region. The only accession from the south of Peru (Puno) was an independent morphotype (IV). Six accessions: 15, 17, 24, 25, 28 (morphotype I) and 16 (morphotype III) reached the highest yields (46 – 76 t. ha⁻¹).

Keywords: promising crops; genetic diversity; Andean root crops; Cajamarca.

Presentado: 24/10/2012
Aceptado: 15/12/2012
Publicado online: 15/01/2013

Introducción

Mirabilis expansa (Ruiz & Pav.) Standl., es una Nyctaginacea tuberosa que se distribuye desde Venezuela hasta Chile al estado silvestre y cultivado (Tabla 1). Su cultivo se concentra en las zonas alto andinas de Bolivia, Ecuador y Perú, donde es conocido como "mauka", "miso" y "chago", respectivamente. Es una de las especies más relegadas dentro del grupo de raíces y tubérculos andinos, RTAs (NRC 1989, Vivanco 1999) y existen indicios de que su cultivo en el Perú, está en riesgo debido a múltiples factores (FAO 2009). Ha sido clasificada como especie "casi amenazada", es decir próxima a satisfacer el criterio de "vulnerable". (DS. 043-2006-AG).

Mirabilis expansa es una especie promisorio como alimento humano y animal, además de otros usos potenciales. El follaje obtenido después de la cosecha, contiene hasta 4% de proteína en base fresca (17% en base seca), es un importante forraje para ovinos, vacunos y animales menores. Los valores de consumo, digestibilidad y conversión alimenticia en conejos (*Oryctolagus cuniculus*), fue similar a los valores de la mezcla de ryegras (*Lolium multiflorum*) y trebol (*Trifolium repens*) (Bazán et al. 1996).

Sin embargo, la parte principal usada como alimento humano son sus raíces reservantes. Estas, además de ser fuente de carbohidratos, contienen niveles importantes de proteína, calcio y fósforo (Franco & Uceda 1996, Tapia et al. 2004). Por estas

Tabla 1. Distribución de *Mirabilis expansa* silvestre y cultivado según diferentes autores.

Silvestre
Standley (1931): Venezuela: Mucurubá. Ecuador: Alausí (Chimborazo), Ambato. Chile: Valparaíso. Perú: Sin especificar.
Macbride (1937): Perú: Cusco (San Sebastián). Junín (Tarma). Lima (Chancay, Amancaes, Río Blanco).
López (1995): Perú: La Libertad (Otuzco: Agallpampa).
Seminario y Valderrama (1998): Perú: La Libertad (Otuzco: Cerro Cholocday).
Cultivado
Rea (1965) Bolivia: Camacho, Muñecas, Bautista, Larecaja, Inquisivi.
Rea (1982), Tapia et al. (1996) Ecuador: Pichincha, Cotopaxi.
Vallenas (1996): Perú: Puno: Limbani (prov. Sandía), Phusca (Usicayos, prov. Carabaya).
Franco et al. (1989), Seminario y Seminario (1995). Perú: Amazonas, Cajamarca, La Libertad (Huamachuco, Santiago de Chuco), Ancash (Sigüas).
Blas (2012) (Comunicación personal) Perú: Huánuco.

bondades constituye una alternativa alimentaria para poblaciones alto andinas, en donde la ingesta de estos nutrientes es escasa.

Dentro del componente proteico de *M. expansa* se han identificado proteínas inactivadoras de ribosomas (RIPs) que muestran actividad antifúngica y antibacterial. Vivanco et al. (1999) encontraron en las raíces de mauka, dos RIPs que las denominaron ME1 (27,5 kDa) y ME2 (27 kDa), las cuales, en las pruebas *in vitro*, resultaron activas y de efecto aditivo contra los hongos *Pythium irregulare*, *Fusarium oxysporum solani*, *Alternaria solani*, *Trichoderma reesei*, y *Trichoderma harzianum*; y contra las bacterias *Pseudomonas syringae*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Agrobacterium radiobacter*, *Xanthomonas campestris* y *Erwinia carotovora*. Posteriormente, Vivanco y Flores (2000) trabajando con callos y cultivo de células en suspensión de *M. expansa*, encontraron una nueva RIP que denominaron MEC (29 kDa) cercanamente relacionada con ME1 y producida en alta proporción (20% de la proteína soluble total). Vepachedu et al. (2003) hicieron la caracterización molecular y el estudio

de la regulación post-transcripcional de la ME1. El modo de acción de ME1 contra hongos (*Rhizoctonia solani*, *Alternaria solani*, *Trichoderma reesei* y *Candida albicans*) fue estudiada por Park et al. (2002) y contra bacterias (*Escherichia coli*) por Vepachedu et al. (2005).

Las perspectivas de *M. expansa* son importantes y esto explica el interés de su estudio y la introducción como cultivo en otros países, particularmente en República Checa y Bélgica (Klaskova & Fernández 2011).

La colección más numerosa de mauka cultivada (56 entradas) la realizó la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) – Perú (Valderrama & Seminario 2004), la que incluye por lo menos siete parientes silvestres. En Ecuador, el INIAP, conserva *ex situ* un total de 11 entradas (Tapia et al. 2004). Los datos sobre material conservado en bancos de Bolivia no son claros (FAO 2009).

La colección de la UNC fue caracterizada con descriptores no estandarizados y se reconocieron cinco morfotipos. Asimismo,

Tabla 2. Datos pasaporte de 40 entradas de mauka (*Mirabilis expansa*) cultivado, mantenido por la Universidad Nacional de Cajamarca.

Código	Localidad	Altitud	LS	LW	Caserío	Distrito	Provincia	Región
CCHUNC001	Yanac	3080	7°46'51"	77°57'56"	Yanac	Huamachuco	Sánchez Carrión	La Libertad
CCHUNC002	Peña del Gallo	3120	7°46'51"	77°57'56"	Yanac	Huamachuco	Sánchez Carrión	La Libertad
CCHUNC003	Yanac	3100	7°46'51"	77°57'56"	Yanac	Huamachuco	Sánchez Carrión	La Libertad
CCHUNC005	Laguna Sausacocha	3200	7°47'17"	77°59'21"	Laguna Sausacocha	Huamachuco	Sánchez Carrión	La Libertad
CCHUNC006	Yanac	3100	7°46'51"	77°57'56"	Yanac	Huamachuco	Sánchez Carrión	La Libertad
CCHUNC007	Laguna Sausacocha	3200	7°47'17"	77°59'21"	Laguna Sausacocha	Huamachuco	Sánchez Carrión	La Libertad
CCHUNC008	Chamis	3200	7°47'17"	77°59'21"	Laguna Sausacocha	Huamachuco	Sánchez Carrión	La Libertad
CCHUNC009	Laguna Sausacocha	3200	7°47'17"	77°59'21"	Laguna Sausacocha	Huamachuco	Sánchez Carrión	La Libertad
CCHUNC010	Peña del Gallo	3120	7°46'51"	77°57'56"	Yanac	Huamachuco	Sánchez Carrión	La Libertad
CCHUNC011	Peña del Gallo	3120	7°46'51"	77°57'56"	Peña del Gallo	Huamachuco	Sánchez Carrión	La Libertad
CCHUNC012	El Cedro	2855	6°58'25"	78°51'18"	El Cedro	Calquis	San Miguel	Cajamarca
CCHUNC013	El Pozo	2855	6°58'25"	78°51'18"	El Cdero	Calquis	San Miguel	Cajamarca
CCHUNC014	Nitisuyo Alto	3000	6°59'57"	78°53'58"	Nitisuyo	San Miguel	San Miguel	Cajamarca
CCHUNC015	Lucmacucho	3100	6°37'26"	78°31'21"	Samangay	Bambamarca	Hualgayoc	Cajamarca
CCHUNC016	Huayllapampa Baja	3400	7°12'26"	78°30'36"	Huayllapampa	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca
CCHUNC017	Llapa	2928	6°58'38"	78°48'48"	Llapa	Llapa	San Miguel	Cajamarca
CCHUNC019	Laguna Sausacocha	3200	7°47'17"	77°59'21"	Laguna Sausacocha	Huamachuco	SanchezCarrión	La Libertad
CCHUNC020	Chucmar	2500	6°23'15"	78°35'55"	Chucmar	Tacabamba	Chota	Cajamarca
CCHUNC021	Cañafisto	3100	6°33'58"	78°35'52"	Cañafisto	Chota	Chota	Cajamarca
CCHUNC023	Paccha Grande Alta	2800	7°11'54"	78°29'44"	Paccha	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca
CCHUNC024	La Collpa	2750	6°40'03"	78°44'13"	La Collpa	Chugur	Hualgayoc	Cajamarca
CCHUNC025	Sabana	3150	6°52'13"	78°48'12"	Sabana	Llapa	San Miguel	Cajamarca
CCHUNC026	El Cedro	2855	6°58'25"	78°51'18"	El Cedro	Calquis	San Miguel	Cajamarca
CCHUNC027	Namora	2300	7°12'01"	78°19'34"	Namora	Namora	Cajamarca	Cajamarca
CCHUNC028	Sn.SilvestreCochan	2950	6°59'36"	78°45'52"	Sn.SilvestreCochan	Sn.Silvestre	SanMiguel	Cajamarca
CHAUNC029	Sn.SilvestreCochan	2950	6°59'36"	78°45'52"	Sn.SilvestreCochan	Sn Silvestre	San Miguel	Cajamarca
CCHUNC030	Sn.SilvestreCochan	2950	6°59'36"	78°45'52"	Sn Silvestre	Sn.Silvestre	San Miguel	Cajamarca
CCHUNC031	Nitisuyo Alto	3000	6°59'57"	78°53'58"	Nitisuyo	San Miguel	San Miguel	Cajamarca
CCHUNC036	Chaquil	2515	6°45'45"	78°31'21"	Llaucan	Bambamarca	Hualgayoc	Cajamarca
CCHUNC037	Llaucan	2500	6°44'21"	78°31'21"	Llaucan	Bambamarca	Hualgayoc	Cajamarca
CCHUNC038	Mayhuasi	2600	6°43'06"	78°31'21"	Mayhuasi	Bambamarca	Hualgayoc	Cajamarca
CCHUNC039	Curgos	3225	7°51'02"	77°56'18"	Curgos	Curgos	Sanchez Carrión	La Libertad
CCHUNC040	Quillimbash	2850	6°54'53"	78°10'45"	Quillimbash	Celendin	Celendin	Cajamarca
CCHUNC042	Limbani	3000	14°06'35"	69°36'55"	Limbani	Limbani	Sandia	Puno
CCHUNC043	Huañambra	2780	6° 53' 5	78°9'54"	Huañambra	Celendin	Celendin	Cajamarca
CCHUNC044	Ciudad Universitaria	2725	7°10'00"	78°30'00"	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca
CCHUNC045	Cochapampa	2950	6°54'52"	78°15'18"	Cochapampa	Sorochocho	Celendin	Cajamarca
CCHUNC046	Tacamache	2850	6°40'46"	78°45'06"	Tacamache	Chugur	Hualgayoc	Cajamarca
CCHUNC047	Liguñac	2500	6°52'31"	78°41'57"	Liguñac	Sócota	Cutervo	Cajamarca
CCHUNC048	Llaucan	2400	6°44'20"	78°01'11"	Llaucan	Bambamarca	Hualgayoc	Cajamarca

un lote de 36 entradas de esta misma colección (incluyendo cuatro silvestre) fue caracterizada molecularmente por Chia et al. (2006) y se identificaron cuatro morfotipos, pero con alta divergencia, respecto a la composición de mismos.

La información sobre evaluación agronómica de los materiales genéticos de mauka es escasa. Sólo existen informes preliminares de los aspectos productivos. En este sentido, es necesario evaluar los materiales mantenidos *ex situ* con el propósito de seleccionar los mejores con fines de uso

Con los antecedentes mencionados, el propósito de la investigación fue determinar la variabilidad morfológica, mediante la aplicación de descriptores morfológicos estandarizados, analizar la distribución geográfica y evaluar el comportamiento agronómico de la colección de mauka del Programa de Raíces y Tubérculos Andinos de la UNC, que procede principalmente del norte peruano e incluye una entrada de Puno.

Material y métodos

Se usaron 40 entradas de *Mirabilis expansa* cultivada, que mantiene el Programa de Raíces y Tubérculos Andinos de la UNC. (PRTA-UNC). Veintisiete entradas proceden de la Región Cajamarca (2300 a 3400 m de altitud), colectadas en las provincias de San Miguel (10), Hualgayoc (7), Cajamarca (4), Celendín (3), Chota (2) y Cutervo (1). Doce entradas proceden de la región La Libertad, colectadas en la provincia de Sánchez Carrión. La entrada 42 procede de Limbani, provincia de Sandía, Región Puno. Caso especial constituye la entrada 44 que fue detectada e incorporada a la colección, por sus características morfológicas especiales, desde una población de plantas provenientes de semilla, dentro del banco de germoplasma. Los datos pasaporte del germoplasma evaluado se detallan en la Tabla 2.

El germoplasma se sembró y evaluó durante las tres campañas agrícolas, en el campo experimental del PRTA-UNC. El sitio se ubica a 7°29'45"S, 78°10'12"W y 2670 m, dentro de la formación Bosque Seco Montano Bajo (Quechua) y registra 14 °C de temperatura diaria y 670 mm de lluvia anual. Se sembró un surco por cada entrada, con brotes basales de tallo, a distancias de 0,80 m entre surcos y 0,60 m entre plantas. Se aplicaron 5 t/ha de humus de lombriz y se hicieron las labores de mantenimiento necesarias para el cultivo.

La caracterización y el análisis de agrupamiento se realizaron mediante una lista de 17 descriptores cualitativos (Tabla 3), de alta capacidad discriminativa (cuatro de tallo, cinco de hoja, cinco de flor y tres de raíz). Esta lista fue probada y estandarizada el 2000 por especialistas de Ecuador, Bolivia y Perú. Los datos de hoja se tomaron a los seis meses después de la siembra (inicio de floración) y los de colino y raíz se tomaron al momento de cosecha (11 meses). Los colores fueron calificados mediante la RHS Colour Chart (1995). Con los datos de campo, se construyó una matriz básica de datos (MBD) y se realizó el análisis multivariado el cual comprendió (1) el análisis de agrupamiento produciendo un fenograma generado por los métodos UPGMA (unweighted pair-group method arithmetic average) y SAHN (sequential, agglomerative, hierarchical, nonoverlapping) – clustering; (2) el análisis de componentes-principales (CP), método de ordenación que permite demostrar el valor discriminativo de los caracteres, con respecto a las entradas (Crici 1983, Hidalgo 2003). En ambos casos se usó el programa NTSYS 2.1.

Tabla 3. Descriptores morfológicos para mauka, *Mirabilis expansa* (R.&P.) Standley.

1. Color de follaje	1 Verde amarillento 144A 2 Verde amarillo 146C, 146A 3 Verde purpúreo
2. Color principal del tallo aéreo	1 Verde amarillo 144C, 145A 2 Verde 143C 3 Rojo purpúreo 59B, 60A
3. Color secundario del tallo aéreo	0 Ausente 1 Presente
4. Color de tallo subterráneo	1 Blanco 2 Amarillo claro 13B 3 Naranja grisáceo 165B
5. Color predominante del haz de la hoja	1 Verde amarillento 145 A 2 Verde amarillo 146 B 3 Verde 146 A
6. Color secundario del haz de la hoja	0 Ausente 1 Presente
7. Forma de lámina	1 Ovada 2 Cordada
8. Base de lámina	1 Cordada 2 Cuneada 3 Subcordada
9. Apice de lámina	1 Estrechamente agudo 2 Medianamente agudo 3 Ampliamente agudo
10. Color de botón floral	1 Amarillo 4A,5B 2 Pardo amarillento 163B 3 Rojo púrpura 72B 4 Rojo púrpura 71A
11. Color de las brácteas del involucreo	1 Verde 146C 3 Púrpura verdoso
12. Color de Perigonio	1 Blanco 155D 2 Blanco grisáceo 156D 3 Púrpura claro 75B 4 Púrpura 78A
13. Color venas de lóbulos del perigonio	1 Amarillo 4A 2 Pardo amarillento 163B 3 Rojo púrpura 71A
14. Color Estigma	1 Blanco amarillento 158D 2 Amarillo anaranjado 20C 3 Púrpura claro 75D 4 Púrpura 75A
15. Color externo de la corteza de la RR	1 Blanco 155D 2 Pardo amarillento 161C 3 Gris anaranjado claro 164C 4 Gris anaranjado 164 A, 165B
16. Color de la corteza de raíz al raspado	1 Blanco 155D 2 Amarillo 12C 3 Amarillo anaranjado 14B, 13A
17. Color de la pulpa de la raíz reservante	1 Blanco 155D 2 Blanco anaranjado 159C 3 Amarillo anaranjado 19C, 20C

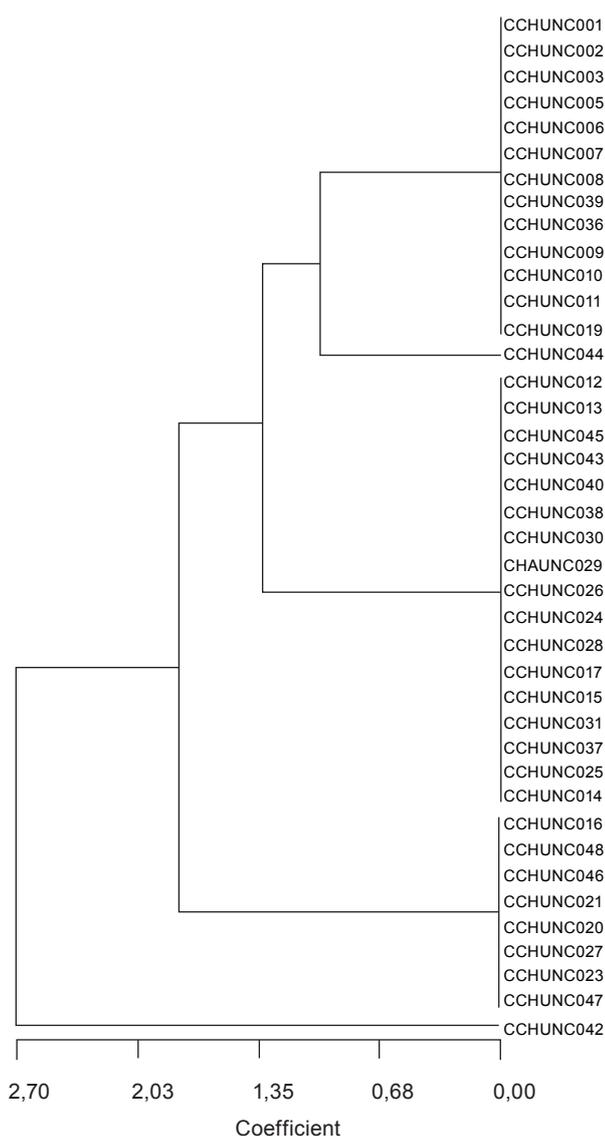


Figura 1. Fenograma (método UPGMA) que agrupa 40 entradas de mauka, *Mirabilis expansa*, del norte peruano, según 17 descriptores morfológicos.

El análisis de la distribución geográfica del germoplasma se hizo tomando en cuenta, las coordenadas geográficas, las altitudes, las regiones y las cuencas de los sitios de colecta. Mediante el programa DIVA-GIS 3.0 se señalaron los sitios de colecta y se hizo la distribución geográfica de las entradas agrupadas en morfotipos.

Se evaluaron siete componentes del rendimiento agronómico, en cinco plantas por entrada y en tres campañas agrícolas (2005 – 2007): Altura de planta (cm), número de raíces por planta, peso de raíces por planta (kg), rendimiento de raíces (t.ha⁻¹), largo y diámetro de raíces (cm) y peso de follaje (kg). Los datos fueron ingresados en una hoja de cálculo de Excel, para el análisis correspondiente.

Resultados

Variabilidad morfológica. Al coeficiente de distancia de 0,0 (máxima similitud), el fenograma (Fig.1) muestra que la variabilidad morfológica de la colección de mauka, consta de cinco grupos o morfotipos (el 87,5% de las entradas serían duplicados). Dos grandes grupos, el M-I y M-II con 18 y 12 entradas, respectivamente, reúnen el 75% de las entradas evaluadas. El coeficiente de distancia entre ambos es bajo (20%). Esto quiere decir que estos grupos están cercanamente relacionados fenotípicamente. La entrada 42 (grupo M-IV), procedente de Puno, registró el coeficiente de distancia más alto. Es decir, es un morfotipo único y diferente a los del norte. Lo antedicho, tiene mayor sentido si tomamos como referencia el coeficiente de distancia de 1,35 (Fig. 1). Bajo esta premisa, el fenograma presenta tres grandes grupos: El primero, formado por M-II, M-I y M-V, el segundo por M-III y el tercero por M-IV. Por otro lado, la entrada 44 constituye un morfotipo aparte (M-V) y presenta características morfológicas de los grupos M-I y M-II.

Los cinco morfotipos identificados muestran características fenotípicas de fácil identificación en campo y sus principales diferencias se encuentran en el color del tallo, forma de hoja, color de flor y color de raíz. También es evidente que la mayor parte del germoplasma pertenece a los morfotipos I y II (Tabla 4).

Tabla 4. Descripción básica de los morfotipos y agrupamiento de las entradas de mauka (*Mirabilis expansa*) mantenidos por la Universidad Nacional de Cajamarca.

		Morfotipos				
		I	II	III	IV	V
Color tallo		Rojo purpúreo	Verde	Verde amarillo	Verde	Verde
Hoja	Forma lámina	Cordada	Ovada	Cordada	Ovada	Ovada
	Forma de la base	Subcordada	Cuneada	Cordada	Cordada	Cuneada
	Forma del ápice	Ampliamente agudo	Estrechamente agudo	Medianamente agudo	Ampliamente agudo	Estrechamente agudo
	Color principal lámina	Verde	Verde amarillo	Verde amarillento	Verde	Verde amarillo
Flor	Color botón floral	Rojo púrpura	Pardo amarillento	Amarillo	Rojo púrpura	Rojo púrpura
	Color de Perigonio	Púrpura	Blanco grisáceo	Blanco	Púrpura	Purpura claro
Raíz	Color pulpa raíz tuberosa	Blanco	Blanco	Blanco	Amarillo anaranjado	Blanco
	Color externo raíz tuberosa	Gris anaranjado claro	Gris anaranjado claro	Pardo amarillento	Gris anaranjado	Pardo amarillento
	Entradas	012; 013, 045; 043; 040; 038; 030; 029; 026; 024; 028; 017; 015; 031; 037; 025; 014	001; 002; 003; 005; 006; 007; 008; 009; 036; 039; 010; 011; 019	016; 048, 020; 021; 046, 023; 027; 047	042	044

Tabla 5. Contribución relativa de los componentes principales de la variación total de la colección de mauka, *Mirabilis expansa*, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Componente Principal	Porcentaje de variación	Porcentaje de variación acumulado
1	60,62	60,62
2	31,56	92,18
3	5,27	97,45
4	2,53	99,98

La Tabla 5 muestra la contribución relativa de los componentes principales a la variación total. Los cuatro primeros componentes principales contribuyen al 100% de la variación de los 17 caracteres, para discriminar las 40 entradas en estudio. El primer componente explica el 60,6% de la variación entre entradas y está asociado a cinco caracteres de hoja, cuatro de flor, tres de tallo, dos de raíz, y uno de follaje. Todos con un alto coeficiente de correlación que varía de 0,65 (ápice de lámina) hasta 0,99 (color predominante del haz de la hoja y color de la corteza de la raíz sin piel). Junto a los últimos mencionados, los caracteres de flor son también los que más contribuyen al primer componente.

El 31,5% de la variación total se atribuye al segundo componente y los caracteres que más aportan a éste son el color de las brácteas del involucre y el color de la pulpa de la raíz reservante. Ambos, con un alto coeficiente de correlación (0,91). Asimismo, los caracteres foliares (forma de lámina y ápice de lámina) fueron los que más contribuyeron al tercer componente principal, lo que se evidencia por sus altos coeficientes (Tabla 6).

Tabla 6. Proporción de la varianza explicada, componentes principales y coeficientes, en la discriminación morfológica de la colección de mauka, *Mirabilis expansa*, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Componentes Principales	Porcentaje variación acumulada	Caracteres y coeficientes
CP1	60,62	Color predominante del haz de la hoja (0,9955)
		Color de la corteza de raíz al raspado (0,9955)
		Color de botón floral (0,9916)
		Color de Perigonio (0,9916)
		Color Estigma (0,9916)
		Color venas de lóbulos del perigonio (0,9900)
		Base de lámina (0,9155)
		Color principal del tallo aéreo (0,9130)
		Color secundario del haz de la hoja (0,9034)
		Color secundario del tallo aéreo (0,8585)
		Color de follaje (0,7883)
		Color de tallo subterráneo (0,7697)
		Color externo de la corteza de la RR (0,7331)
		Forma de lámina (-0,6976)
Ápice de lámina (0,6527)		
CP2	31,56	Color de las brácteas del involucre (0,9126)
		Color de la pulpa de la raíz reservante (0,9126)
		Color externo de la corteza de la RR (0,5035)
CP3	5,27	Forma de lámina (-0,6972)
		Ápice de lámina(-0,6965)
		Color de follaje (0,5814)

Variabilidad morfológica y distribución geográfica de los morfotipos. La conformación de los grupos o morfotipos muestra relación con la distribución geográfica de las entradas. Así, el grupo M-II está constituido en su mayoría por material procedente de la provincia de Sánchez Carrión (La Libertad), y los caracteres principales que lo discriminan son el color verde oscuro del follaje, la forma cuneada de la base de la lámina y el color blanco grisáceo del perigonio. El grupo IV (entrada 42), procedente de Puno es diferente del resto de material evaluado. Particularmente, en los caracteres de raíz y tallo. Este morfotipo no se encuentra en el norte peruano y se infiere que es endémico del sur peruano.

Como se aprecia en la Figura 2, el mayor número de morfotipos (de 2 a 4, cuadrícula roja) se concentra en las provincias de Hualgayoc, San Miguel, Chota y Cajamarca en los que predominan los morfotipos M-I, M-III.

Todos los morfotipos ocupan el rango altitudinal propio de la región Quechua, desde los 2300 m de altitud (Namora, Cajamarca), hasta los 3400 m (Huayllapampa, Cajamarca). La entrada 42 (M-IV) fue colectado a 3000 m, Limbani (Puno). Las colectas fueron realizadas dentro de los límites latitudinales: 6°23' y 7°51'S en el norte, hasta los 14°6'S en el sur del Perú. El 92% de las entradas proceden de cuencas que tributan a la vertiente del Atlántico.

Evaluación agronómica. La información que se presenta en este aspecto es preliminar, pero permite hacer algunas apreciaciones importantes. Existe alta variación en los principales componentes del rendimiento, entre entradas del mismo morfotipo, entre morfotipos (Tabla 7). Los morfotipos de mayor rendimiento son el I, II y III (46 a 76 t.ha⁻¹) y las entradas promisorias, en orden de importancia son 15, 16, 25, 28, 24, 17.

Los componentes del rendimiento mostraron variaciones importantes en las tres campañas. Así, el peso de raíces por planta varió de 0,6 a 3,6 kg.ha⁻¹. El número de raíces por planta varió

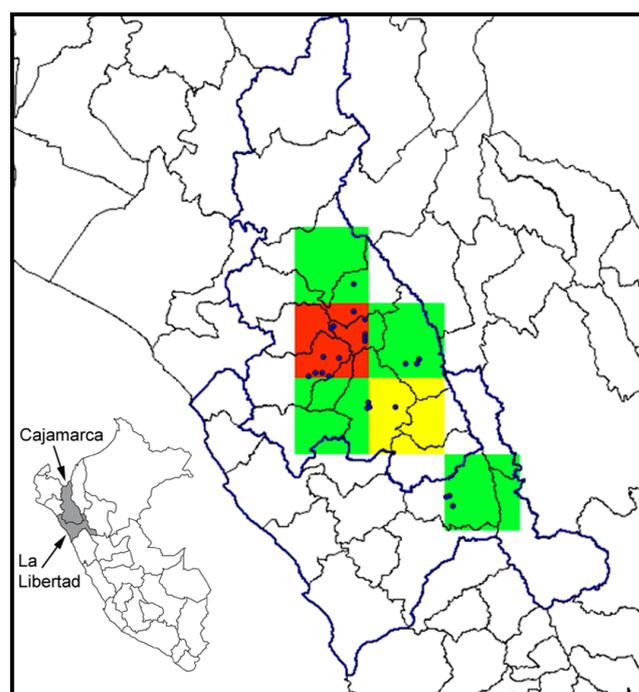


Figura 2. Distribución geográfica de los morfotipos de mauka, *Mirabilis expansa*, del norte peruano.

Tabla 7. Valores de los componentes del rendimiento de 40 entradas de mauka (*Mirabilis expansa*), agrupadas por morfotipos (promedios de tres campañas agrícolas, muestra: 15 plantas por entrada - 5 por campaña).

Entrada	Altura de planta (cm)	N° raíces/planta	Largo raíz (cm)	Peso raíz (kg/plta)	Rdto (kg/ha)	Peso follaje (kg/plta)
Morfotipo I						
12	70,8	15,9	11,2	1,8	37,8	1,7
13	68,1	17,3	13,4	1,4	30,7	1,9
14	74,8	13,5	14,7	1,4	30,7	2,1
15	79,5	21,7	16,3	3,6	76,4	2,8
17	90,5	19,7	15,6	2,2	45,8	2
24	86,4	18,8	12,4	2,2	47	1,5
25	88,3	20,6	15,5	3	63,4	2,4
26	74,7	21,1	14,2	1,7	35,7	1,2
28	79,1	20,6	16,2	2,7	57,7	1,9
29	66,2	19	16,1	1,5	33	1,1
30	75,7	18	14,7	1,8	38,1	1,7
31	72,5	16,2	11,6	1,5	33,1	1
37	51,5	15,3	11,6	0,7	15,9	1,3
38	66,3	10,8	11,9	1,5	31,5	0,6
40	67,3	14,1	18,1	1,6	35	1,7
43	31,5	10	14,6	1,7	35,3	1,1
45	102,9	8	12,91	0,8	17,6	1,6
Prom	73,3	16,5	14,2	1,8	39,1	1,6
DS	15,8	4,1	2	0,7	15,3	0,5
Morfotipo II						
1	84,5	12,6	18	1,1	23,9	1,4
2	85,2	15,2	15,2	0,9	20,3	1,8
3	73,3	10,5	13,4	0,6	13,1	1,7
5	76,6	15,1	15,1	0,9	18,7	1,3
6	74,5	16	16,2	0,9	19,7	2
7	79,1	11,6	14,9	0,7	14,5	1,3
8	79,7	15,6	16,2	0,6	13,3	1,5
9	68,6	15,7	16,9	1,2	25	1,3
10	72,3	15,4	18	1,3	27,3	2,2
11	75,1	18,6	15,9	1	21	2,3
19	94,4	19	17,4	1,6	33,3	1,6
36	79,6	12,6	10,7	0,8	17,4	0,4
39	65,7	9,7	14,9	0,9	19	0,5
Prom	77,6	14,4	15,6	0,9	20,5	1,5
DS	7,5	2,8	1,9	0,2	5,7	0,5
Morfotipo III						
16	62,5	17,7	14,5	3	63,9	2,5
20	96,3	15,2	13,4	2	42,9	2,3
21	83,3	11,8	13,5	1,6	34,8	1,1
23	88,6	18	13,7	1,3	27,9	1,7
27	60,2	17,2	16	2,2	47,1	1,7
46	86	4	10,7	0,6	12,4	2,4
47	75	13	13,1	1,2	24,9	1
48	98	5	8,4	0,8	16,6	0,8
Prom	81,2	12,7	12,9	1,6	33,8	1,7
DS	14,2	5,5	2,3	0,8	17	0,6
Morfotipo IV						
42	47	10,5	13	1,4	29,1	0,6
Morfotipo V						
44	59,3	14	12,9	1,6	33,2	1,7

de 4 a 22, la altura de planta varió de 31,5 a 103 cm. Además de las raíces, las plantas, producen una cantidad de follaje (útil como forraje) que varió entre 0,26 a 3,9 kg.planta⁻¹ (1,4 kg.planta⁻¹, en promedio).

Discusión

Se confirma la escasa variabilidad de *M. expansa* al estado cultivado y a la vez que, en Perú se encuentra la mayor variabilidad. La caracterización morfológica y molecular de Tapia et al. (2004) en la colección ecuatoriana discriminó tres morfotipos (de los cuales, uno es el morfotipo I de la colección del presente estudio). Por otro lado, en el germoplasma boliviano se ha observado dos morfotipos, blanco y amarillo (Rea 2004). También, los resultados confirman que en el norte peruano, específicamente en Cajamarca, se encuentra la mayor variabilidad morfológica.

Los descriptores usados resultan eficientes para identificar morfotipos, facilitan el trabajo de campo y permiten inferir que el morfotipo V es un híbrido intraespecífico, producto de

cruzamiento natural entre materiales de los morfotipos I y II. Lo anterior se explica porque las maukas cultivadas se cruzan fácilmente y la especie registra entre 6 y 25% de alogamia (Valderrama & Seminario 2001). Sin embargo, esta hipótesis debe someterse a prueba mediante cruzamiento recíprocos entre ambos grupos.

Los resultados concuerdan con los obtenidos por Chía et al. (2006), respecto a la separación de la entrada 42 (procedente de Puno), en un grupo aparte. Sin embargo, en el resto de resultados difieren ampliamente y no son comparables por las siguientes razones:

En primer lugar, nosotros trabajamos con 40 entradas cultivadas, Chía et al. (2006) trabajaron con 34 entradas cultivadas de la misma colección. Dos de estas entradas ya no están en la colección, por eso no se incluyen en el presente trabajo. En segundo lugar, el agrupamiento morfológico que presentan los autores mencionados (Tabla 2, p.85) lo hicieron con descriptores

morfológicos no estandarizados, de modo que no coincide con el agrupamiento actual (Tabla 4), realizado con 17 descriptores morfológicos probados y estandarizados. En tercer lugar, si bien, Chía et al. (2006) establecieron (coeficiente de 0,85) que el grupo 1 está formado por entradas que pertenecen a los morfotipos I, II, III y V (entradas con características morfológicas disímiles) (Tabla 4), a la vez, el grupo 4, está formado por entradas pertenecientes a los morfotipos I, II y III, lo cual aparentemente es poco congruente. Asimismo, considerando que el grupo 2 está formado sólo por entradas del morfotipo I, parece poco congruente que entradas de este mismo morfotipo estén también en los grupos 1 y 4 de estos autores.

En investigaciones precedentes es frecuente la alta concordancia entre el agrupamiento morfológico (si se realiza con descriptores estandarizados) y el agrupamiento molecular. Así lo indican Tapia et al. (2004) en maukas ecuatorianas. También, Blas (2005), en arracacha (también tuberosa), encontró hasta 97% de concordancia entre el agrupamiento morfológico y el molecular, con variaciones, según la técnica empleada (RAPD, AFLP). Por lo tanto, es necesario hacer un nuevo análisis molecular para la colección de mauka, para confirmar los resultados y poderlos comparar con el agrupamiento morfológico, aquí descrito.

Es importante que los cuatro primeros CP contribuyan con el 100% de la variación de los 17 caracteres y que el primer CP explica el 60,6% de la variación entre entradas. Este CP está asociado características altamente discriminantes e identificables en campo (cinco de hoja, cuatro de flor, tres de tallo, dos de raíz, y uno de follaje) de mucha utilidad para trabajos futuros (Hidalgo 2003).

Los morfotipos presentan patrones de distribución, que podrían indicar que han evolucionado en condiciones locales y no han sido objeto de movimientos interregionales en épocas recientes. Así, los morfotipos I y III, se distribuyen ampliamente en la región Cajamarca. En esta región se han registrado la mayor cantidad de nombres comunes para la especie al estado cultivado (Seminario 2004). El grupo M-II, probablemente es endémico de la Región La Libertad, con extensión hacia el sur (Región Ancash). El morfotipo IV está localizado en la región Puno y podría tratarse del mismo morfotipo que describen Vallenas (1995) y Rea (1992) en esta esta región.

La conclusión provisional de que la mayor variabilidad se encuentra en la Región Cajamarca, requiere confirmación a través de exploraciones exhaustivas en Sihuas, Carhuaz y otras provincias de Ancash y en las zonas altas de Amazonas. También es conveniente realizar exploraciones en Huánuco, Junín, Ayacucho, Cusco, Apurímac y Puno.

El rendimiento promedio de raíces ($31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y su alta variación ($12 \text{ a } 76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), así como la variación de sus componentes (altura de planta, número y peso de raíces), confieren al germoplasma alto valor para el mejoramiento y se requiere otras investigaciones para explorar su sobre su potencial. Anteriormente se informó de rendimientos de 45 a $137 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Seminario 2004), en materiales de la misma región. Tapia et al. (2004) informan que en maukas ecuatorianas se obtuvieron rendimientos de $40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Por ser materiales recolectados en diferentes nichos y en cultivos asociados, se espera que tengan respuesta variable a condiciones *ex situ*, bajo nuevas presiones ambientales –suelo, clima, monocultivo– (Holle 1991).

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNC por el apoyo financiero para la realización de la investigación. A Griselda Lay de la Biblioteca del Centro Internacional de la Papa, por su apoyo con artículos sobre mauka. A Segundo Cusquisiban por el apoyo en el trabajo de campo.

Literatura citada

- Bazán M., J.I. López & W. Pajares. 1996. Potencial forrajero del chago (*Mirabilis expansa*) en la alimentación de conejos (*Oryctolagus cuniculus*). Tesis Ing. Zoot. Cajamarca, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional de Cajamarca. 93 p.
- Blas R. 2005. Diversity of Arracacia species in Peru. Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. 170 p.
- Chia J., C. López, R. Blas, J. Seminario, R. Mansilla & J. Baudoin. 2006. Diversidad genética molecular de *Mirabilis expansa* mediante RAPD. En: Ecología Aplicada, 5(1,2), 2006.
- Crisi J.V. & M.F. López. 1983 Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Serie de Biología. Monografía No. 26. Secretaría General de la O.E.A. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D.C. 132 p.
- D.S. 043-2006-AG. 2006. Aprueban categorización de especies amenazadas de flora Silvestre. El Peruano, Lima PE, jul. 13 (normas legales): 323527-323539.
- FAO. 2009. Informe nacional sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación – Bolivia. Proyecto: Fortalecimiento de los bancos de germoplasma vegetal del sistema nacional de recursos genéticos para la agricultura y la alimentación, Bolivia. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/Bolivia.pdf>
- Franco S. & J. Uceda. 1996. El chago o yuca inca (*Mirabilis expansa*) una raíz andina en peligro de extinción. Informe Técnico. Estación Experimental Agropecuaria y Forestal Baños del Inca, INIAA, N° 1. Cajamarca.
- Hidalgo R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales, En: Franco, T. & Hidalgo, R. (eds). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de Recursos fitogenéticos. Boletín técnico N° 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. pp: 2-49.
- Holle M. 1991. Exploración y recolección sistemática de plantas cultivadas en la zona andina para el desarrollo de recursos fitogenéticos. En: Castillo, R.; Estrella, J. y Tapia, C. (eds). Técnicas para el manejo y uso de los recursos fitogenéticos. INIAP, Quito, Ecuador. pp: 52-63.
- Klášková T. & C. Fernández. 2011. Mauka – a promise for fighting with the unbalanced nutrition of high andean regions. In: Agricultura Tropica et Subtropica 44 (1) 2011. Pp: 37-40. Institute of Tropics and Subtropics, Czech University of Life Sciences, Prague, Czech Republic.
- NRC (National Research Council). 1989. Lost crops of the Incas: Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. Washington, DC. (USA). National Academy Press. 415 p.
- Park S-W., N.M. Stevens & J.M. Vivanco. 2002. Enzymatic specificity of three ribosome-inactivating proteins against fungal ribosomes, and correlation with antifungal activity. Planta 216: 227-234.
- Rea J. 1992. Raíces Andinas. En: J.E. Hernández y J. León (eds.) Cultivos marginados, otra perspectiva de 1492. Colección FAO. Producción y protección vegetal N° 26. Roma, Italia. Pp: 163-177.

- Rea J. 2004. Conservación y manejo in situ de recursos fitogenéticos agrícolas en Bolivia (3). En: J. Seminario (ed.) Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993 -2003) N° 6. Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima, Perú. pp: 49-64.
- Seminario J. 2004. Aspectos etnobotánicos y productivos del chago, miso o mauka (*Mirabilis expansa* (R.&P.) Standley (26). En: J. Seminario (ed.) Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993 -2003) N° 6. Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima, Perú. pp: 367-376.
- Tapia, C., J. Estrella., A. Monteros, F. Valverde, M. Nieto & J. Córdova. 2004. Manejo y Conservación de RTAs in situ en fincas de agricultores y ex situ en el Banco de Germoplasma de INIAP. En: Barrera, V., Tapia, C. y Monteros A. (eds.). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). INIAP, CIP, COSUDE. Quito, Ecuador - Lima, Perú. pp. 31 - 74.
- Valderrama M. & J. Seminario. 2001. Biología floral de cuatro cultivares y tres parientes silvestres de mauka, *Mirabilis expansa* (R.&P.) Standley. En ARNALDOA 8(1): 71-86. UPAO, Trujillo, Perú.
- Vallenas M. 1995. Vigencia del cultivo de mauka (*Mirabilis expansa*) en Puno, Perú. En: Resúmenes del primer Congreso peruano de Cultivos Andinos "Oscar Blanco Galdós". 11 -16 setiembre, Huamanga, Ayacucho. pp: 72-73.
- Vepachedu R., H.P. Bais & J.M. Vivanco. 2003. Molecular characterization and post-transcriptional regulation of ME1, a type-I ribosome-inactivating protein from *Mirabilis expansa*. *Planta* 217: 498-506.
- Vepachedu R., S.W. Park, N. Sharma & J.M. Vivanco. 2005. Bacterial expression and enzymatic activity analysis of ME1, a ribosome-inactivating protein from *Mirabilis expansa*. *Protein Expression and Purification* 40: 142-151.
- Vivanco J.M., B.J. Savary & H.E. Flores. 1999. Characterization of two novel type 1 ribosome-inactivating proteins from the storage roots of the andean crop *Mirabilis expansa*. *Plant Physiology* 119: 1447-1456.
- Vivanco J.M. & H.E. Flores. 2000. Biosynthesis of ribosome-inactivating proteins from callus and cell suspensión cultures of *Mirabilis expansa* (Ruiz y Pavon). *Plant Cell reports* 19: 1033-1039.